



Guía para

TERCERA EDICIÓN

CAPAS DE REFUERZO con HORMIGÓN

Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo
y Rehabilitación de Pavimentos Existentes



**Un enfoque práctico para comprender y utilizar con éxito las capas de refuerzo con hormigón,
desde la selección hasta la apertura al tránsito**



THIRD EDITION

Guide to

CONCRETE OVERLAYS

Sustainable Solutions for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements

May 2014



A practical approach to understanding and successfully using concrete overlays, from selection to opening

En la Portada



Fuente: Todd Hanson, Iowa DOT



Fuente: Jim Cable, Iowa State University



Fuente: Randell Riley, Illinois chapter, ACPA



Fuente: Kevin Merryman, Iowa DOT



Fuente: The Transtec Group



Fuente: Todd Hanson, Iowa DOT

Página de Documentación del Informe Técnico

1. Informe N° Publicación ACPA TB021.03P	2. Adhesión Gubernamental N°	3. Catálogo Receptor N°	
4. Título y Subtítulo <i>Guía para Capas de Refuerzo con Hormigón: Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Existentes (3era edición)</i>		5. Fecha del Informe Mayo 2014	
		6. Código de la Organización	
7. Autor(es) Dale Harrington y Gary Fick		8. Código del Informe N°	
9. Nombre y Dirección de la Organización National Concrete Pavement Technology Center Institute for Transportation, Iowa State University 2711 South Loop Drive, Suite 4700 Ames, IA 50010-8664		10. Unidad de Trabajo N° (TRAIS)	
		11. Contrato o Subvención N°	
12. Nombre y Dirección Organización Patrocinante American Concrete Pavement Association 500 New Jersey Ave., NW 7 th Floor Washington, DC 20001		13. Tipo de Informe y Período Cubierto	
		14. Código de la Agencia Patrocinante	
15. Notas Suplementarias			
16. Resumen El principal objetivo de esta guía es llenar el vacío tecnológico sobre capas de refuerzo con hormigón de manera que los propietarios de los pavimentos puedan incluirlas con confianza como una herramienta para solucionar problemas y tomar decisiones más informadas sobre su diseño y construcción. Otro objetivo es ayudar a las agencias propietarias a entender y apreciar la versatilidad de las soluciones de capas de refuerzo con hormigón. Este no es un manual a seguir paso a paso, como tampoco prescribe fórmulas o especificaciones para diseñar y construir capas de refuerzo de hormigón. Más bien, como su título lo señala, este folleto provee dirección experta que puede suplementar la experiencia propia del profesional y el juicio de los usuarios. En especial, respecto a la 2da edición publicada, esta edición incorpora el material original con información actualizada sobre los siguientes aspectos: - Evaluación de pavimentos existentes para determinar si son buenos candidatos a ser reforzados con hormigón. - Selección del sistema de refuerzo apropiado a las condiciones específicas del pavimento. - Manejo del tránsito en zonas donde se construyen capas de refuerzo con hormigón. - Construcción acelerada de capas de refuerzo de hormigón, cuando sea apropiado.			
17. Palabras Claves. Pavimentos – capas de refuerzo con hormigón – rehabilitación de la superficie – preservación de pavimentos – rehabilitación de pavimentos		18. Distribución del Informe	
19. Clasificación de Seguridad (de este informe) No clasificado	20. Clasificación de Seguridad (de esta página) No clasificado	21. N° de Páginas 145 más carátula inicial y página para notas	22. Precio

Traducción al Español

Ingeniero Roberto Álvarez W.

Revisión Técnica de la Traducción

Ing. Mauricio Salgado T. - Instituto del Cemento y Hormigón de Chile - ICH

Ing. Karla Riffo C. - Instituto del Cemento y Hormigón de Chile - ICH

Diagramación Versión al Español

Beatriz Cabrera Z.

Año 2015

El presente documento corresponde a la traducción literal en español, del documento “Guide to Concrete Overlays”. Los datos y precios son los incluidos en el texto original, los cuales corresponden a la realidad y contexto de los Estados Unidos de América.



Guía para Capas de Refuerzo con Hormigón

Soluciones Sustentables para Capas de Refuerzo y Rehabilitación de Pavimentos Existentes

Tercera Edición, Mayo 2014

Autores

Dale Harrington, Snyder & Associates, Inc.

Gary Fick, Trinity Construction Management Services, Inc.

Autores Técnicos Colaboradores

Amanda Bordelon, PhD, University of Utah

James Cable, PhD, P.E., Cable Concrete Consultation LC

Dan DeGraaf, P.E., Michigan Concrete Paving Association

Nigel Parkes, PNA Construction Technologies, Inc.

Randell Riley, P.E., Illinois Chapter, American Concrete Pavement Association

Robert Rodden, P.E., American Concrete Pavement Association

Jeff Roesler, PhD, P.E., University of Illinois at Urbana-Champaign

Julie Vandenbosshe, PhD, P.E., University of Pittsburg

Coordinador del Proyecto

Melisse Leopold, Snyder & Associates, Inc.

Gerente de la Edición

Marcia Brink, National Concrete Pavement Technology Center

Revisor

Carol Gostele, Birch Tree Editing

Ilustraciones Técnicas

Luke Snyder, Snyder & Associates, Inc.

Diseño y Diagramación

Mina Shin

Sobre Esta Guía

Esta guía es un producto del National Concrete Pavement Technology Center (CP Tech Center) de la Universidad del Estado de Iowa, con financiamiento de la American Concrete Pavement Association. Es la tercera edición de la Guía para Capas de Refuerzo con Hormigón desde 2007. Publicaciones complementarias del CP Tech Center comprenden la Guía para el Diseño de Capas de Refuerzo de Hormigón Utilizando Metodologías Existentes (Octubre 2012), la Guía para el Refuerzo con Hormigón de Estacionamientos Pavimentados con Asfalto (Octubre 2012) y Preservación y Rehabilitación de Pavimentos de Hormigón Urbanos Utilizando Capas de Refuerzo Delgadas de Hormigón: Soluciones para el Deterioro de Juntas en Estados con Climas Fríos (publicación prevista para Junio 2014). La serie completa de documentos relacionados con refuerzos con hormigón se encuentra en el sitio de la red del CP Tech Center, www.cptechcenter.org/.

Reconocimientos

El CP Tech Center reconoce y agradece el generoso apoyo financiero de la American Concrete Pavement Association en el desarrollo e impresión de esta guía. Sin el apoyo de la asociación, no existiría esta tercera edición. Además, el CP Tech Center y los autores desean agradecer el conocimiento, la experiencia y dedicación de los expertos en pavimentos de hormigón, tanto públicos como privados, que participaron en el Comité Técnico Asesor y contribuyeron al desarrollo de esta guía. El Comité estuvo conformado por las siguientes personas:

Gina Ahlstrom, P.E., FHWA

Andy Bennett, Michigan Department of Transportation

Tom Burnham, P.E., Minnesota Department of Transportation

Jim Cable, PhD., P.E., Cable Concrete Consultation LC

Dan DeGraaf, P.E., Michigan Concrete Paving Association

Jim Duit, Duit Construction Co., Inc.

Jim Grove, P.E., Senior Project Engineer, FHWA

Todd Hanson, P.E., Iowa Department of Transportation

Kevin Maillard, P.E., OHM Advisors

Kevin Merryman, P.E., Iowa Department of Transportation

Randell Riley, P.E., Illinois Chapter, ACPA

Robert Rodden, P.E., ACPA

Jeff Roesler, PhD, P.E., University of Illinois at Urbana-Champaign

Gordon Smith, P.E., Iowa Concrete Paving Association

Mark Snyder, PhD, P.E., Pennsylvania Chapter, ACPA

Shannon Sweitzer, P.E., North Carolina Turnpike Authority

Sam Tyson, P.E., Federal Highway Administration

Jeff Uhlmeier, P.E., Washington State Department of Transportation

Julie Vandenbossche, PhD, P.E., University of Pittsburgh

Leif Wathne, P.E., American Concrete Pavement Association

Matt Zeller, P.E., Concrete Paving Association of Minnesota

Abreviaturas

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACI	American Concrete Institute
ACPA	American Concrete Pavement Association
ASR	alkali-silica reactivity/reaction/reactive
ASTM	American Society for Testing and Materials
CRCP	continuously reinforced concrete pavement
CTE	coefficient of thermal expansion
FAQ	frequently asked question
FHWA	Federal Highway Administration
FRC	fiber-reinforced concrete
FWD	falling weight deflectometer
IRI	International Roughness Index
JPCP	jointed plain concrete pavement
M-E PDG	Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide
MRD	material-related distress
MUTCD	Manual on Uniform Traffic Control Devices
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
PCA	Portland Cement Association
PCC	portland cement concrete
SCM	supplementary cementitious material
TRB	Transportation Research Board
TCP	traffic control plan

Para más información:

Tom Cackler, Director

Marcia Brink, Senior Editor

National Concrete Pavement Technology Center

Iowa State University Research Park

2711 S. Loop Drive, Suite 4700

Ames, IA 50010-8664

515-294-9480

www.cptechcenter.org/

mbrink@iastate.edu

La Misión

La misión del National Concrete Pavement Technology Center es unir a los miembros claves relacionados con el transporte en torno al objetivo central de avanzar en la tecnología de los pavimentos de hormigón por medio de la investigación, la transferencia técnica y la implementación tecnológica.

Para Copias Adicionales

La American Concrete Pavement Association se encuentra distribuyendo esta guía. Para copias adicionales, contáctese con el afiliado local del Capítulo de la ACPA o asociaciones de pavimentadores del estado afiliadas (www.acpa.org/ournetwork); preguntar por la publicación ACPA N° TB021.03P.

**National Concrete Pavement
Technology Center**



IOWA STATE UNIVERSITY
Institute for Transportation



Disclaimers

Neither Iowa State University nor this document's authors, editors, designers, illustrators, distributors, or technical advisors make any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy of information herein and disclaim liability for any inaccuracies.

Iowa State University does not discriminate on the basis of race, color, age, religion, national origin, sexual orientation, gender identity, sex, marital status, disability, genetic testing, or status as a U.S. veteran. Inquiries can be directed to the Director of Equal Opportunity and Diversity, Iowa State University, 3680 Beardshear Hall, 515-294-7612.

Contenido

Lista de Figuras	xiii
Lista de Tablas	xvi

C1. Introducción 1

Dos Alternativas de Capas de Refuerzo con Hormigón	2
Alternativa de Capa de Refuerzo Adherida	2
Alternativa de Capa de Refuerzo No Adherida	3
Beneficios de las Capas de Refuerzo con Hormigón	3
Historia de las Rehabilitaciones Superficiales del Hormigón.....	4
Mejoras en la Tecnología de Rehabilitación con Hormigón.....	4
Sustentabilidad	5
Gestión de Activos Mediante Soluciones de Rehabilitación de la Superficie	5
Mantenimiento Preventivo	6
Rehabilitación Menor	6
Rehabilitación Mayor	6
Lecciones Aprendidas de Recientes Proyectos de Capas de Refuerzo con Hormigón.....	6
Selección y Evaluación del Proyecto	6
Diseño de Capas de Refuerzo con Hormigón.....	7
Planos y Especificaciones	7
Secuencia de Construcción y Mantenimiento del Tránsito	8
Construcción de Capas de Refuerzo con Hormigón.....	8

C2. Evaluación de los pavimentos y selección de soluciones 9

Proceso de Evaluación del Pavimento	11
Antecedentes Históricos y Proyecciones Futuras (Revisión en Gabinete)	12
Inspección Visual (Revisión en el Terreno).....	12
Apoyo Existente y Deterioro Localizado.....	12
Restricciones Verticales	14
Perfil de la Rasante.....	14
Muestreo del Pavimento	15
Análisis Opcionales.....	15
Ensayos de Deflexión	16
Alternativas para Determinar las Condiciones de Soporte	16
Ensayos de Rugosidad y Fricción Superficial	17
Monografía de la Condición del Pavimento	17
Informe de la Evaluación del Pavimento	17
Selección de la Solución Apropriada de Capa de Refuerzo con Hormigón	17

C3. Alternativas de Capas de Refuerzo con Hormigón ...25

Capas de Refuerzo con Hormigón Adherido al Pavimento Asfáltico.....	26
Aplicaciones y Usos	26

Comportamiento.....	27
Aspectos Claves	27
Proceso	27
Evaluación del Pavimento	27
Diseño de la Capa de Refuerzo	27
Construcción	28
Futuras Reparaciones	29
Recursos Claves	29
Capa de Refuerzo con Hormigón Adherida a Pavimentos Compuestos....	30
Aplicaciones y Usos	30
Comportamiento.....	31
Aspectos Claves	31
Proceso	31
Evaluación del Pavimento	31
Diseño de la Capa de Refuerzo	31
Construcción	32
Futuras Reparaciones	33
Recursos Claves	33
Capa de Refuerzo con Hormigón Adherido a Pavimentos de Hormigón	34
Aplicaciones y Usos	34
Comportamiento.....	34
Aspectos Claves	35
Proceso	35
Evaluación del Pavimento	35
Diseño de la Capa de Refuerzo	36
Construcción	36
Futuras Reparaciones	37
Recursos Claves	37
Capa de Refuerzo con Hormigón No Adherido de Pavimentos Asfálticos.....	38
Aplicaciones y Usos	38
Comportamiento.....	39
Aspectos Claves	39
Proceso	39
Evaluación del Pavimento	39
Diseño de la Capa de Refuerzo	39
Construcción	40
Reparaciones Futuras	40
Recursos Claves	41
Capas de Refuerzo con Hormigón No Adherido de Pavimentos Compuestos	42
Aplicaciones y Usos	42
Comportamiento.....	43
Aspectos Claves	43
Proceso	43

Contenido, continuación

Evaluación del Pavimento	43
Diseño de la Capa de Refuerzo	43
Construcción	44
Reparaciones Futuras	45
Recursos Claves	45
Capa de Refuerzo con Hormigón No Adherido de Pavimentos de Hormigón	46
Aplicaciones y Usos	46
Comportamiento.....	47
Aspectos Claves	47
Proceso	47
Evaluación del Pavimento	47
Diseño de la Capa de Refuerzo	47
Construcción	49
Reparaciones Futuras	49
Recursos Claves	49

C4. Diseño de Capas de Refuerzo con Hormigón 51

Variables de Diseño de Capas de Refuerzo con Hormigón.....	51
Caracterización del Pavimento Existente.....	51
Consideraciones sobre la Superficie.....	51
Consideraciones Estructurales.....	52
Caracterización del Tránsito.....	52
Propiedades de los Materiales.....	52
Factores Climáticos.....	53
Modelo de Deterioro	53
Selección del Espesor de Diseño	53
Respaldo de las Metodologías de Diseño.....	53
Método ACPA BCOA	53
Método BCOA-ME.....	55
Guía de Diseño Método AASHTO 1993.....	55
Método Guía de Diseño Empírico-Mecanicista de AASHTO	56
Método ACPA StreetPave	56
Losas con Geometría Optimizada y Diseño con el Software Optipave2°	57
Consideraciones para el Diseño de Sistemas de Capas Refuerzo Adheridas	57
Capas de Refuerzo Adheridas a Pavimentos Asfálticos y Compuestos.....	57
Capas de Refuerzo Adheridas a Pavimentos de Hormigón	58
Consideraciones para el Diseño de Sistemas de Capas de Refuerzo No Adheridas	58
Capas de Refuerzo No Adheridas a Pavimentos de Hormigón	59
Aptitud de un Pavimento Existente para Servir como Base.....	59
Capa Separadora	59
Drenaje de la Capa Separadora	60

Diseño de las Juntas.....	61
Capas de Refuerzo No Adheridas a Pavimentos Asfálticos.....	62
Capas de Refuerzo No Adheridas a Pavimentos Compuestos	62
Programación	62
Levantamiento de Información.....	62
Métodos de Levantamientos	62
Escaneo Laser	63
Partidas de Medición y Pago de Capas de Refuerzo con Hormigón	63
Planilla de Cantidades de Obras para Refuerzos con Hormigón	63
Costos Típicos de Refuerzos de Hormigón	64
Diseño de Detalle de Misceláneos.....	64
Detalles de Soleras y Cunetas.....	64
Manteniendo las Cunetas Existentes en su Lugar	64
Remoción de Soleras y Cunetas	64
Recubriendo la Cuneta	65
Cambios en la Rasante.....	65
Gálibo Vertical.....	65
Barreras y Defensas	65
Seguridad Lateral	65
Estructuras para el Drenaje Transversal	65
Bombeos y Peraltes	65
Estructuras dentro del Pavimento	66
Detalle de Placas para Transferencia de Cargas	66
Resistencia a la Corrosión	67
Instalación de Placas de Transferencia de Cargas en Juntas de Construcción Formadas con Moldaje.....	67
Instalación de Placas de Transferencia de Cargas con Molde Deslizante o Juntas de Construcción Aserradas en Todo el Espesor.....	67
Instalación de Sistemas de Transferencia de Cargas en Juntas de Contracción.....	68
Transiciones.....	69
Transiciones Mediante Fresado y Relleno para Refuerzos con Hormigón Adherido	69
Detalles de Transición para Capas de Refuerzo con Hormigón Adherido.....	69
Detalles de Transición para Capas de Refuerzo con Hormigón No Adherido.....	70
Ensanches y Adición de Pistas.....	71
Descargas Típicas para el Drenaje de la Capa Separadora	73
Condiciones Rurales	73
Condiciones Urbanas.....	74

C5. Materiales y mezclas para capas de refuerzos con Hormigón 75

Materiales Básicos para el Hormigón	75
Cemento y Materiales Finos Complementarios.....	75

Contenido, continuación

Agregados.....	75	Apertura de la Capa de Refuerzo al Tránsito	106
Aditivos.....	76	Minimizar el Daño por Fatigas de Cargas Tempranas	106
Mezclas Convencionales de Hormigón.....	76	Relaciones entre Resistencias	106
Baja Razón Agua-Cemento (A/C).....	76	Criterios de Resistencia para la Apertura al Tránsito de las Capas de Refuerzo Adherida	106
Sistema de Aire Incorporado Adecuado	76	Adheridas al Hormigón	106
Mezclas de Fraguado Rápido	77	Adheridas al Asfalto	106
Otros Materiales.....	77	Criterios de Resistencia para la Apertura al Tránsito de las Capas de Refuerzo No Adheridas	107
Fibras Estructurales para Capas de Refuerzos con Hormigón.....	77	Reparaciones de Capas de Refuerzo con Hormigón	108
Materiales para Capas Separadoras.....	78	Reparaciones de Capas de Refuerzo con Hormigón Adheridas o Delgadas No Adheridas	108
Capa Separadora de Asfalto.....	78	Reparación en Todo el Espesor de Capas de Refuerzo con Hormigón No Adherido	108
Capas Separadoras de Geotextil no Tejido.....	79		
Barras de Traspaso de Cargas y de Amarre.....	80		
Sellantes para Juntas	80		
Compuestos de Curado	80		
C6. Estrategias para Zonas De Trabajo de Capas de Refuerzo con Hormigón	81	Apéndice A. Tablas para Evaluación y Selección	109
Objetivos del Manejo de Zonas de Trabajo	81	Apéndice B. Alternativas de Reconstrucción del Hormigón	111
Seguridad	82	Proceso de Reciclado in Situ del Hormigón para Material de Base.....	111
Flujos del Tránsito	82	Desintegración del Pavimento de Hormigón	112
Rentabilidad.....	82	Agrietar y Asentar (No Recomendado)	112
Consideraciones sobre las Zonas de Trabajo	82	Apéndice C. Refuerzo con Fibras.....	113
Espacios Necesarios para Pavimentar con Equipos Convencionales.....	82	¿Por qué Utilizar Fibras?	113
Reducción de Espacios para Trabajar	83	Tipos de Fibras.....	113
Otros Gábilos	85	Mezclas con Altos Volúmenes de Macro Fibras Sintéticas.	114
Control del Tránsito de Construcción	85	Consideraciones Durante la Construcción Utilizando Fibras.....	114
Etapas para Construir Capas de Refuerzo con Hormigón	85	Apéndice D. Levantamiento Mediante Escaneo Laser.....	116
Carretera de Dos Pistas con Tránsito	85	Escaneo de la Superficie con Laser 3-D.....	116
Cuñas de Seguridad Provisorias	86	Aplicaciones de Escaneo a los Pavimentos.....	116
Autos Pilotos para una Producción Continua	86	Partidas por Considerar en la Planificación.....	16
Ejemplos de Etapas Sucesivas	86	Análisis de la Información	117
Carretera de Dos Pistas Ensanchada a Tres Pistas Manteniendo el Tránsito	86	Operación de Escaneo Estático.....	118
Carretera de Cuatro Pistas Separadas por una Mediana Manteniendo el Tránsito y sin Cambiarlo de Calzada	87	Escaneo Móvil Laser 3-D	118
		Operaciones de Mapeo Móvil.....	118
C7. Construcción De Capas De Refuerzo Con Hormigón	99	Apéndice E. Factores para Construir con Tránsito Capas de Refuerzo con Hormigón	119
Aspectos Claves para la Construcción de Capas de Refuerzos con Hormigón	99	Apéndice F. Pavimentación sin Línea Guía	127
Capas de Refuerzo Adheridas: Asegurando una Adherencia Apropiaada ..	102	Requerimientos de Control Vertical y Limitaciones del Sistema.....	127
Capas de Refuerzo No Adheridas: Instalación de Capa Separadora de Geotextil	103	Proceso de Tres Pasos para la Pavimentación sin Línea Guía	128
Colocación de los Canastos para las Barras de Traspaso de Cargas.....	104	Sistemas Disponibles de Control sin Línea Guía.....	129
Curado de las Capas de Refuerzo con Hormigón.....	105	Sistema No. 1	129
Aserrado de las Juntas.....	105	Sistema No. 2	130
Construcción Acelerada.....	105		

Contenido, continuación

Sistema No. 3	130
Criterios para Seleccionar Sistemas sin Línea Guía	131

Apéndice G. Consideraciones para Desarrollar un Proyecto y Las Especificaciones Suplementarias..... 132

General	132
Consideraciones a Presentar al Contratista.....	132
Programación y Conflictos.....	132
Limitación a las Operaciones	132
Método de Medición y Bases de Pago	132
Materiales.....	132
Capa Separadora para Capas de Refuerzo No Adheridas	133
Construcción.....	133
Reparaciones Previas	133
Capas de Refuerzo con Hormigón Adherido de Pavimentos de Hormigón.....	133
Capas de Refuerzo con Hormigón Adheridas al Asfalto.....	133
Capas de Refuerzo con Hormigón No Adheridas al Hormigón.....	133
Capas de Refuerzo con Hormigón No Adheridas al Asfalto.....	133
Limpieza de la Superficie	133
Capas de Refuerzo con Hormigón Adheridas al Hormigón o Asfalto	133
Capas de Refuerzo No Adherido al Hormigón o Asfalto	133
Colocación del Hormigón	133

Control de la Rasante	133
Colocación de la Capa de Refuerzo	133
Curado con Membrana Líquida	134
Aserrado de Juntas	134
General.....	134
Ancho de las Juntas.....	134
Sellante para Juntas.....	134
Aserrado a Tiempo.....	134
Capas de Refuerzo Adheridas al Hormigón.....	134
Capas de Refuerzo No Adheridas.....	134

Apéndice H. Reuniones Propietario-Contratista Sugeridas para Asegurar un Producto de Calidad 135

Lista de Chequeo para la Reunión Pre Licitación.....	135
Reunión Pre Licitación.....	135
Revisión de la Lista de Chequeo de pre colocación/pre construcción.....	135

Apéndice I. Métodos Innovadores para la Construcción Acelerada de Capas de Refuerzo con Hormigón..... 138

Referencias	141
--------------------------	------------

Bibliografía	144
---------------------------	------------

Lista de Figuras

Figura 1.	Típica capa de refuerzo con hormigón, antes (izquierda) y después de su ejecución	1	Figura 28 .	Fotografía de pavimento de 75 mm (3 in) (fotografía de 2013)	35
Figura 2.	Tipos de capas de refuerzo con hormigón	2	Figura 29.	Refuerzo de hormigón adherido de hormigón cuya superficie fue previamente tratada con arenado a presión en 1994	35
Figura 3.	Fresando hormigón (izquierda) y superficie fresada (derecha)....	3	Figura 30.	El ancho de la junta transversal en una capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón debe ser igual o mayor que el ancho de la grieta del pavimento existente.....	36
Figura 4.	Los cuarenta y seis estados donde las capas de refuerzo con hormigón han sido construidas (sombreados en azul)	4	Figura 31.	Enjaulado de grietas de un pavimento de hormigón	37
Figura 5.	Soluciones de preservación adecuadas para diferentes etapas de la vida de servicio del pavimento.....	5	Figura 32.	Capa de refuerzo con hormigón no adherido (antes llamado whitetopping convencional) al pavimento asfáltico en malas a deterioradas condiciones	38
Figura 6.	Típicas soluciones con hormigón adherido y no adherido en diferentes etapas de la vida de servicio de un pavimento	6	Figura 33.	Capa de refuerzo hormigón no adherido al pavimento asfáltico	38
Figura 7.	Proceso de evaluación del pavimento con ejemplos de	10	Figura 34.	Pavimento asfáltico en estado entre pobre y deteriorado que puede ser rehabilitado	39
Figura 8.	Ejemplos de las condiciones de pavimentos existentes, según una monografía	11	Figura 35.	Refuerzo con hormigón adherido sobre un pavimento asfáltico que estaba en estado entre pobre y deteriorado	39
Figura 9.	Inspección visual para localizar deterioro ASR en los bordes del pavimento.....	13	Figura 36.	Se debe tener en consideración la profundidad del ahuecamiento del asfalto al establecer la profundidad del aserrado (ACPA 1998)	41
Figura 10.	Agrietamiento ASR moderado en el perímetro de las losas	13	Figura 37.	Refuerzo con hormigón no adherido de un pavimento compuesto en malas a deterioradas condiciones.....	42
Figura 11.	Pavimento con deterioro tipo D	14	Figura 38.	Capa de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento compuesto	42
Figura 12.	Junta deteriorada típica, parchada con HMA	14	Figura 39.	Pavimento compuesto antes de colocar una capa de refuerzo con hormigón no adherida	43
Figura 13.	Cono de penetración dinámica	16	Figura 40.	Capa de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento compuesto.....	43
Figura 14.	Selección de la solución apropiada de la capa de refuerzo con hormigón para pavimentos asfálticos	18	Figura 41.	Consideración de la profundidad del ahuecamiento del asfalto para establecer la profundidad del aserrado (ACPA 1998)	45
Figura 15.	Selección de la solución apropiada de la capa de refuerzo con hormigón para pavimentos compuestos (asfalto sobre hormigón).....	20	Figura 42.	Capa de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento de hormigón en malas condiciones.....	46
Figura 16.	Selección de la solución apropiada de la capa de refuerzo con hormigón para pavimentos de hormigón	22	Figura 43.	Capa de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento de hormigón	46
Figura 17.	Capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimentos asfáltico en regulares o buenas condiciones con deterioro superficial (anteriormente denominado whitetopping ultra delgado).	26	Figura 44.	Ruta D35; pavimento existente en malas condiciones.....	47
Figura 18.	Capa de refuerzo adherida al pavimento asfáltico.....	26	Figura 45.	La Ruta D35 con una capa de refuerzo no adherida de 125 mm (5in.)	47
Figura 19.	La Ruta SH-119 en 1991 antes la colocación de un refuerzo con hormigón adherido	27	Figura 46.	Factores de diseño de la capa de refuerzo que se interrelacionan	51
Figura 20.	La Ruta SH-119 en el 2009 después de de 18 años en servicio).....	27	Figura 47.	Ilustración de la pérdida de capacidad estructural con el tiempo y el tránsito	56
Figura 21.	Las juntas longitudinales deben disponerse de manera de evitar la huella vehicular	28	Figura 48.	El ancho de la junta aserrada de la capa de refuerzo debe ser mayor que el ancho de la grieta del pavimento existente.....	58
Figura 22 .	Capa de refuerzo con hormigón adherida al pavimento compuesto en regulares o buenas condiciones con deterioro superficial del asfalto	30	Figura 49.	El esquema superior muestra una capa de refuerzo de hormigón trabada con el pavimento antiguo (trabazón) y el esquema inferior, muestra la capa que separa el refuerzo del pavimento existente	59
Figura 23.	Capa de refuerzo adherida al pavimento asfáltico.....	30	Figura 50.	Capa separadora de tela geotextil	60
Figura 24.	Pavimento compuesto existente	31	Figura 51.	Capa separadora de tela geotextil blanca	60
Figura 25.	Capa de refuerzo adherida al pavimento compuesto	31			
Figura 26.	Capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón en buenas condiciones con deterioro superficial	34			
Figura 27.	Capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón	34			

Lista de Figuras, continuación

Figura 52.	Reventón en una capa de refuerzo donde debió cortarse una junta de expansión sobre la junta de expansión del pavimento de hormigón existente60	Figura 75.	Nueva cuña de transición utilizada para ajustarse a losas de aproximación de un puente o mantener el galíbo bajo puentes con capas de refuerzo adheridas al pavimento asfáltico (adaptado de ACPA 1991).....69
Figura 53.	Desprendimiento del asfalto de una capa separadora..... 61	Figura 76.	Nueva cuña de transición utilizada para ajustarse a losas de aproximación de un puente o mantener el galíbo bajo puentes con capas de refuerzo no adheridas al pavimento de hormigón (adaptado de ACPA 1990b) 70
Figura 54.	Canastos con placas de transferencia de cargas ahusadas en juntas transversales y placas ovaladas en juntas de construcción longitudinales formadas con molde deslizante61	Figura 77.	Nueva cuña de transición utilizada para ajustarse a losas de aproximación de un puente o mantener el galíbo bajo puentes con capas de refuerzo no adheridas al pavimento asfáltico (adaptado de ACPA 1990b).....70
Figura 55.	Existe una mayor restricción a la contracción en la intersección de juntas con barras redondas de traspaso de cargas (izquierda) que en la intersección de juntas con placas de transferencia (derecha) 61	Figura 78.	Transición temporal granular a camino lateral o acceso existente70
Figura 56.	Modelo digital del terreno obtenido mediante escaneo con láser63	Figura 79.	Cuña de transición de asfalto a un camino lateral o acceso existente.....70
Figura 57.	Costo del refuerzo con hormigón según espesor64	Figura 80.	Capa de refuerzo adherida al pavimento de hormigón con ensanche 71
Figura 58.	Detalle del fresado cuando se deja la cuneta existente en su lugar..... 64	Figura 81.	Capa de refuerzo adherida al pavimento de hormigón con ensanche 71
Figura 59.	Detalle del fresado cuando se remueve y repone la cuneta 64	Figura 82.	Vista de barras de amarre para una capa de refuerzo con hormigón con ensanche..... 71
Figura 60.	Detalle de cuneta recubierta64	Figura 83.	Capa de refuerzo no adherido de pavimento de hormigón, asfalto o compuesto con ensanche..... 72
Figura 61.	Hormigonado de cuneta recubierta.....64	Figura 84.	Refuerzo adherido o no adherido de pavimento asfáltico o compuesto (previamente ensanchado con asfalto u hormigón, a ser nuevamente ensanchado con un nuevo refuerzo de hormigón).....72
Figura 62.	Borde de seguridad típico para refuerzos con hormigón sin berma pavimentada 65	Figura 85.	Refuerzo no adherido de pavimento de hormigón, asfalto o compuesto con una pista adicional de hormigón 72
Figura 63.	Opciones para barras de transferencia de cargas para zonas con peralte 65	Figura 86.	Descarga de capa separadora para berma reforzada con hormigón 73
Figura 64.	Capa de refuerzo con hormigón con cámara de inspección estándar..... 66	Figura 87.	Descarga de capa separadora de mezcla asfáltica en caliente para berma de asfalto..... 73
Figura 65.	Placas de transferencia de cargas en forma de diamante para construcción con molde fijo (lado derecho) y placas de transferencia de cargas ovaladas para molde deslizante 66	Figura 88.	Descarga de capa separadora de geotextil con berma con nuevo pavimento (hormigón o asfalto)..... 73
Figura 66.	Detalle de construcción de una placa de transferencia de carga para pavimentación con molde fijo 67	Figura 89.	Drenaje de la capa separadora hacia un sistema de subdrenaje existente cuando la cuneta existente se remueve y reemplaza74
Figura 67.	Junta de construcción con placa de transferencia en forma de cuñas utilizando molde fijo67	Figura 90.	Drenaje de la capa separadora hacia un sistema de subdrenaje existente cuando la cuneta existente se remueve y reemplaza74
Figura 68.	Detalle de junta de construcción con placa de transferencia de carga para pavimentación con molde deslizante 67	Figura 91.	Fibras sintéticas 3,8 cm (1,5 in) a 5,7 cm (2,25 in) 77
Figura 69.	Formación de ranuras para instalar placas transferencia de cargas ovaladas.....67	Figura 92.	Capa separadora de geotextil (The Transtec Group (sin fecha))..... 79
Figura 70.	Detalle de placa de transferencia de cargas para junta de contracción68	Figura 93.	Tela geotextil de color claro utilizada como capa separadora para un refuerzo no adherido..... 80
Figura 71.	Vista en planta de una pista con placas de transferencia de cargas 68	Figura 94.	Un efectivo manejo de las zonas de trabajo implica equilibrar varias prioridades 82
Figura 72.	Transición mediante fresado y relleno para capas de refuerzo con hormigón de un pavimento de hormigón (adaptado de ACPA 1998).....69	Figura 95.	Pavimentadora con línea guía 83
Figura 73.	Transición mediante fresado y relleno para capas de refuerzo con hormigón de un pavimento asfáltico o compuesto (adaptado de ACPA 1998)69	Figura 96.	Pavimentadora de tres orugas, sin espacios laterales, colocando hormigón junto a la barrera de la mediana 83
Figura 74.	Nueva cuña de transición utilizada para ajustarse a losas de aproximación de un puente o mantener el galíbo bajo puentes con capas de refuerzo adheridas al pavimento de hormigón (adaptado de ACPA 1990b).....69		

Lista de Figuras, continuación

Figura 97.	Pavimentadora típica de cuatro orugas, modificada a tres orugas permitiendo un espacio lateral cero en una situación con cuneta y solera	83	Figura 121.	Agregado de hormigón reciclado.....	111
Figura 98.	Control del perfil de pavimentación mediante una línea guía móvil sobre la pista adyacente.....	84	Figura 122.	Pavimento de hormigón desintegrado	111
Figura 99.	Control del perfil de pavimentación mediante un patín sobre la pista adyacente	84	Figura 123.	Fibras en la mezcla de hormigón.....	113
Figura 100.	Pavimentadora sin línea guía	84	Figura 124.	Adición de fibras en la planta (izquierda) y con bolsas vaciadas dentro de un camión betonera	114
Figura 101.	Pavimentadora sin línea guía y sin espacio lateral	84	Figura 125.	Refuerzo con hormigón con fibras sintéticas terminado	115
Figura 102.	Delineadores verticales para control del tránsito que se pueden utilizar para marcar el desnivel al borde del pavimento.....	86	Figura 126.	Fibras apelotonadas	115
Figura 103.	Cuñas de seguridad para refuerzos de 50 mm (3 in.) o más.....	86	Figura 127.	Típico gráfico de flujo de un proyecto con escaneo móvil.....	117
Figura 104.	Capa de refuerzo de carretera de dos pistas con bermas pavimentadas (pavimentadora convencional).....	88	Figura 128.	Típico modelo digital de terreno del pavimento/detalle.....	117
Figura 105.	Capa de refuerzo de carretera de dos pistas con bermas granulares (pavimentadora convencional)	90	Figura 129.	Detalle de sección transversal del pavimento.....	117
Figura 106.	Capa de refuerzo de carretera de dos pistas con bermas granulares mínimas (sin espacio lateral para la pavimentadora)	92	Figura 130.	Escáner laser estático.....	118
Figura 107.	Capa de refuerzo de carretera de dos pistas ensanchada a tres con bermas pavimentadas (pavimentadora convencional).....	94	Figura 131.	Escáner laser móvil	118
Figura 108.	Capa de refuerzo de carretera de cuatro pistas con bermas pavimentadas (pavimentadora convencional).....	96	Figura 132.	Área a bordo de control de calidad de la operación de un escáner móvil	118
Figura 109.	Comparar la textura de la superficie de la zona no granallada (media superior izquierda de la imagen) a la textura superficial rugosa en la sección de pavimento granallada (debajo de la pluma)	102	Figura 133.	Controles de una pavimentadora.....	127
Figura 110.	Traslape de geotextil no tejido	103	Figura 134.	Levantamiento de la superficie existente para desarrollar y construir una base de datos.....	128
Figura 111.	Anclando tela geotextil no tejida a un pavimento de hormigón existente	103	Figura 135.	Vehículo todo terreno con GPS y perfilómetro laser	128
Figura 112.	Pavimentado sobre un geotextil no tejido	104	Figura 136.	Estación total robótica	129
Figura 113.	Pavimentando sobre una capa separadora de geotextil blanco	104	Figura 137.	Sistema 1- Operación de pavimentación sin línea guía utilizando estaciones totales y puntos de referencia.....	129
Figura 114.	Los clavos de anclaje de los canastos para barras de traspaso de cargas deben colocarse en el lado aguas abajo del canasto en relación a la dirección de pavimentación	104	Figura 138.	Controles por computación en una pavimentadora	129
Figura 115.	Verificación manual de la posición de las barras de traspaso de cargas	104	Figura 139.	Laser rotatorio sobre un punto de referencia.....	130
Figura 116.	Remoción de losas de refuerzo.....	107	Figura 140.	Sistema 2, equipo pavimentador	130
Figura 117.	Terminación y curado de la Reparación de una capa de refuerzo de hormigón.....	107	Figura 141.	Sistema 2 – Pavimentación sin línea guía utilizando GPS, un laser rotatorio y puntos de referencia	130
Figura 118.	Típica operación de fresado de un pavimento de hormigón...	107	Figura 142.	Estación base GPS, móvil o estacionaria.....	131
Figura 119.	Típica operación de fresado de un pavimento de hormigón....	107	Figura 143.	Sistema de control GPS de una pavimentadora	131
Figura 120.	Material de fresado típico de un pavimento de hormigón proveniente de una operación de fresado	108	Figura 144.	Sistema 3 - Pavimentación sin línea guía utilizando GPS.....	131

Lista de Tablas

Tabla 1.	Ensayos opcionales recomendados.....	15	Tabla 13.	Tamaño y espaciamiento de placas para transferencia de cargas para juntas de construcción.....	66
Tabla 2.	Tipos de suelos de la subrasante y valores de soporte aproximados.....	17	Tabla 14.	Tamaño y espaciamiento de placas para transferencia de cargas para juntas de contracción	66
Tabla 3.	Posibles reparaciones previas en un pavimento asfáltico para prepararlo para una capa de refuerzo adherida.....	28	Tabla 15.	Efectos de la granulometría del agregado en las propiedades de la mezcla	75
Tabla 4.	Posibles reparaciones previas en un pavimento compuesto para prepararlo para una capa de refuerzo adherida.....	32	Tabla 16.	Espesor de la losa y resistencia de apertura al tránsito	77
Tabla 5.	Posibles reparaciones previas en un pavimento de hormigón para prepararlo para una capa de refuerzo adherida.....	37	Tabla 17.	Resumen de tipos de fibras.....	78
Tabla 6.	Posibles reparaciones previas en un pavimento asfáltico para prepararlo para una capa de refuerzo no adherido.....	40	Tabla 18.	Granulometría para capa separadora de asfalto; DOT de Michigan	78
Tabla 7.	Posibles reparaciones previas en un pavimento compuesto para prepararlo para una capa de refuerzo no adherida.....	44	Tabla 19.	Propiedades de geotextiles para capa separadora (The Transtec Group (sin fecha))	79
Tabla 8.	Típico espaciamiento transversal de juntas	48	Tabla 20.	Consideraciones sobre el manejo de zonas de trabajos de capas de refuerzo con hormigón	81
Tabla 9.	Posibles reparaciones previas en un pavimento de hormigón existente para prepararlo para una capa de refuerzo no adherida	49	Tabla 21.	Prácticas de construcción de pavimentos de hormigón para capas de refuerzo	99
Tabla 10.	Resumen de los actuales programas computacionales de diseño (desarrollado por Dr. Jeffery R. Roesler, Universidad de Illinois en Urbana-Champaign).....	54	Tabla 22.	Tipos de deterioro y niveles de severidad recomendados para evaluar la idoneidad estructural de un pavimento de hormigón	109
Tabla 11.	Pesos y espesores típicos de telas teotextil para tapa separadora	60	Tabla 23.	Tipos de deterioro y niveles de severidad recomendados para evaluar la idoneidad estructural de pavimentos asfálticos y combinados	110
Tabla 12.	Factores de ajuste típicos para estimar mayores cantidades en metros cúbicos que los calculados para la capa de refuerzo.....	63	Tabla 24.	Consideraciones para construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón	119
			Tabla 25.	Aplicabilidad, pro y contra de varios métodos de construcción acelerada	138

Capítulo 1.

INTRODUCCIÓN

Nunca ha sido mayor la necesidad de contar con estrategias técnicas para preservar y mantener los pavimentos del país. Con presupuestos decrecientes, volúmenes de tránsito y cargas siempre crecientes y la emergente crisis sobre la sustentabilidad de la infraestructura y preservación de los pavimentos, se está solicitando a las agencias de carreteras administrar su red pavimentada haciendo más con menos dinero. Las capas de refuerzo con hormigón pueden servir como una solución sustentable y rentable para mejorar la administración del patrimonio, mediante técnicas de preservación, trabajos de rehabilitación y colocación de capas de refuerzo. Adicionalmente, éstas contribuyen a prácticas constructivas más sustentables, al preservar y extender el servicio de los pavimentos por más años que la vida de diseño original. Muchas capas de refuerzo con hormigón han estado sirviendo por décadas, efectivamente extendiendo la vida de la estructura del pavimento original por 30 o más años.

Para asegurarse que las capas de refuerzo con hormigón provean soluciones de mantenimiento y rehabilitación perdurables, se deben seguir buenas prácticas de diseño y construcción. Esto implica diseñar el refuerzo apropiado para cada situación, realizar reparaciones previas, preparar el pavimento existente de manera apropiada y utilizar buenas prácticas de construcción, tales como la construcción de juntas y curado adecuados. Con una planificación cuidadosa, es posible manejar la zona de trabajo, de manera de acomodar las actividades de construcción, sin sacrificar la seguridad del proyecto, los flujos de tránsito o la rentabilidad.

A pesar que la historia muestra cientos de proyectos de refuerzos exitosos, algunas agencias

y contratistas aún dudan en diseñarlos y construirlos. Probablemente, una razón para ello se encuentre en una mala comprensión de las técnicas del refuerzo con hormigón. El objetivo primordial del presente documento, *Guía para Capas de Refuerzo con Hormigón*, es por lo tanto, llenar ese vacío de conocimientos y responder a las preguntas de los propietarios de los pavimentos, de manera que puedan incluir las capas de refuerzo con hormigón como una herramienta confiable y tomar decisiones más informadas para diseñarlos y construirlos. En la primera edición de esta guía (Harrington et al. 2007) y en la segunda edición (Harrington 2008), se describen los tipos de capas de refuerzo con hormigón, sus aplicaciones y aspectos relacionados con el diseño y construcción. Esta tercera edición expandida, mejora la original y la actualiza en las siguientes materias:

- Evaluación de los pavimentos existentes para determinar si son candidatos aptos para reforzarlos con hormigón.
- Selección del sistema de refuerzo apropiado a las condiciones específicas del pavimento.
- Manejo de las zonas de construcción del refuerzo con hormigón, manteniendo el tránsito.
- Construcción acelerada de capas de refuerzo con hormigón, cuando sea apropiado.

Al igual que la primera y segunda edición esta guía no es un manual completo a seguir paso a paso, tampoco prescribe fórmulas o especificaciones para diseñar o construir proyectos de rehabilitación de la superficie con hormigón. Como sugiere el título, este folleto entrega asesoría experta que puede complementar la experiencia y juicios propios de quién diseña.

Otro objetivo de esta guía es ayudar a las agencias a entender y apreciar la versatilidad de las soluciones de refuerzo con hormigón. Un error conceptual común, es creer que los refuerzos con hormigón se limitan a proyectos que requieren soluciones a largo plazo (20 a 35 años) y que otras opciones se adaptarían mejor como soluciones de corto plazo (5 a 15 años). Otra creencia es que los refuerzos son onerosos o difíciles de construir o que son soluciones de nicho, con aplicaciones limitadas. Sin embargo, en la práctica, los siguientes conceptos resultan verdaderos:

- Las capas de refuerzos con hormigón pueden ser diseñadas con una rentabilidad adecuada para todas las combinaciones de vida de diseño y cargas de tráfico. Sus espesores pueden variar desde 50 mm a 250 mm o más (2 a 10 in.), dependiendo de las condiciones del pavimento existente, del tránsito previsto, de los recursos disponibles y de la vida de diseño deseada.
- Existen soluciones con capas de refuerzo para ser colocadas sobre todo tipo de pavimento (hormigón, asfalto y compuesto (antiguo pavimento de hormigón recubierto con un pavimento asfáltico)).
- Existen soluciones con capas de refuerzo con hormigón para cualquier condición del pavimento; ver la Figura 1. Debido a que el hormigón distribuye las cargas del tránsito en un área muy amplia, el pavimento subyacente no experimenta tensiones altamente concentradas. Como resultado, siempre que el pavimento original se encuentre estable y sea uniforme, se puede colocar una capa de refuerzo con hormigón.



Figura 1. Típica capa de refuerzo con hormigón, antes (izquierda) y después de su ejecución

Dos Alternativas de Capas de Refuerzo con Hormigón

Como se ilustra en la Figura 2, existen dos opciones para las capas de refuerzo con hormigón: adheridas y no adheridas. En esta guía se utiliza el término general de “capa de refuerzo con hormigón” cuando se discuten conjuntamente ambas soluciones: hormigón adherido y hormigón no adherido.

Las capas de refuerzo adheridas se incluyen como parte del espesor del pavimento, en tanto que los refuerzos no adheridos son esencialmente pavimentos nuevos construidos sobre una base estable (el pavimento existente). Las opciones de refuerzo adherido requieren que el pavimento existente se encuentre en buenas condiciones estructurales. Permite eliminar deterioros superficiales, trabajando el nuevo refuerzo y el pavimento existente como un sólo pavimento monolítico. Las opciones de refuerzo no adherido agregan capacidad estructural al pavimento existente, no siendo necesario que exista adherencia entre las capas. Pueden colocarse sobre pavimentos en malas condiciones o incluso deteriorados, siempre

que presenten uniformidad. Como se muestra en la Figura 2, tanto los refuerzos adheridos como los no adheridos, pueden colocarse sobre pavimentos asfálticos, compuestos o pavimentos de hormigón existentes.

Alternativa de Capa de Refuerzo Adherida

El propósito de una capa de refuerzo adherida es agregar capacidad estructural y eliminar deterioros superficiales de pavimentos existentes, que presentan condiciones entre buenas y regulares. Generalmente, corresponden a rehabilitación superficial y que conceptualmente son parte del mantenimiento preventivo o rutinario o también de una rehabilitación menor.

Las capas de refuerzo con hormigón adherido son relativamente delgadas, 50 – 150 mm (2 – 6 in.). La capa de refuerzo y el pavimento existente, adheridos entre sí, trabajan como un pavimento monolítico. La adherencia entre la capa de refuerzo y el pavimento existente es esencial. La adherencia asegura que el refuerzo y el pavimento existente trabajen como una sola estructura, en la que el pavimento original continúa soportando una parte significativa de las cargas. Todos los proyectos de refuerzo adherido, se diseñan y construyen cuidadosamente para obtener

y posteriormente mantener, la adherencia entre el refuerzo y el pavimento existente.

Los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos rehabilitados son la integridad estructural del pavimento subyacente, la efectividad de la adherencia, la capacidad de las dos capas de desplazarse monolíticamente manteniendo la adherencia y la distribución de las juntas y técnicas de curado del refuerzo.

La clave para lograr el comportamiento deseado, es asegurar que las dos estructuras – el pavimento existente y la capa de refuerzo – se comporten como una sola. En consecuencia, es importante comprender las propiedades relacionadas con los desplazamientos que experimentan, tanto el pavimento existente como la capa de refuerzo, debido a expansiones y contracciones del hormigón. Por ejemplo, el coeficiente de expansión térmica de una capa de refuerzo con hormigón adherido, debe ser similar o inferior al del hormigón del pavimento existente.

La mayoría de los proyectos de refuerzo adherido presentan mayores desafíos que los proyectos de refuerzo no adherido. Por lo tanto, es importante prestar mucha atención a los detalles indicados en esta guía.

Opción de Capa de Refuerzo Adherida

(Mantenimiento preventivo/Rehabilitación menor)

En general, las capas adheridas se utilizan para eliminar deterioros superficiales cuando el pavimento existente presenta buenas condiciones estructurales.

La adherencia es esencial, de manera que es necesaria una cuidadosa preparación de la superficie antes de colocar la capa.

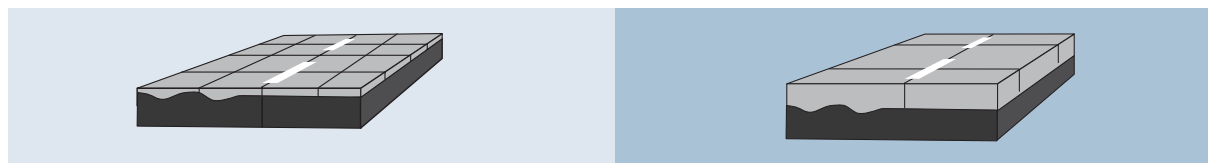
Opción de Capa de Refuerzo no Adherida

(Rehabilitación Mayor/Menor)

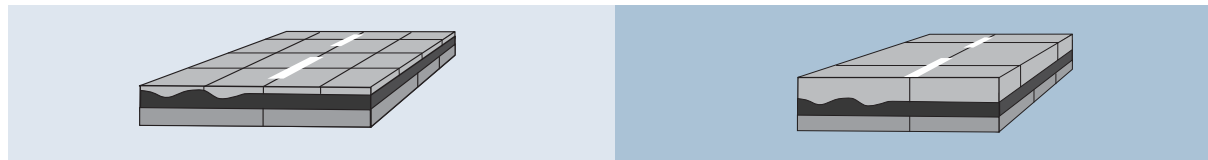
En general, las capas no adheridas son altamente confiables, proporcionando vidas de diseño mayores que una rehabilitación con asfalto.

Se necesita un mínimo de reparaciones previas a la colocación de la capa no adherida.

SOBRE ASFALTO



SOBRE PAVIMENTO COMPUESTO



SOBRE HORMIGÓN

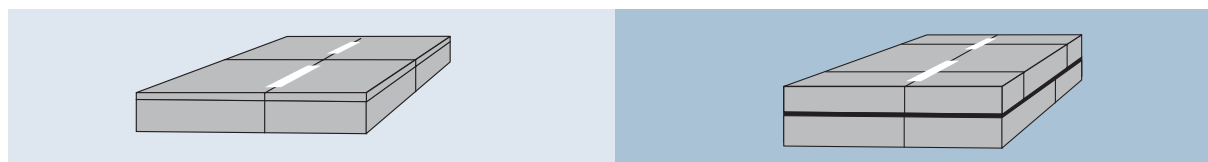


Figura 2. Tipos de capas de refuerzo con hormigón

Alternativa de Capa de Refuerzo No Adherida

El propósito de la capa de refuerzo no adherida es restaurar la capacidad estructural de un pavimento existente que se encuentra en una condición de deterioro entre moderada y severa. Las capas de refuerzo no adheridas pueden ser estrategias de rehabilitación menores o mayores.

El término “no adherido” significa simplemente que la adherencia entre el refuerzo y el pavimento subyacente no es necesaria para lograr el comportamiento deseado; es decir, el método para determinar el espesor no considera al pavimento existente como un componente estructural de la capa superficial. En consecuencia, el refuerzo se comporta como un pavimento nuevo, en tanto que el pavimento existente proporciona una base estable. Cuando el pavimento subyacente es de asfalto o de una estructura compuesta, la adherencia parcial o total entre el refuerzo de hormigón y la capa subyacente de asfalto, no debería causar problemas; de hecho, esa adherencia agrega al sistema alguna capacidad adicional para soportar las cargas. Por lo tanto, las capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento asfáltico o al pavimento compuesto, no se diseñan, ni construyen procurando prevenir la adherencia entre las capas.

Sin embargo, cuando el pavimento subyacente es hormigón, los refuerzos con hormigón no adherido se diseñan y construyen cuidadosamente de manera de prevenir la adherencia entre las dos capas de hormigón. Esto es, porque cualquier adherencia entre las capas genera tensiones en el refuerzo, originado una reflexión de grietas no deseada.

Beneficios de las Capas de Refuerzo con Hormigón

Las agencias que regularmente construyen refuerzos de hormigón obtienen varios beneficios:

FAQ- ¿Puedo fresar un pavimento de hormigón eficientemente?

Sí. Aun cuando comúnmente no se realiza, desde un tiempo reciente se ha fresado en varios proyectos importantes para remover hasta 100 mm (4 in.) del pavimento de hormigón existente, previo a la construcción de la capa de refuerzo con hormigón, como muestra la Figura 3, o en casos limitados, para reparar una capa de refuerzo con hormigón. Los equipos de fresado modernos pueden remover hormigón eficientemente a tasas de producción similares a las de pavimentos asfálticos; la eficiencia y productividad están básicamente influenciadas por la profundidad del corte y la dureza del agregado.

1. Los refuerzos con hormigón consistentemente proveen soluciones rentables.
 - a. Dólar por dólar, son las opciones más efectivas a largo plazo para la preservación y rehabilitación mayor de pavimentos existentes.
 - b. Debido al amplio rango de espesores que puede utilizarse en los refuerzos con hormigón, conjuntamente con los trabajos previos necesarios, ellos entregan soluciones rentables para prácticamente cualquier tipo y condición del pavimento, vida de servicio deseada y cargas del tránsito previstas.
2. Los refuerzos con hormigón pueden construirse en forma rápida y conveniente.
 - a. El pavimento existente no requiere ser retirado. De hecho, su aporte se considera en el diseño del refuerzo, por lo que coopera en soportar las cargas que impone el tránsito.
 - b. En la mayoría de los casos, los requerimientos de reparaciones previas son mínimas.
 - c. Los refuerzos con hormigón se colocan utilizando las prácticas normales para construir pavimentos de hormigón.
 - d. Muchos refuerzos con hormigón pueden entregarse al tránsito un día después de hormigonados. Para ello, se pueden utilizar los beneficios que proporcionan indicadores de resistencia no destructivos, como son los ensayos de madurez.
 - e. Se pueden utilizar prácticas de construcción acelerada. Esta guía proporciona recomendaciones útiles para aunar la construcción de capas de refuerzo con hormigón con técnicas de ejecución acelerada.
3. Los refuerzos con hormigón son fáciles de mantener.
 - a. La reparación de refuerzos de hormigón, especialmente los refuerzos delgados, resulta normalmente más fácil que la de un pavimento convencional.
 - b. Los refuerzos delgados pueden ser fácil y económicamente fresados y reemplazados por una nueva superficie de hormigón.
 - c. La reparación de servicios públicos puede hacerse restableciendo el pavimento a su nivel original, manteniendo la calidad de la rodadura.
4. Las capas de refuerzo con hormigón son un medio efectivo para mejorar la sustentabilidad del pavimento al aumentar la reflectancia de la superficie (albedo), aumentar la longevidad estructural, mejorar la estabilidad del perfil superficial y mantener la calidad de la rodadura.
5. Las capas de refuerzo con hormigón pueden servir, por sí mismas, como soluciones de mantenimiento preventiva, preservación o rehabilitación.



Figura 3. Fresando hormigón (izquierda) y superficie fresada (derecha)

Historia de las Rehabilitaciones Superficiales del Hormigón

La colocación de capas de hormigón de cemento portland (“hormigón”, “concreto”) para rehabilitar la superficie de pavimentos existentes, se puede encontrar desde el año 1901. Hacia la mitad de la década de 1980, algunas agencias estaban construyendo muchas nuevas capas de refuerzo con hormigón y la tecnología estaba rápidamente madurando hacia una práctica estándar. En 1994 la publicación de *Synthesis of Practice 204* por la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) mostró que con un nivel de mantenimiento relativamente bajo, se podía esperar una vida de servicio de 20 años y que muchas de las rehabilitaciones de la superficie habían alcanzado 30 a 40 años de vida de servicio.

Basándose en la información de las Syntheses 99 y 204 (1982, 1994) de la NCHRP, la National Concrete Overlay Explorer (2013 a) de la American Concrete Pavement Association (ACPA), provee la mejor información histórica sobre el uso de refuerzos con hormigón en los Estados Unidos. Esta base de datos, documenta la construcción de 1.152 proyectos de capas de refuerzo con hormigón en los Estados Unidos, entre 1901 y 2012. Las rehabilitaciones superficiales del hormigón han experimentado un crecimiento impresionante, que se hace evidente por el número de carreteras en servicio a las que se ha rehabilitado la superficie en las últimas tres décadas. Entre 1980 y 2010, se construyeron cinco veces más proyectos de capas de refuerzo con hormigón por década, que los construidos en las seis décadas anteriores.

Este crecimiento evidencia que los refuerzos con hormigón son una buena inversión para las agencias de carreteras que buscan alternativas adicionales para la preservación y rehabilitación mayor. Existen en servicio por todo el país, pavimentos reforzados con hormigón, tanto

armado como sin armaduras; son refuerzos adheridos, no adheridos y parcialmente adheridos a los pavimentos de hormigón. También se encuentran en servicio muchos pavimentos sin armadura y algunos con armadura, como refuerzos de pavimentos asfálticos, especialmente en los corredores con tránsito pesado de camiones. Los refuerzos de hormigón han sido construidos con éxito en 46 Estados; ver Figura 4.

Mejoras en la Tecnología de Rehabilitación con Hormigón

Muchos de los cambios y mejoras tecnológicas anticipados en las primeras revisiones, han sido puestos en práctica a medida que la comunidad vial ha cooperado trabajando por mejores procedimientos de diseño, recomendaciones de construcción y especificaciones, para todo tipo de refuerzos con hormigón. Entre los mayores avances se encuentra la evaluación y preparación del pavimento existente candidato a ser reforzado con hormigón. Otro avance se refiere al mejoramiento del método para colocar los refuerzos de hormigón, mejores métodos de diseño y la tecnología de la fibra sintética. La construcción de capas de refuerzo con hormigón reforzado con fibras, ha aumentado debido a que ellas contribuyen al comportamiento de refuerzos delgados. Este mejor comportamiento deriva del aumento de la integridad estructural del hormigón y su mayor resistencia y durabilidad. Se han completado importantes proyectos de investigación, los que han proporcionado soluciones para largo plazo, tanto de refuerzos con hormigón adherido, no adherido y sobre mezclas de concreto asfáltico. Estos esfuerzos, conjuntamente con factores de costos y el enfoque nacional para mejorar la preparación y asesoramiento técnico, se han traducido en una mayor aceptación y un creciente uso de los refuerzos con hormigón de alta calidad.

No debe sorprender que los dos tipos de rehabilitación de la superficie de hormigón compartan dos requerimientos de diseño respecto del apoyo del pavimento de hormigón existente: para lograr un comportamiento satisfactorio, se requieren condiciones de soporte uniformes y deben considerarse los desplazamientos o movimientos que experimentan. Casi todos los casos documentados de fallas prematuras de refuerzos, se deben a alguna violación de estos requisitos, a menudo, como resultado de una evaluación incorrecta del pavimento existente. Por esta razón, la evaluación del pavimento existente es primordial para determinar si el soporte es uniforme y si dispone de algún sistema para controlar los desplazamientos del pavimento subyacente mediante una capa separadora o si ella puede colocarse en forma rentable. De ser así, ¿Podrá una capa de refuerzo de hormigón actuar como una unidad monolítica con el pavimento subyacente y proveer la capacidad estructural, para transferir cargas y el sistema de drenaje requeridos para la vida útil de diseño? Si no es así, se requerirá de un refuerzo con hormigón no adherido para ajustarse a los mismos criterios, pero con diferentes alcances en cuanto al espesor del refuerzo, el drenaje y las restricciones de galibo vertical.

Las rehabilitaciones de la superficie de hormigón pueden utilizarse ya sea con el objetivo de conservar o rehabilitar el pavimento existente. Por preservación, se entiende normalmente, el colocar una capa de refuerzo adherido sobre el pavimento existente que está entre buenas y regulares condiciones o fresar para llevarlo a buenas condiciones. La preservación lleva implícita un bajo costo, pues posiblemente considere reparar sólo una pequeña cantidad de fallas localizadas (< 1 por ciento) durante la vida de servicio. La rehabilitación consiste en colocar una capa de refuerzo no adherida sobre el pavimento existente, cuando las condiciones son pobres o está muy deteriorada la superficie. Para considerar exitoso un proyecto, se deben tener en consideración las características que presenta el pavimento existente (malas o buenas) y también, ser realista al momento de establecer la inversión requerida. Es posible minimizar el costo inicial, pero ello normalmente se traduce en que el buen comportamiento es sólo por poco tiempo, obligando a un mantenimiento adicional o bien puede incrementarse el costo inicial para obtener un mejor comportamiento y un mantenimiento reducido.

Cuando se coloca un refuerzo de hormigón sobre un pavimento existente, debe esperarse que aparezca algún agrietamiento menor y deterioros localizados. Esto no debe verse como un mal comportamiento, sino que más bien como un tratamiento rentable que pudiera requerir de algún mantenimiento más adelante. En muchos casos, es más rentable anticipar algunos costos de mantenimiento del refuerzo de hormigón, antes que excederse en los gastos de las reparaciones previas, procurando prevenir grietas o deterioros localizados.

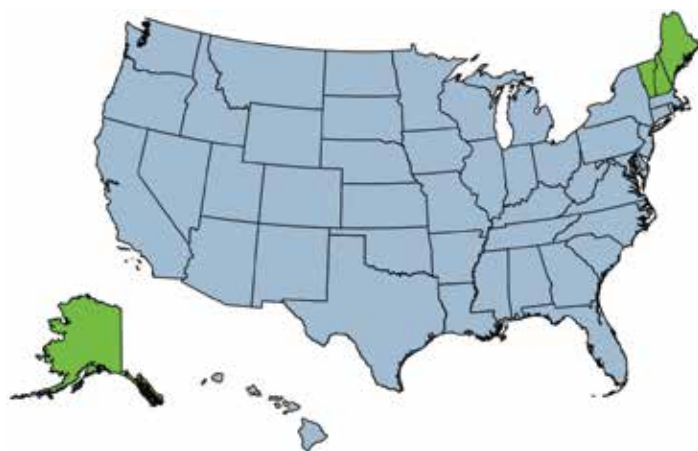


Figura 4. Los cuarenta y seis estados donde las capas de refuerzo con hormigón han sido construidas (sombreados en azul)

Sustentabilidad

Muchas agencias están enfatizando la sustentabilidad como parte del manejo de decisiones. Es casi imposible cuantificar los impactos de las decisiones relacionadas con pavimentos en los factores primarios de la sustentabilidad, tales como (1) el ambiente, (2) la sociedad y (3) la economía. Sin embargo, podemos observar los beneficios de sustentabilidad de las capas de refuerzo con hormigón desde una perspectiva cualitativa y concluir lo siguiente:

- Mantener el pavimento existente tiene un impacto mínimo sobre el medio ambiente (no se generan productos de desecho).
- Los tiempos perdidos por los usuarios durante la construcción se reducen en comparación con reconstruir un pavimento.
- Las capas de refuerzo con hormigón son capaces de mantener la calidad de rodadura por muchos años, lo que conlleva un beneficio a la sociedad.
- Típicamente los refuerzos con hormigón tienen, para una vida de diseño equivalente, un costo por ciclo de vida más bajo que los refuerzos con pavimentos de asfalto.

Los sistemas de pavimentos que incluyen refuerzos con hormigón pueden ser sustentables para un gran rango de vidas de diseño. Más que remover y reconstruir el pavimento original, se construye y se mantiene patrimonio sobre él, devengando retornos de la inversión inicial, en tanto que el pavimento original se mantenga como parte del sistema.

Por estas y otras razones, los refuerzos con hormigón son soluciones sustentables y

rentables. Proporcionan beneficios sociales por la confianza que da su capacidad para soportar cargas con menos y más cortas interrupciones al tránsito, durante la construcción de capas y rehabilitaciones.

Gestión de Activos Mediante Soluciones de Rehabilitación de la Superficie

Puesto en forma simple, la gestión de activos es una aproximación estratégica y sistemática para manejar los pavimentos; se basa en forma muy importante en manejos de la información sobre el pavimento y análisis del costo del ciclo de vida. Las actividades de gestión y preservación de pavimentos, han llegado a ser extremadamente importantes en el manejo y control de las inversiones en pavimentos de carreteras.

Primero, una pequeña explicación para eliminar confusiones. En el último medio siglo, se ha definido la “rehabilitación de pavimentos” como un mejoramiento funcional o estructural del pavimento, que genera una extensión substancial de la vida de servicio, para lo que se le mejoran substancialmente las condiciones y calidad de la rodadura. Durante la última década, la Federal Highway Administration (FHWA) ha propuesto y apoyado con fuerza el concepto de preservar rentablemente la red vial del país. Esto ha ayudado en los años recientes, a estimular un movimiento nacional de programas para la “preservación de pavimentos” y la “gestión de activos”.

Por muchos años ha existido un sinnúmero de definiciones para los términos rehabilitación y preservación y estos son constantemente ya sea

mal utilizados o usados incorrectamente. Las siguientes descripciones son promovidas por la FHWA.

La preservación de un pavimento es una estrategia que utiliza un programa de largo plazo, a nivel de red, para mejorar el comportamiento de los pavimentos, integrando un grupo de prácticas rentables, que sin reconstruirlos, extienden la vida del pavimento, mejoran la seguridad y satisfacen las expectativas de los usuarios. La rehabilitación de un pavimento se define como un mejoramiento funcional o estructural que genera un aumento substancial de la vida de servicio. Para preservar un pavimento, debe mantenerse y en ciertos casos, rehabilitarse. Como muestra la Figura 5, la preservación de un pavimento incluye mantenimiento preventivo con alguna rehabilitación menor.

¿Cuál es la diferencia entre rehabilitación de la superficie del hormigón y capa de refuerzo con hormigón? La rehabilitación de la superficie es un término genérico que implica proveer una superficie nueva o fresca sobre el pavimento existente y se considera básicamente una estrategia de preservación (mantenimiento preventivo y rehabilitación menor).

La rehabilitación de la superficie consiste en colocar ya sea una capa adherida o una no adherida. Es un componente integral de una aproximación amplia de administración de los activos, porque rentablemente extiende la vida del pavimento y mejora tanto sus características funcionales como estructurales. La variedad, flexibilidad y rentabilidad de las rehabilitaciones de la superficie de hormigón, utilizando las opciones de refuerzos, las hacen una excelente solución para el espectro completo de las necesidades del pavimento.

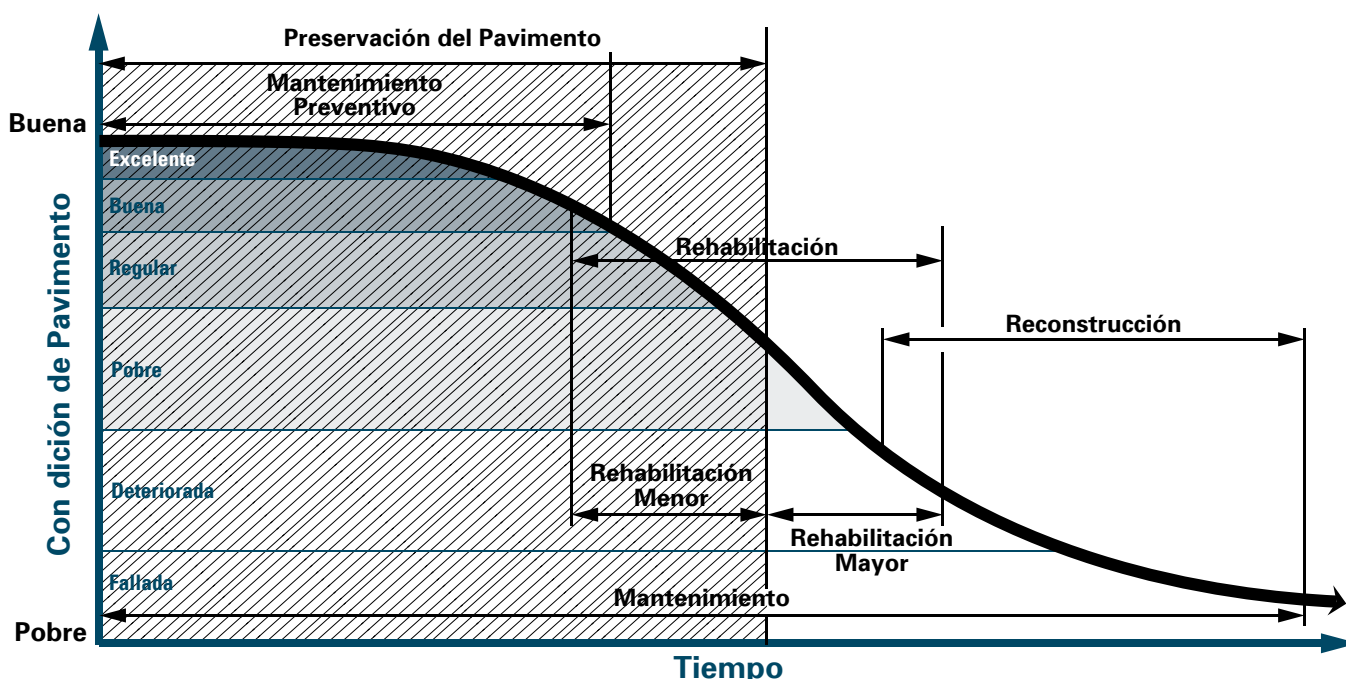


Figura 5. Soluciones de preservación adecuadas para diferentes etapas de la vida de servicio del pavimento

La curva de la Figura 6 es típica de las condiciones que presenta un pavimento a lo largo de su vida. Las zonas de mantenimiento preventivo, rehabilitaciones menores (ambos en la ventana de preservación) y rehabilitaciones mayores, se muestran separadas por rangos donde se pueden utilizar refuerzos adheridos y no adheridos, para restaurar el pavimento a su condición original o a una mejor.

Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es un componente importante de la preservación de pavimentos. Básicamente, consiste en extender la vida de pavimentos estructuralmente sanos, aplicando a la superficie o cerca de ella, tratamientos rentables. Las capas de refuerzo con hormigón adherido de aproximadamente 50 a 100 mm (2 a 4 in.) son una excelente estrategia de mantenimiento preventivo para todo tipo de pavimentos.

Rehabilitación Menor

La rehabilitación menor se utiliza cuando debe restaurarse la capacidad estructural del pavimento sin que se requiera de una rehabilitación mayor. Una de las mayores ventajas de los refuerzos con hormigón como solución de preservación, es que aumentan la capacidad estructural del pavimento, aun cuando ello no sea el objetivo primario de la actividad de preservación. Las capas de refuerzo con hormigón adherido y no adherido de 100 mm (4 in.) son una excelente solución de rehabilitación menor.

Rehabilitación Mayor

Típicamente, la rehabilitación mayor se utiliza en pavimentos que requieren de un mejoramiento estructural. La rehabilitación mayor implica un mejoramiento estructural que alarga la vida de servicio de un pavimento existente y/o un

mejoramiento de la capacidad para soportar cargas. No son inusuales las capas de refuerzo adheridas de 150 hasta 180 mm (6 a 7 in.) y las no adheridas de 150 a 250 mm (6 a 10 in.).

Para enfatizar lo significativa que es la estrategia de rehabilitación con refuerzos de hormigón, la American Association of States Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2007) ha señalado recientemente que “los refuerzos de hormigón delgados no adheridos, de espesores entre 100 -130 mm (4-5 in.), han probado ser una opción de rehabilitación para pavimentos compuestos (asfalto sobre hormigón) que presentan un deterioro significativo. Cuando se diseñan y construyen en forma apropiada, las capas de refuerzo con hormigón no adherido han demostrado que aumentan la capacidad para soportar cargas y que extienden la vida del pavimento”.

Lecciones Aprendidas de Recientes Proyectos de Capas de Refuerzo con Hormigón

Para asegurarse que las soluciones de capas de refuerzo con hormigón sean durables, que el mantenimiento sea de largo plazo y que permita rehabilitaciones, se deben seguir buenas prácticas de diseño y construcción. Esto incluye diseñar refuerzos en forma adecuada para cada situación, ejecutar trabajos de reparaciones previas y preparar apropiadamente el pavimento existente y utilizar buenas prácticas constructivas, especialmente lo relativo a la construcción de juntas y curado del hormigón. Por medio de una planificación adecuada, las zonas de trabajo pueden manejarse de manera de ejecutar estas actividades sin sacrificar la seguridad del proyecto, el flujo de tránsito o la rentabilidad de la obra.

Como sus predecesoras, la tercera edición de la *Guía para Capas de Refuerzo con Hormigón* (Guide to Concrete Overlays) es el resultado de la colaboración entre los departamentos de transporte de los estados (DOT's), la industria y académicos, para mejorar el estado de la práctica para diseñar y construir capas de refuerzo con hormigón. Muchas de las mejoras incluidas en esta edición son el resultado de un acuerdo entre la Concrete Overlay Field Applications Program (programa para aplicar en terreno los refuerzos de hormigón) dirigido por el National Concrete Pavement Center (CP Tech Center) de la universidad estatal de Iowa y la FHWA. Mediante este programa, grupos de expertos visitaron 26 obras en 18 estados; en 9 de ellos habían proyectos en construcción o programados para ser construidos. Se aprendieron muchas lecciones mientras se asesoraba a agencias en el diseño y construcción de las capas de refuerzo con hormigón, lo que promovió el desarrollo de esta edición actualizada. Más adelante se entrega un resumen de las lecciones claves aprendidas.

Selección y Evaluación del Proyecto

Las lecciones aprendidas, relacionadas con la selección y evaluación de proyectos son las siguientes:

- Se deben extraer testigos, auscultar con deflectometría (FWD) y ver los planos “as built” para investigar el espesor y las condiciones que presenta el pavimento, antes de determinar cuál es el tipo de refuerzo que le es apropiado.
- Si un pavimento asfáltico va a ser fresado, se deben tomar muestras para asegurarse que quedará, después de fresado, el espesor mínimo adecuado (mínimo 75 mm o 3 in.). Este espesor mínimo de diseño, permite

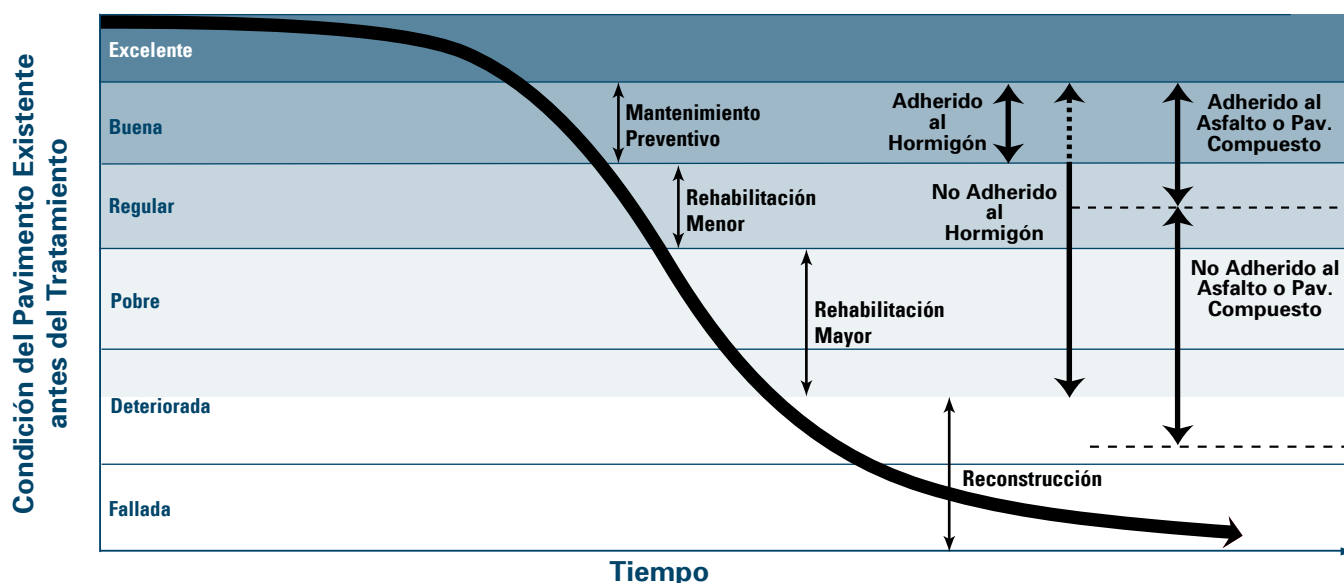


Figura 6 . Típicas soluciones con hormigón adherido y no adherido en diferentes etapas de la vida de servicio de un pavimento

circular camiones cargados sobre la superficie fresada, generándole sólo un daño mínimo.

- En zonas en que se dan ciclos de hielo/deshielo o donde existen suelos expansivos, se debe evaluar el pavimento existente durante la primavera y el verano, para identificar deterioros críticos a considerar en el diseño del refuerzo.
- Identificar todas las restricciones verticales (puentes, servicios, detectores de vehículos, cunetas, barreras de contención, rampas y accesos, defensas metálicas y otras estructuras) que puedan interferir durante la construcción y desarrollar un programa para mitigar sus efectos.

Diseño de Capas de Refuerzo con Hormigón

Las lecciones relacionadas con el diseño son las siguientes:

- Considerar durante la fase preliminar del diseño todas las opciones de desvíos parciales y totales así como su impacto en la construcción.
- Elegir el tipo más apropiado de capa de refuerzo (adherida o no adherida) que se ajuste a las condiciones existente del pavimento y a las cargas del tránsito futuro previsto.
- Proveer un drenaje efectivo para la salida de la humedad superficial de la capa intermedia anti adherencia (capa separadora), de manera de prevenir la erosión que provocan las cargas del tránsito pesado, para refuerzos no adheridos al pavimento de hormigón en climas no áridos.
- Comparar los costos del asfalto y del geotextil como capas separadoras, los respectivos tiempos de construcción y el comportamiento antes de diseñar refuerzos no adheridos sobre hormigón.
- Determinar la longitud de la transición para absorber el desnivel entre la rasante del pavimento existente y la nueva rasante incluyendo la capa de refuerzo con hormigón, considerando las restricciones de tránsito y la velocidad de diseño.
- Adoptar partidas de pago cuantificables en metros cúbicos y metros cuadrados. Los metros cuadrados controlan la superficie por cubrir y los metros cúbicos el volumen de material; esto reduce riesgos y costos al contratista al pagarle por el hormigón para rellenar las irregularidades superficiales.
- Corregir las irregularidades de la sección transversal y perfil longitudinal, variando el espesor del hormigón de refuerzo y no el espesor de la capa separadora de asfalto, teniendo presente la economía y el comportamiento que puede esperarse de un diseño de refuerzo no adherido a un pavimento de hormigón. Para que el comportamiento final del refuerzo sea mejor, se deben aserrar las juntas a una profundidad mayor del tercio del espesor.
- Diseñar una capa de refuerzo adherida al pavimento asfáltico, cuidando que el diseño no implique que el fresado deje una capa asfáltica de pequeño espesor, pues puede causar desprendimientos de capas de asfalto.
- Considerar dos potenciales opciones para estimar cantidades de obra:
 - Para minimizar los trabajos y costos preliminares.
 - No realizar levantamientos topográficos preliminares más allá de medir a intervalos de 150 m (500 ft), la profundidad del ahuellamiento y la sección transversal del pavimento.
 - Levantar perfiles longitudinales del eje y de los bordes del pavimento.
 - Estimar la cantidad de hormigón requerido para ajustarse a los perfiles, dando el espesor mínimo en el eje y bordes de pavimento.
 - Agregar un porcentaje razonable a ese volumen de hormigón, para considerar las tolerancias de la colocación, pérdidas en la construcción e irregularidades superficiales de la sección transversal y determinar así la cantidad “teórica nueva”. Algunos estados usan entre 15 y 20%, dependiendo del espesor del refuerzo y la cantidad de corrección deseada para la sección transversal. Entre menor es el espesor del refuerzo y mayores las correcciones de la sección transversal, mayor será el porcentaje. Algunos estados agregan una sobre cubicación máxima de 2 a 3 % a la cantidad “teórica nueva”.
 - Para optimizar las cantidades de hormigón.
 - Levantar secciones transversales de 9 puntos a intervalos de 15 m (50 ft) para caracterizar la superficie existente.
 - Levantar un perfil longitudinal del eje y de secciones transversales que optimicen la suavidad del pavimento, mantengan un espesor mínimo en el eje y optimicen las cantidades de hormigón.
 - Limitar al contratista a un porcentaje adicional de la cantidad determinada con la sección transversal y perfil deseados. Algunos estados utilizan 6 a 8 por ciento, dependiendo del espesor del refuerzo.
- Evaluar, en términos de tiempo de construcción, costo y comportamiento futuro, el impacto de remover/reemplazar medianas o cunetas existentes versus conservarlas.

- Revisar cuidadosamente la secuencia de construcción para que permita mantener el flujo de tránsito y la disposición de las juntas. En algunos casos, las barras de amarre de las juntas longitudinales pueden interferir con la operación del tránsito, tanto público como del contratista.
- Desarrollar la secuencia de construcción considerando el camino cerrado y con tránsito, en conjunto con la disposición de las juntas y disposición de pistas auxiliares y el hormigonado de las bermas.
- Desarrollar un programa por etapas que permita utilizar el equipo pavimentador entre barreras metálicas existentes y barreras de seguridad temporales.
- Diseñar las transiciones y aproximaciones a puentes de manera de minimizar la colocación a mano y desarrollar planos detallados de las juntas.
- Determinar el tipo y cantidad de preparación de la superficie requerida, basándose en las siguientes metas prioritarias de la agencia:
 - Suavidad del pavimento.
 - Cantidad de hormigón.
 - Ajustarse a elementos superficiales existentes.
 - Mantener bombeos mínimos.
 - Remover capas inestables de pavimentos existentes.
 - Condiciones del gálibo vertical.
 - Mejorar de la adherencia entre la capas existente y la nueva.

Planos y Especificaciones

Las lecciones aprendidas en relación con planos y especificaciones incluyen las siguientes:

- Reducir el juego de planos a la cantidad necesaria para el diseño de detalles, entregar antecedentes numéricos de la planta y perfil longitudinal (no planos) y proveer los antecedentes para los controles topográficos.
- Exigir el uso de monitores que graben las frecuencias del vibrador de la pavimentadora.
- Utilizar mezclas de hormigón estándar y medidas de la madurez para controlar la apertura al tránsito de intersecciones y accesos. Usar mezclas de hormigón de fraguado acelerado solamente cuando sea necesario.
- Definir claramente el propósito, los límites verticales, la sección transversal y la precisión de la topografía requerida para fresar la superficie existente.

Secuencia de Construcción y Mantenimiento del Tránsito

Las lecciones aprendidas en relación a la secuencia de construcción y mantenimiento del tránsito incluyen:

- Realizar una reunión pública antes de iniciar la construcción para comunicar los impactos de los controles del tránsito e identificar las preocupaciones públicas que deberán ser monitoreadas por el contratista y la agencia gubernamental durante la construcción.
- Minimizar el número de discontinuidades por intersecciones y accesos para permitir una pavimentación ininterrumpida.
- Considerar planes de pavimentación que permitan, donde sea posible, dar accesos temporales a los propietarios adyacentes y solucionarles sus necesidades diarias.
- Establecer claramente los criterios para cerrar pistas y permitir que el contratista sugiera alternativas que se ajusten a esos criterios.
- Disponer de desvíos alternativos a ser utilizados en casos de circunstancias imprevistas (choques, cargas con sobre ancho, fallas de los equipos, etc.).
- Desarrollar, en conjunto con el contratista, un plan para el control del tránsito que deje suficientes espacios para las operaciones de construcción y mantenga una circulación segura de vehículos y peatones.
- Anticipar y mitigar cualquier problema de drenaje causado por las operaciones de fresado.
- Aplicar las siguientes sugerencias constructivas, en el caso de la construcción de un refuerzo de una sola pista con un auto piloto operando o una camino de dos pistas:
 - Permitir trabajar en múltiples zonas del camino, separadas por puestos con bandereros cada 3 km. La zona de 3 km es la distancia requerida entre bandereros para instalar las señales de advertencia extremas.
 - Considerar zonas con trabajos de pavimentación de 5 km y permitir al contratista cerrar los cruces locales sólo cuando los de la zona adyacente se encuentren abiertos.

- Permitir que el contratista proponga métodos y materiales para la construcción de rampas y accesos temporales (a ser utilizadas menos de un mes).
- Alentar la construcción de puentes, secciones de transición, subdrenes, bacheo del pavimento, fosos laterales de drenaje y movimiento de tierras, antes de iniciar las fases de preparación de la superficie y pavimentación.
- Eliminar la línea de demarcación central cuando se utilicen en el área de trabajo, autos piloto las 24 horas del día y todos los días de la semana.
- Alentar el uso transitorio de barreras de contención y señalización provisoria que reduzcan las demoras del tránsito y la construcción, cuando existan puentes y accesos a otros caminos muy cercanos entre sí.

Construcción de Capas de Refuerzo con Hormigón

Las lecciones aprendidas relacionadas con la construcción son las siguientes:

- Exigir al contratista un programa de pavimentación completo para manejar la construcción y los impactos públicos.
- Acelerar, cuando sea necesario, todos los procesos constructivos para minimizar el impacto público. Limitar al contratista la duración de las etapas para enfatizar la necesidad de acelerar los trabajos, si ese es el objetivo del contrato.
- Utilizar canastos independientes para cada huella cuando se consideran barras de traspaso de cargas sólo en la huella y no cortar los alambres.
- Anclar los canastos para las barras de transferencia de cargas, considere utilizar capas separadoras de espesor uniforme, un adecuado número de anclaje, la relación de la longitud de los anclajes, controlar la fuerza del disparo, el espesor de la capa separadora y su material; minimice la cantidad de hormigón al frente de la pavimentadora. Controle la posición, orientación y profundidad de las barras de transferencia de cargas detrás de la pavimentadora.

- Utilizar programas tales como el HIPERPAV para anticiparse a problemas en la pavimentación o curado y mitigue su impacten en la operación.
- Minimizar, durante la colocación y curado, los diferenciales de temperatura entre la superficie del pavimento existente y el hormigón del refuerzo. Esto es especialmente crítico cuando se pavimenta con clima frío, por las siguientes razones:
 - Cuando se coloca en tiempo frío una capa de refuerzo con hormigón adherido, el diferencial de temperatura entre el día y la noche provocará desplazamientos en el pavimento existente; se expandirá durante el día y contraerá durante la noche. Para prevenir agrietamientos en el refuerzo, éste debe alcanzar la resistencia adecuada para aserrar antes que comience la contracción nocturna del pavimento subyacente. Para mitigar este efecto se debe especificar una temperatura mínima de 18°C (65°F) en la mezcla para el refuerzo.
 - Adicionalmente, cuando la capa de refuerzo se coloca en tiempo frío, el hormigón colocado puede comenzar a fraguar lentamente desde abajo hacia arriba, disminuyendo la ventana de tiempo disponible para aserrar. Cubrir temporalmente con plástico el refuerzo, pues ayuda al hormigón a fraguar en forma adecuada, dando tiempo para aserrar.

Esta guía entrega información actualizada para diseñar, construir y mantener capas de refuerzo con hormigón, que debe ser adaptada para ajustarla a las condiciones y políticas locales. El éxito del comportamiento, cualquiera fuera el método de rehabilitación de pavimentos, requiere que el diseño, los materiales y la construcción se consideren como procesos complementarios.

Capítulo 2.

EVALUACIÓN DE LOS PAVIMENTOS Y SELECCIÓN DE SOLUCIONES

La evaluación de las condiciones que presenta el pavimento existente es parte importante del proceso de preservación y rehabilitación. Una evaluación completa entrega información valiosa sobre las condiciones que presenta el pavimento, su capacidad de servicio y sus limitaciones. En consecuencia, debe incluir lo siguiente:

- Identificación in situ de todas las capas que conforman el pavimento.
- Características y comportamiento de los materiales que conforman el pavimento.
- Presencia, tipo y extensión de deterioros.
- Condición estructural y capacidad para soportar cargas.
- Características funcionales del pavimento, tales como condiciones de la rasante, rugosidad, fricción y nivel de ruido.

Se deben desarrollar varias actividades como parte del proceso de evaluación (Hall et al. 2001,

Hoerner et al. 2002, NCHRP 2007). Algunas varían de proyecto a proyecto, dependiendo del tipo y su importancia relativa. Con el propósito de determinar si un pavimento es o no un buen candidato para ser reforzado, el proceso puede dividirse en los siguientes pasos obligatorios y optativos. Los pasos para evaluar pavimentos se muestran en las Figuras 7 y 8, en las páginas siguientes. En el Anexo A se presentan también, tablas de evaluación, basadas en diferentes tipos y condiciones de pavimentos existentes.

Las siguientes actividades de evaluación son obligatorias:

- Recolección de antecedentes históricos, revisión de archivos y proyecciones futuras (revisión de gabinete).
- Revisión visual (revisión en el terreno).
- Análisis de muestras.
- Informe de la evaluación del pavimento.

Las actividades opcionales de evaluación incluyen:

- Ensayos adicionales (tales como FWD, análisis de deterioros relacionados con los materiales, drenaje, rugosidad y fricción superficial) si la causa del deterior es desconocida o si se requiere información adicional para determinar la extensión del mismo.
- Monografía de la condición del pavimento.

La evaluación concluye con una monografía que muestra la condición general del pavimento. Ver Figura 8.

Después de evaluar cuidadosamente un pavimento, se procede a seleccionar la solución. En muchos casos, resultan apropiados y efectivos, tanto refuerzos con hormigón adherido como no adherido. Cuando para un pavimento no resulta apropiado un refuerzo con hormigón, en el Anexo B, se discuten otras opciones de tratamientos.

Evaluación Inicial (pasos 1-4)

1 Historia del Pavimento y Metas de Desempeño

- Materiales del pavimento (incluyendo coeficiente de expansión térmica del agregado), diseño, edad, espesor, capas.
- Tránsito existente y nivel de comportamiento
- Vida de diseño
- Vida remanente
- Tránsito proyectado y nivel de comportamiento deseado
- Vida de diseño deseada
- Restricciones verticales y de rasante
- Otra información histórica

2 Examen Visual**Hormigón****Bueno****Asfalto/Compuesto****Bueno****Regular****Regular****Malo****Malo****Deteriorado****Deteriorado****3 Análisis de Muestras**

- Tipo de deterioro
- Profundidad del daño
- Verificación del espesor del pavimento base/subbase

4 Análisis Opcionales

(dependiendo de la extensión del problema)

4-a. Ensayos Relacionados con los Materiales

(según indiquen los análisis de testigos)

Proceder si (a) se indican como factores causante del deterioro, los materiales o la durabilidad o (b) el camino es para alto tránsito, especialmente, si se está considerando un refuerzo adherido

- Análisis petrográfico
 - Deterioro relacionado con los materiales del hormigón (Material Related Distress MRD)
 - Poco aire incorporado
- Desprendimiento del asfalto
- Coeficiente de Expansión Térmica

4-b. Ensayos Bajo la Rasante

Proceder si (a) se indican como factores causantes del deterioro, el soporte del pavimento o la subrasante o (b) el camino es para alto tránsito, especialmente si se está considerando un refuerzo adherido

- Ensayos con el FWD
 - Valor soporte (k) de subrasante/subbase
 - Variabilidad de la subrasante/subbase
 - Propiedades del pavimento
 - Eficiencia de la transferencia de cargas
 - Existencia de huecos bajo las losas
 - Rigidez del asfalto
 - Resistencia a la flexotracción del hormigón
- Ensayos de la subrasante
 - Características de los ciclos hielo/deshielo
 - Características de retracción/expansión
 - Soporte del suelo (cono de penetración dinámica o ensayos de penetración estándar)

4-c. Ensayos de la Textura Superficial

Proceder si (a) se detectan problemas de los materiales o la durabilidad o (b) el camino es para alto tránsito, especialmente si se está considerando un refuerzo adherido

Figura 7. Proceso de evaluación del pavimento con ejemplos de pavimentos existentes en diferentes condiciones (fuente: Snyder & Associates, Inc.)

Evaluación Inicial (Paso5)

5 Monografía de la Condición del Pavimento

Hormigón

Deficiencias Superficiales

- Pérdida de fricción
- Deterioro de juntas (bajo a medio)
- Fisuras tipo malla (no debidas a reacción álcali-sílice)
- Baches
- Ruido
- Desprendimiento superficial de hormigón
- Rugosidad (no relacionada con deterioro)
- Grietas por contracción plástica
- Grietas por contracción térmica
- IRI
- Otros

Deficiencias Estructurales

- Grietas de esquina
- Deterioro de juntas (severo)
- Losas alabeadas
- Grietas longitudinales
- Bombeo de finos/ escalonamiento de juntas
- Reventones
- Deterioro relacionado con los materiales (medio a severo)
- Grietas transversales
- Condiciones de la subrasante / subbase
- Otros

Asfalto/Compuesto

Deficiencias Superficiales

- Exudación/exceso del asfalto
- Grietas en bloque
- Pérdida de fricción
- Ruido
- Corrugación
- Reflexión de juntas
- Rugosidad (no relacionada con deterioro)
- Ahuellamiento
- Desgaste superficial
- Ondulaciones superficiales
- Resbaladizo
- IRI
- Otros

Deficiencias Estructurales

- Grietas por fatiga
- Depresiones
- Levantamientos
- Grietas longitudinales
- Baches
- Grietas térmicas transversales
- Ahuellamiento /ondulaciones
- Condiciones de la subrasante / subbase
- Otros

Informe de Evaluación y Clasificación de las Condiciones del Pavimento

Figura 8. Ejemplos de las condiciones de pavimentos existentes, según una monografía

Proceso de Evaluación del Pavimento

El propósito de evaluar las condiciones del pavimento existente es recopilar en detalle todos los deterioros y problemas de comportamiento que pudieran existir y determinar sus causas. Esta información ayudará a la agencia propietaria a determinar si el pavimento es un buen candidato para ser reforzado con hormigón y si es así, la extensión de las reparaciones puntuales requeridas antes de construir el refuerzo. La extensión de las reparaciones necesarias, es un factor importante para establecer si o cuando un refuerzo adherido es una solución rentable.

La evaluación de las condiciones del pavimento existente involucra al menos tres pasos:

1. El primer paso consiste en revisar el diseño histórico del pavimento y antecedentes sobre su comportamiento – espesor y otros atributos de diseño, materiales de la mezcla, y su dosificación, año y método de construcción, cargas del tránsito, vida de diseño, actividades de mantenimiento a la fecha, etc.

Conjuntamente con buscar los antecedentes históricos, este paso debe incluir la recopilación de antecedentes sobre el comportamiento futuro deseado, tales como las cargas del tránsito proyectadas y la vida útil del refuerzo.

También debería incluir determinar la cota máxima a levantar y/o las restricciones a la rasante que impliquen un gálibo límite que afecte la construcción del refuerzo.

2. El segundo paso es un examen visual de las condiciones del pavimento, destacando el deterioro visible en la superficie y los deterioros estructurales.
3. El tercer paso es un examen cuidadoso de la estructura del pavimento mediante el análisis de testigos. Este paso permitirá identificar problemas de deterioro o de comportamiento que no pueden determinarse sólo con una inspección visual. El análisis de muestras permite verificar el espesor del pavimento, los materiales y espesores de la subbase/ subrasante y la profundidad y posiblemente, el tipo y causa del deterioro.

Basándose en la información recopiladas en los paso 1 al 3 (Figura 7), debe considerarse si es

necesario una evaluación adicional. Por ejemplo, podrían ser necesarios ensayos relacionados con los materiales o los deterioros por durabilidad, con problemas de soporte o con las condiciones superficiales. Las siguientes preguntas pueden ayudar al propietario del pavimento a determinar si es aconsejable ejecutar ensayos adicionales:

- ¿Cuál es la extensión del deterioro del pavimento, basándose en una evaluación visual y análisis de muestras?
- ¿Cuál es el nivel de servicio y vida esperada para el pavimento? Las carreteras importantes con alto tránsito de camiones y/o larga vida de servicio, requieren una evaluación más extensa y completa, que las carreteras con bajo volumen de tránsito.

Los resultados de todos los pasos iniciales de evaluación deben registrarse en una Monografía de la Condición del Proyecto. Este perfil ayuda a la agencia a determinar la condición general del pavimento para resumirla en el Informe de Evaluación del Pavimento.

Antecedentes Históricos y Proyecciones Futuras (Revisión en Gabinete)

El primer paso es recopilar antecedentes en los archivos de la oficina y otras fuentes históricas relacionadas con el proyecto. El objetivo es recolectar tanta información del pavimento existente, como sea posible, tal como: datos originales de diseño, antecedentes de la construcción, datos sobre la subrasante/subbase, resultados de ensayos de los materiales, antecedentes del comportamiento y otros. Las posibles fuentes para este efecto son las siguientes:

- Informes del diseño.
- Planos/especificaciones de construcción (nuevo y rehabilitación).
- Propiedades de los suelos y materiales obtenidos de programas previos de ensayos de laboratorio y/o informes emitidos.
- Auscultaciones efectuadas al pavimento, ensayos no destructivos y/o investigaciones mediante muestreos destructivos.
- Historial de reparaciones/mantenimiento.
- Censos de tránsito/proyecciones.
- Estudios ambientales/climáticos.
- Informes del sistema de gestión de pavimentos.

Sostener reuniones con ingenieros proyectistas y de mantenimiento locales y además, pues puede resultar beneficioso, incluirlos como participantes en el proceso de la revisión en el terreno. La información recogida en esta fase se utiliza para dividir el pavimento en secciones discretas de características y comportamientos similares.

Esta fase incluye también determinar los requerimientos futuros para el comportamiento, tales como establecer las cargas del tránsito proyectado y la vida de diseño del refuerzo. Deben incluirse potenciales generadores de tránsito a futuro (ej., eventos especiales, desarrollos futuros a lo largo de la ruta, etc.), que pudieran impactar en el proceso de diseño del espesor.

Inspección Visual (Revisión en el Terreno)

Con la información histórica en la mano, la segunda etapa es una inspección visual en el terreno para obtener información inicial sobre el comportamiento del pavimento y factores causantes del deterioro. En el examen visual deben participar los miembros del equipo de diseño. Como mínimo, los siguientes factores causantes del deterioro deben revisarse y registrarse para tenerlos como referencia futura:

Apoyo Existente y Deterioro Localizado

Es clave para el éxito de una capa de refuerzo con hormigón, asegurarse que el pavimento subyacente y la subrasante/subbase proporcionarán un soporte uniforme. La información relacionada con el deterioro que se obtenga mediante las auscultaciones, tiene un gran impacto al momento de identificar las reparaciones puntuales necesarias y seleccionar el refuerzo apropiado. Las fallas que presenta un pavimento, en forma de defectos visibles o de deterioro, es el indicador más básico de su comportamiento y condición estructural. La publicación de la FHWA *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program* (2003 a) puede ser útil para identificar los deterioros de pavimentos y determinar su severidad. La información obtenida en este paso se utiliza para determinar el tipo y extensión de los ensayos de terreno necesarios.

Los tipos de deterioro se identifican principalmente porque existen y por su apariencia que suelen indicar las causas que los originan. La severidad del daño señala cuán crítico es en términos de la tasa de progresión; los daños más severos requieren medidas más extremas de rehabilitación. Al programarse un refuerzo, debe medirse la extensión de cada tipo de deterioro y su nivel de severidad.

Por ejemplo, debe ponerse atención a cualquier deterioro en la superficie de una capa asfáltica (pavimento asfáltico o compuesto existente) en consideración a que el asfalto refleja muy bien los problemas existentes en áreas subyacentes. Estos incluyen problemas derivados de un drenaje insuficiente de la subbase/ subrasante, deterioros relacionados con los materiales (MRDs) tales como la reacción álcali-sílice (ASR) o grietas por duración (D-cracking) de un hormigón y otros defectos resultantes de expansiones aisladas o pérdidas de soporte.

Las deformaciones de las losas (etapa inicial de reventones) pueden indicar la presencia de huecos bajo las losas en un pavimento de hormigón o compuesto. Las secciones con deformaciones excesivas pueden repararse para aliviar la presión y proporcionarles un soporte uniforme. Si durante el proceso de revisión en gabinete, se encuentra una base de granulometría abierta que es parte de la estructura del pavimento, es necesario programar una auscultación y análisis con un FWD (ver análisis opcionales en la página 15) debido a la probable consolidación secundaria de la base de granulometría abierta, con la consiguiente falta de uniformidad en el soporte. Estos ensayos con FWD deben realizarse antes de la revisión en el terreno, para asegurarse que el equipo de diseño tendrá la información a mano que le ayude a evaluar las condiciones de soporte.

Levantamiento del Sistema de Drenaje

Las malas condiciones del drenaje son causa importante del deterioro de la estructura del pavimento. A menos que se identifiquen los problemas relacionados con el agua y ellos se corrijan, la efectividad de las reparaciones y de los refuerzos será reducida. Como parte del levantamiento de información relacionada con el deterioro del pavimento, deben determinarse las condiciones generales del drenaje. Las calicatas excavadas al borde del pavimento entregan valiosa información sobre agua atrapada y otros factores de drenaje. Si se encuentran problemas con el drenaje (por ejemplo, surgencia de finos, grietas de esquina, aguas detenidas, etc.) pudiera ser necesario intensificar la secuencia de las mediciones con el FWD, para determinar el valor de soporte del suelo k o realizar una revisión más completa del drenaje bajo la superficie. Los objetivos de una auscultación del drenaje son los siguientes:

- Detectar e identificar deterioros relacionados con el agua.
- Documentar las condiciones del drenaje prevalecientes (por ejemplo, secciones transversales, áreas de corte/terraplén, profundidad y condición de los fosos).
- Valorar las condiciones en que se encuentran los drenes de borde.

Si existen drenes de borde, su efectividad debe evaluarse observando sus descargas después de una lluvia o tras vaciar agua sobre las discontinuidades del pavimento con un camión aljibe. Otra forma de establecer la eficiencia de los drenes de borde es por medio de una inspección con video (Daleiden 1998; Christopher 2000). Una cámara de video amarrada a un cable que se inserta al sistema de drenaje por las descargas, puede localizar bloqueos, como madrigueras de roedores o áreas donde la tubería ha colapsado. Varios estados han adoptado la inspección mediante video de los drenes de borde en sus procesos de evaluación/construcción. La inspección visual debe incluir la localización e inspección de todas las descargas del subdrenaje.

Es especialmente importante determinar el comportamiento de los suelos de la subrasante frente a ciclos hielo/deshielo y expansión/contracción. Los ensayos de suelos para determinar la capacidad soporte tales como el cono de penetración dinámica o los ensayos de penetración estándar, proporcionan valiosa información sobre la estabilidad de la subrasante.

Si la inspección del drenaje detecta que existen problemas, pudiera ser necesario hacer un análisis in situ sobre la capacidad drenante de la estructura del pavimento. El programa computacional DRIP (Drainage Requirements in Pavements) de la FHWA, puede ayudar en ese análisis (Mallela et al. 2002).

Deterioro Relacionado con los Materiales (MRD) de una Capa de Hormigón Existente

Los pavimentos que presenten deterioros relacionados con los materiales (MRD), pueden ser candidatos viables para ser reforzados con hormigón no adherido. Sin embargo, si se sospecha o sabe que existe MRD, debe determinarse su actual extensión y valorizar los potenciales daños futuros. En muchos casos el MRD se manifiesta subiendo desde la cara inferior de la losa hacia la superior, lo que significa que el daño visible sea entre mínimo y moderado, en tanto que exista deterioro severo en la cara inferior. Un método rápido y económico para revisar el deterioro ascendente, es excavar calicatas al borde del pavimento, frente a un número significativo de juntas e inspeccionarlas visualmente, para detectar los deterioros no visibles desde la superficie; ver Figura 9. Sin embargo, siempre que se sospeche que existe MRD, se deben realizar ensayos de laboratorio como se señala más arriba, para evaluar el grado que presenta el deterioro, así como el deterioro potencial futuro.

Cuando se estima que un pavimento que experimenta deterioro tipo MRD es viable a ser reforzado, la vida de diseño del refuerzo debe tener en consideración la vida remanente del pavimento existente. Entre menor es la severidad y la tasa de crecimiento del MRD, mayores son las posibilidades de una vida de servicio más larga.

No se recomienda reforzar con hormigón adherido pavimentos con deterioro tipo MRD, debido a que esos pavimentos experimentan movimientos, lo que promueve la reflexión de grietas. Sin embargo, por muchos años, se han estado construyendo refuerzos de hormigón no adherido sobre pavimentos con MRD. Un buen ejemplo es el refuerzo con hormigón no adherido de 130 mm (5 in.) de espesor de un pavimento con deterioro de durabilidad (D-cracking) en el área metropolitana de la ciudad de Kansas, en la Ruta D35 (ver Figuras 44 y 45 en el Capítulo 3). Después de 9 años y soportar más de 9.000 vehículos diarios, el refuerzo se encuentra en excelentes condiciones. Hay poca o nada de información o investigación que documente la condición que presentaba un pavimento con MRD, antes de construirse el refuerzo o del comportamiento de refuerzos no adheridos sobre pavimentos con MRD.

Los tres mecanismos que comúnmente originan el MRD en el hormigón son: la reacción álcali-sílice, la grietas por duración y los ciclos hielo/deshielo; más adelante se describen estos mecanismos y su influencia en el comportamiento de un refuerzo. En lo principal, cualquiera proceso expansivo continuo, provocado por los mecanismos que se describen más adelante, seguramente acortará la vida del refuerzo.

FAQ – ¿Puede un pavimento con MRD ser un candidato apropiado para un refuerzo con hormigón?

Los pavimentos existentes que presenten MRD no deben considerarse para un refuerzo con hormigón adherido. Sin embargo, ellos son potencialmente viables como candidatos para un refuerzo con hormigón no adherido. Los principales factores a considerar al diseñar un refuerzo de hormigón no adherido de un pavimento con MRD, son el soporte no uniforme y la pérdida de soporte. Como el proceso de MRD requiere de humedad para avanzar, la velocidad del proceso puede, a veces, disminuirse mejorando el drenaje del pavimento existente, renovando los drenes de borde antes de construir el refuerzo de hormigón.

Reacción Álcali-Sílice (ASR)

La reacción álcali-sílice ocurre con el trascurso del tiempo cuando se encuentran presentes agua, hidróxidos alcalinos contenidos en la pasta de cemento y sílice no cristalizada reactiva en los agregados (ver Figura 9). Esta reacción crea un gel de álcali-sílice que absorbe agua y se expande ejerciendo presión dentro de la mezcla la que origina agrietamientos y pérdidas de resistencia en el hormigón.

La reacción álcali-sílice se da con la presencia de tres ingredientes: agregados reactivos, hidróxidos alcalinos en la pasta y humedad. Las tasas de expansión pueden variar, causando deterioro por un cierto periodo de años hasta continuar por décadas, dependiendo en forma importante de la mineralogía del agregado; ver Figura 10. La ausencia de cualquiera de los tres ingredientes impedirá la reacción, sin embargo, en la práctica, ello no es siempre posible.

Al reducir la cantidad de agua que penetra en el hormigón, la reacción se desacelera, continuando mientras la humedad relativa en los poros sea

mayor que aproximadamente el 80 por ciento, lo que es muy común en pavimentos – aún en climas áridos. Una vez que se inicia el agrietamiento de la capa de hormigón, lo más probable es que el deterioro se acelere debido a que más agua penetra con mayor facilidad al hormigón.

Salvo que se pueda demostrar que todo el álcali del pavimento existente se ha consumido, limitando futuras reacciones, debe suponerse que el proceso existente continuará expandiéndose. Debe evaluarse cualquier hormigón sospechoso, de manera de estimar las potenciales futuras expansiones; para ello se pueden utilizar los procedimientos que se describen en el *Report on the Diagnosis, Prognosis and Mitigation of Alkali-Silica Reaction (ASR) in Transportation Structures* (Fournier et al. 2010). Antes de reemplazar la superficie de rodadura por un refuerzo de hormigón no adherido resulta importante, aún para reacciones ASR lentas, reducir el agua subterránea como una forma de mitigar el daño que causa el ASR.

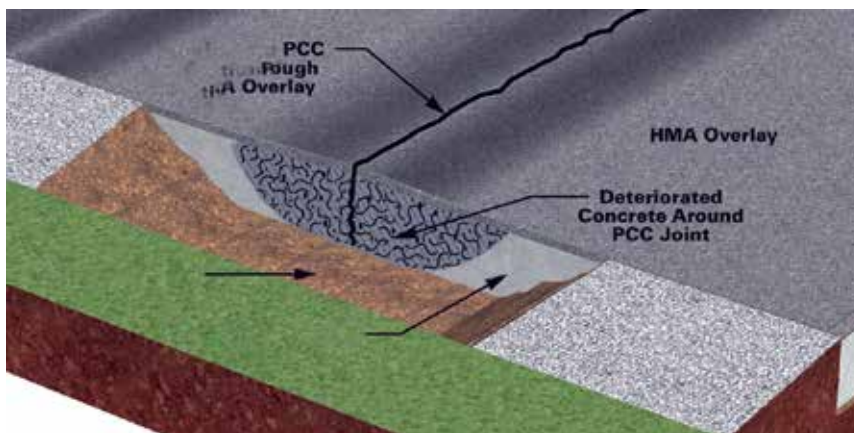


Figura 9. Inspección visual para localizar deterioro ASR en los bordes del pavimento



Figura 10. Agrietamiento ASR moderado en el perímetro de las losas (fuente: Thomas et al. 2011)

Deterioro por Durabilidad (D-cracking)

El deterioro por durabilidad es el daño causado por la propensión de algunos agregados calcáreos a absorber agua cuando encuentran humedad y a no soltarla en condiciones secas, debido a las pequeñas dimensiones de los poros del agregado. Así, las partículas permanecen saturadas y al congelarse, se expanden y quiebran, deteriorando la mezcla de hormigón. El deterioro tiende a iniciarse en la parte baja de la losa y en las juntas, progresando hacia el interior; ver Figura 11.

En casos extremos, al final del proceso, el hormigón se reduce a cascajos. En los Estados Unidos la forma de evaluar el riesgo implícito, varía de estado en estado, por lo que debe considerarse el conocimiento de las agencias viales locales (DOTs), al determinar si una capa existente presenta o no, un riesgo de deteriorarse por este fenómeno. Típicamente, un pavimento con deterioro de durabilidad requiere reparaciones a los 10 años, aproximadamente, aun cuando algunos pavimentos han durado tanto como 40 años. Una vez que el daño ha comenzado, lo más probable es que continúe, causando un crecimiento de las zonas dañadas en las juntas en el tiempo y por consiguiente reduzcan la capacidad de soporte que entregan a cualquier capa colocada sobre ella. Remover y reemplazar las secciones dañadas, permite ganar tiempo, sin embargo, el deterioro continuará desarrollándose en las secciones del hormigón más riesgosas, ello es en la zona de contacto entre hormigón antiguo con las reparaciones.

Como con cualquier deterioro tipo MRD, la probable vida remanente del pavimento deteriorado debe tenerse en consideración al proyectar la vida de diseño del refuerzo con hormigón.

Ciclos de Hielo y Deshielo

Cuando un hormigón que se encuentra saturado es sometido a ciclos de hielo y deshielo se deteriora, en especial en las juntas. Ello se debe, principalmente, a la expansión del agua existente al interior del sistema al congelarse, cuando carecen de una cantidad apropiada de huecos-aire (Distribución y volumen de aire). Típicamente,

cuando existe una mala distribución del volumen de aire, el deterioro ocurrirá en las juntas donde la humedad es más intensa; ver Figura 12. El deterioro continua progresando hacia el interior de la junta en la medida que la humedad puede penetrar a través de la zona dañada.

Cualquier estrategia que reduzca o detenga el ingreso de humedad, disminuirá el avance del deterioro. Aun cuando un refuerzo puede proporcionar algún grado de aislación y por lo tanto reducir el número de ciclos hielo-deshielo y disminuir el deterioro, no eliminará el problema. Para un potencial refuerzo adherido, en que el pavimento existente debe quedar en buenas condiciones mediante reparaciones puntuales o fresado, es importante, antes de seleccionar un refuerzo, comprobar el contenido de aire del pavimento existente de acuerdo con ASTM C 457. Este control debe realizarse a diferentes profundidades y en el centro de las losas del pavimento existente. Por ejemplo, si el contenido de aire está bajo 5 por ciento y el factor de espaciamiento es mayor que 0,2 mm (0,008 in.) deben examinarse cuidadosamente por donde penetra la humedad, antes de considerar un refuerzo adherido. Esto es particularmente cierto si esta condición se presenta en o cerca de la cara inferior del pavimento.

En el caso de refuerzos con hormigón no adherido, cuando el pavimento existente presenta alrededor de las juntas, deterioro de espesor parcial o en todo el espesor, puede removerse el hormigón deteriorado y reemplazarse por un hormigón de baja resistencia (ej. mortero fluido). No se necesita, ni aserrar, ni restablecer las juntas, puesto que como el refuerzo es no adherido, el agrietamiento del pavimento existente no afectará al refuerzo. La solución con refuerzo no adherido debería ser práctica y rentable para pavimentos que presentan condiciones malas o deterioradas por los ciclos hielo-deshielo. La vida útil debe conjugarse con la vida esperada para el pavimento existente después de efectuarle las reparaciones.

Restricciones Verticales

La construcción de un refuerzo de hormigón levantará la rasante a menos que se rebaje por

medios mecánicos tales como fresar. Deben considerarse los efectos del cambio de rasante, particularmente debajo de puentes y sus aproximaciones, áreas de bermas y de cunetas y soleras. En las páginas 64, 69 y 70 se incluyen diseños detallados para estas situaciones. La recopilación visual de antecedentes debe incluir una lista completa de las potenciales restricciones verticales tales como las siguientes:

- Estructuras de puentes.
- Requerimientos de gálibo vertical.
- Barreras metálicas, parapetos de hormigón, barreras de cable, y barreras de la mediana.
- Cunetas y soleras.
- Entradas de aguas lluvias.
- Intersecciones de caminos y accesos a caminos.
- Conductos de drenaje y alcantarillas.
- Taludes de seguridad y fosos.

Perfil de la Rasante

Se debe realizar una revisión del perfil de la rasante existente; las áreas en que presente desviaciones significativas deberán investigarse mediante el análisis de muestras. La evidencia de desplazamientos activos de numerosas losas en un pavimento de hormigón o compuesto pudiera indicar una potencial falta de uniformidad de soporte o inestabilidad de la subrasante o MRD. Esto, también, requerirá de un análisis detallado del pavimento de manera de determinar la extensión del deterioro y determinar posibles acciones correctivas. Por ejemplo, si los desplazamientos de losas se encuentran confinados a áreas aisladas, se puede considerar una reparación en todo el espesor. Deben anotarse las irregularidades de la rasante (elevaciones y depresiones significativas) y determinarse sus causas. La inspección visual debe establecer cuál es la sección transversal típica del pavimento existente, así como los límites de los peraltes de las curvas.



Figura 11. Pavimento con deterioro tipo D



Figura 12. Junta deteriorada típica, parchada con HMA
(fuente: Trinity Construction Management Services, Inc.)

Muestreo del Pavimento

Con sólo la inspección visual, puede resultar difícil determinar la(s) causa(s) y extensión del agrietamiento. El análisis de testigos puede suplementar la información recogida con la inspección visual. Esto puede hacerse ya sea simultáneamente con la revisión en el terreno o posteriormente. La localización y frecuencia del muestreo debe determinarse en base al deterioro detectado durante el examen visual.

Para evaluar el espesor de las capas y las condiciones del pavimento, deben obtenerse un mínimo de dos testigos por pista y por kilómetro. Siempre que sea posible, los miembros del equipo de diseño deben estar presentes durante la extracción de muestras, de manera de observar las condiciones que presentan las capas del pavimento al momento de extraerlas.

Los testigos sirven para conocer el espesor de las capas y determinar el valor del soporte del pavimento; el tipo y condiciones de los materiales de las capas; la profundidad que alcanza el deterioro, si el pavimento existente es asfáltico de todo el espesor (full depth asphalt) o es compuesto y las condiciones que presenta la liga entre capas. En pavimentos asfálticos y compuestos, es crítico evaluar la adherencia entre capas e identificar cuales se encuentran desprendidas de manera de establecer si la capa de asfalto que quedará después del fresado, se ajustará a los supuestos implícitos en el diseño del refuerzo de hormigón. Los testigos que penetran en la subrasante permiten detectar si existen condiciones inestables, tales como una incipiente emigración de finos hacia capas de base de granulometría abierta, lo que puede llevar a obturaciones e inestabilidad. Los testigos también proporcionan muestras para posibles análisis de laboratorio.

Análisis Opcionales

Varios factores afectan la necesidad y extensión de ensayos adicionales para la evaluación del pavimento. Los ensayos adicionales pueden

FAQ-¿Cuándo son realmente necesarios los análisis adicionales?

En general, los análisis adicionales (ensayos) para afinar la información son solamente necesarios cuando el pavimento existente se encuentra en malas condiciones y/o se proyecta para tránsito pesado.

resultar necesarios debido a lo observado durante la revisión en el terreno y/o como resultado del análisis de los testigos del pavimento; ver Tabla 1. El tipo de camino (ej. primario o secundario) y la confiabilidad del subsiguiente diseño, pueden definir la decisión. Por ejemplo, el refuerzo con hormigón de un camino comunal con tránsito moderado podría diseñarse con la información obtenida en los tres primeros pasos. Por el contrario, una carretera con pistas divididas y alto tránsito, podría requerir de información adicional para caracterizar con más precisión las propiedades del pavimento existente.

Para asegurar la aplicabilidad de una solución con refuerzo con hormigón adherido o no adherido, es siempre necesario analizar integralmente las condiciones del pavimento. En general, se requiere más información sobre la condición del pavimento existente, cuando se está considerando o diseñando un sistema de refuerzo con hormigón adherido. Hay varias razones para ello:

- 1 El comportamiento de un refuerzo con hormigón adherido en comparación con uno no adherido, es más dependiente de las condiciones que presente el pavimento existente.
- 2 Debido a que los refuerzos adheridos son relativamente delgados, son de alguna manera más susceptibles a las tensiones, que la propia naturaleza del sistema adherido desarrolla.
- 3 El pavimento existente forma parte de una estructura monolítica con la capa de refuerzo (no es sólo una base para un refuerzo no adherido), por lo que debe contribuir con cierto nivel de resistencia e integridad y ser capaz de desarrollar y mantener una adherencia con el refuerzo.

Por lo tanto, al evaluar la idoneidad de un pavimento a ser reforzarlo con hormigón adherido, es particularmente importante caracterizar la sección transversal existente y establecer las características, tipo, severidad y extensión del deterioro. No siempre es necesario realizar ensayos de laboratorio en todos los proyectos; normalmente se ejecutan para confirmar o clarificar resultados del examen visual, revelar mecanismos de falla y para obtener información adicional necesaria para identificar los tratamientos factibles (ver páginas 18 – 23).

Debe garantizarse una evaluación detallada del tipo, grado y situación del MRD para determinar si un refuerzo es factible. Se puede esperar que los refuerzos con hormigón no adherido de pavimentos de hormigón o compuestos con MRD, tengan una vida larga, igual a la de un pavimento de hormigón de todo el espesor, siempre que el refuerzo se diseñe correctamente, teniendo en consideración cualquier falta de uniformidad del pavimento existente. Para que esto sea posible, debe determinarse la tasa de incremento del MRD y el potencial mayor deterioro (después de colocado el refuerzo con hormigón).

Se han utilizado con éxito refuerzos no adheridos de mayor espesor (150 mm; 6 in.) sobre pavimentos de hormigón con deterioro tipo ASR (solos o como parte de un pavimento compuesto existente) en una variedad de climas y una amplia gama de tipos de carreteras. Estos refuerzos se han comportado extraordinariamente bien cuando la reacción expansiva del agregado se encuentra en su etapa final, ha disminuido la tasa de deterioro o ella está relativamente uniformemente distribuida por todo el pavimento existente. Sin embargo, variaciones extremas del grado de deterioro ASR

Tabla 1. Ensayos opcionales recomendados

Ensayos Opcionales	Asfalto Existente		Compuesto Existente		Hormigón Existente	
	Adherido	No Adherido	Adherido	No Adherido	Adherido	No Adherido
Deflectómetro de Impacto (FWD)						
Módulo de Elasticidad del Asfalto (E)	X		X			
Módulo de Reacción Efectivo de la Subrasante (k)	X	X	X	X	X	X
Eficiencia Transferencia de Cargas			X	X	X	X
Testigos						
Desprendimiento del Asfalto (ASTM D 4867)	X	X	X	X		
Espesor del Pavimento de Hormigón	X	X	X	X	X	X
Exámenes Petrográficos			X _{1,2}	X ₂	X _{1,3}	X ₂

1 - Propiedades de incorporar aire cuando se sospecha que la causa del deterioro observado es el bajo contenido de aire incorporado

2 - Identificar MRD perjudicial

3 - Determinar el tipo de agregado

FAQ- ¿Por qué son necesarios los ensayos opcionales para los refuerzos no adheridos cuando el pavimento existente se ha caracterizado como una subbase de “alta calidad” en el proceso de diseñar espesores?

Aún cuando los refuerzos no adheridos son menos dependientes de las condiciones del pavimento existente que los refuerzos adheridos, existen circunstancias que hacen deseable realizar ensayos adicionales. Especialmente este es el caso de caminos de alto tránsito donde la confiabilidad del diseño es crítica y cuando se sospeche que existe deterioro tipo MRD.

a lo largo de un pavimento (particularmente cuando el deterioro se concentra en las juntas), pueden originar un soporte no uniforme, con el consiguiente desafío para el refuerzo.

Puesto que el agrietamiento por durabilidad normalmente ocurre en o cerca de las juntas, los refuerzos con hormigón adherido de pavimentos de hormigón que presentan grietas por duración (o pavimentos compuestos en los cuales el pavimento de hormigón tiene grietas por duración) han tenido comportamientos mixtos. En el pavimento subyacente pueden darse movimientos localizados en las juntas e incluso agrietamientos. Esto puede originar agrietamiento en el refuerzo como resultado de un soporte no uniforme.

Ensayos de Deflexión

Los ensayos que miden las deflexiones del pavimento son una manera efectiva para establecer su capacidad estructural. La información puede utilizarse para estimar, por medio de métodos de retro-cálculo, el módulo de elasticidad y el valor de k . Nuevamente, los ensayos de deflexión no son necesarios para todos los pavimentos, especialmente los que presentan condiciones regulares o buenas o para caminos de bajo tránsito. Cuando se ejecutan, el mínimo debe ser un ensayo por pista por cada 500 metros.

Varios aparatos para medir deflexiones se encuentran disponibles, pero todos operan básicamente de la misma manera. Se aplica al pavimento una carga conocida y se mide la deflexión resultante. Normalmente se utiliza el FWD o cualquier otro aparato capaz de aplicar cargas similares en magnitud y duración a las de una rueda en movimiento. Los resultados de los ensayos de deflexión también se utilizan para contar con perfiles que muestren las deflexiones del pavimento, retro-calcular las propiedades de las capas, determinar la capacidad de transferencia de cargas y evaluar potenciales huecos en las esquinas de las losas.

Alternativas para Determinar las Condiciones de Soporte

En algunos casos, un análisis visual y análisis de testigos proporcionan suficiente información para determinar si el pavimento es un buen candidato para un refuerzo con hormigón. Otras veces, sin embargo, especialmente cuando se dan situaciones de borde, se requiere de mayor análisis. Uno de esos análisis implica determinar las condiciones de soporte de la sub base/subrasante en términos de la razón soporte de California (CBR).

Un método de bajo costo y fácil de realizar en el terreno, es determinar el nivel de soporte en términos del CBR, por medio del cono de penetración dinámica (DCP); ver Figura 13. Este instrumento permite medir la capacidad soporte in situ de subrasantes, bases granulares y subbases, tanto de suelos finos como granulares.

Un peso de 8 kg (17,6 lb) se levanta a una altura de 575 mm (22,6 in.) y se deja caer, empujando el cono dentro del suelo o el material que está siendo ensayado. Como resultado, se utiliza la tasa de penetración (PR) expresada en términos de mm (in) por golpe. (El método de ensayo DPC se encuentra especificado en ASTM D 6351: *Método de Ensayo Estándar para el Cono de Penetración Dinámica en Aplicaciones Superficiales de Pavimentos*).

Los ensayos que relacionan la capacidad soporte del suelo con el DCP o el ensayo de penetración estándar, proporcionan información útil sobre la estabilidad de la subrasante.

Los beneficios del DCP son los siguientes:

- Bajo costo.
- Fácil de operar – se puede entrenar un operador en minutos.
- Gran profundidad de penetración – se puede recoger información hasta 915 mm (36 in.) de profundidad.
- Rapidez – una gran cantidad de información puede recogerse y convertirse rápidamente los valores a CBR.

Aun cuando el DCP no mide directamente densidades, puede utilizarse para asignar la densidad de un material razonablemente uniforme, relacionando la densidad con la tasa de penetración (PR). Así, se pueden identificar punto mal compactados o de suelos blandos.

El valor del CBR puede también ser importante en el diseño del espesor del refuerzo. Los métodos de diseño para determinar el espesor del refuerzo con hormigón utilizan la capacidad soporte expresada en términos del módulo de reacción de la subrasante (k). Aun cuando el valor de k resulta difícil de medir, puede estimarse con relativa facilidad a partir del valor del CBR.



Figura 13. Cono de penetración dinámica (fuente: David White, Iowa State University)

Tabla 2. Tipos de suelos de la subrasante y valores soporte aproximados

Tipo de Suelo	Soporte	k MPa/m	CBR
Suelos finos: predominan las partículas tamaño limo y arcillas	Bajo	20 - 30	2,5 a 3,5
Arenas y gravas arenosas mezcladas con cantidades moderadas de limo y arcilla	Medio	35 - 45	4,5 a 7,5
Mezclas de arenas con gravas arenosas relativamente libres de finos plásticos	Alto	50 - 60	8,5 a 12,0

Notas: CBR (Razón Soporte California); 1 psi = 0,0069 MPa; 1 MPa/m = 3,7 psi/in.

La Tabla se basa en información de ACI 330R-08 en relación a los rangos de valores para varios tipos de suelos de subrasantes (Portland Cement Association 1984; NCHRP 1982) compactados a la densidad especificada.

En la Tabla 2, los valores del CBR están asociados a los de k, expresados en megapascas por metro (MPa/m). En la Tabla, ambos valores se asocian generalmente con tipos de suelos y condiciones de soporte de la subrasante. El valor de k puede estimarse en proyectos diseñados para tránsito liviano solamente, donde resultan impracticables extensas exploraciones del suelo o económicamente no se justifica en consideración del alcance del proyecto. Se recomienda ser conservador en la estimación.

Ensayos de Rugosidad y Fricción Superficial

La rugosidad y fricción en la superficie son dos indicadores claves en el comportamiento funcional del pavimento: su suavidad para una circulación cómoda y la resistencia al deslizamiento para la seguridad. Los ensayos de rugosidad (expresados en los términos del Índice de Rugosidad Internacional, IRI) a este nivel de proyecto, pueden ser útiles para ayudar a identificar áreas localizadas de alta rugosidad y para asegurar la efectividad del tratamiento realizado (comparando la rugosidad pre y pos tratamiento). Los ensayos de fricción (resistencia al deslizamiento) no se realizan comúnmente a nivel de evaluación de proyectos, pero pueden ser significativos en proyectos que exhiben una cantidad desproporcionada de accidentes con clima húmedo.

Monografía de la Condición del Pavimento

Una vez evaluados todos los aspectos de un pavimento existente, deben resumirse los deterioros y condiciones críticas de drenaje. Una forma útil de resumir esta información es vaciarla a una monografía que permita comparar los diferentes parámetros de condición simultáneamente (Smith et al. 2008). En la forma de un gráfico de barras, la monografía indica visualmente donde ocurren los diferentes deterioros a lo largo del proyecto, así como su extensión y severidad. Permite mostrar en forma continua, deterioros tales como, losas agrietadas, grietas de esquina, escalonamiento, saltadura de juntas y rugosidad. Las áreas con mal drenaje o con cambios significativos en la topografía (secciones en corte/terraplén) pueden sobreponerse en el gráfico. Este tipo de gráfico proporcionan una visión crítica del comportamiento estructural y funcional del pavimento, ayudando a los propietarios del camino a determinar si y cuando son apropiadas actividades de preservación o rehabilitación.

Las Figuras 14, 15 y 16 muestran un ejemplo gráfico del proceso de evaluación y selección del refuerzo para un pavimento.

Informe de la Evaluación del Pavimento

El paso final de la evaluación es resumir, en un informe, los resultados de la información recolectada y de los análisis realizados. En el informe se debe identificar también todo factor crítico no relacionado directamente con el pavimento, tales como las condiciones de las bermas, fosos, faja de expropiaciones (derecho de vía), curvas, puentes, accesos y patrones de tránsito. En último término, como se describe en la próxima sección, esta información se utiliza en la identificación y selección de las reparaciones puntuales y de los refuerzos apropiados.

Selección de la Solución Apropriada de Capa de Refuerzo con Hormigón

Para seleccionar el tipo de capa de refuerzo con hormigón deben considerarse varios factores. El factor más importante es la condición que presenta el pavimento existente. En general, los pavimentos en relativamente buenas condiciones o que pueden efectivamente llevarse a buenas condiciones, son candidatos a refuerzos con hormigón adherido. En estos casos, los refuerzos adheridos pueden mejorar la condición funcional (reducen la rugosidad o el ruido o mejoran la fricción) y/o aumentar la capacidad estructural (soportan el incremento proyectado de cargas de camiones).

Por ejemplo, a un pavimento que está en condiciones entre regulares y malas debido a ahuellamiento y ondulaciones, se le puede colocar una sobre capa consistente en un refuerzo con hormigón adherido, después de mejorarlo a buenas condiciones mediante reparaciones puntuales o fresarlo para remover las deficiencias. Por su naturaleza, la adherencia entre el refuerzo y el pavimento existente aumenta la capacidad estructural. En esta situación, sin embargo, pudiera resultar igualmente rentable colocar un refuerzo no adherido, de ligeramente mayor espesor, con menos trabajos previos al refuerzo y sin tener que depender de la adherencia.

En general, los pavimentos existentes en malas condiciones que presentan un deterioro estructural significativo son candidatos a un refuerzo no adherido. Además, la presencia de MRD, por reacción álcali-sílice, ASR o grietas por duración, también sugieren la necesidad de un refuerzo no adherido o aún la reconstrucción. Ver Apéndice B para opciones de reconstrucción.

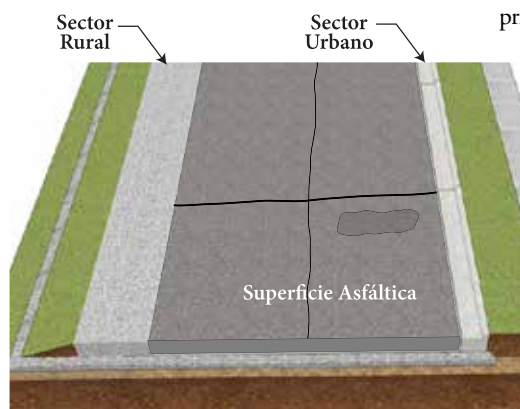
Los refuerzos con hormigón proporcionan soluciones económicas para corto y largo plazo en pavimentos que presentan una variedad de condiciones, tal como se muestra en las Figuras 14 – 16 en las siguientes páginas. Tomar nota que las soluciones de refuerzos recomendadas es esos gráficos son generalmente para plazos largos, para vidas esperadas del orden de 20 años o más.

Selección de la Solución Adecuada de Refuerzo con Hormigón de un Pavimento Asfáltico

Las capas de refuerzo de pavimentos asfálticos con hormigón entregan soluciones económicas para corto y largo plazo. Las recomendaciones que se señalan en la siguiente carta de flujo son, en general, para una vida a largo plazo, del orden de 20 años o más.

Como cualquier sistema de preservación, los principios de la gestión de activos tienen

como piedra angular la selección más apropiada de la solución de refuerzo con hormigón. Tres importantes preguntas relacionadas con la gestión de activos deben responderse como parte del proceso de selección, para que la solución de refuerzo con hormigón cumpla con las necesidades de una agencia. Primero, ¿cuál es el nivel de servicio esperado para el refuerzo con hormigón?

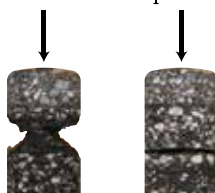


Buenas Condiciones

El pavimento está estructuralmente sano, sólo necesita incrementar su capacidad estructural, mejorar sus características superficiales (suavidad, fricción y nivel de ruido), removerle defectos superficiales y/o mejorar las propiedades de reflectancia.

Condiciones Regulares

El pavimento está estructuralmente sano pero tiene deterioro superficial menor, como baches, grietas en bloque o agrietamiento térmico aleatorio. Revisar para ver si la rasante presenta ondulaciones y determinar si existe subdrenaje. Revisar los testigos para asegurar que no hay una cantidad cuantificable de desprendimiento o desprendimiento de capas de asfalto.



Malas Condiciones

El pavimento presenta deterioro mensurable mayor que aquel descrito como "condiciones regulares", tal como agrietamiento por fatiga, ahuellamiento, ondulaciones, condición resbaladiza, desprendimientos y desgaste superficial.

Nota: El asfalto refleja bien los deterioros existentes bajo la superficie como subbases en malas condiciones.

Condición Deteriorada

El pavimento presenta características de "malas condiciones" como también deterioro significativo, desgaste superficial, expansión térmica, desprendimientos y deterioro estructural.

Reparaciones Puntuales

¿Se puede, mediante reparaciones superficiales y/o reparaciones estructurales puntuales, rentablemente salvar las deficiencias, llevar el pavimento a "buenas condiciones" y salvar otras restricciones, como gálibos verticales, bermas, barreras de seguridad, taludes de seguridad, etc., de manera de permitir un refuerzo adherido?

SI

NO

Fresado/Reparaciones Menores Puntuales

¿Puede el fresado y las reparaciones puntuales menores resolver las deficiencias, llevando el pavimento a "buenas condiciones" y salvar las otras restricciones, como gálibos verticales, bermas, barreras de seguridad, taludes de seguridad, etc., de manera de permitir un refuerzo adherido?

SI

NO

Fresado y Bacheo

¿Pueden reparaciones estructurales puntuales y/o fresado resolver rentablemente las deficiencias, ajustarse al gálibo vertical y a los requerimientos estructurales y llevar al pavimento existente a una condición que provea una subbase uniforme para un refuerzo no adherido?

SI

NO

Reparaciones Adicionales

¿Pueden las condiciones existentes o potenciales de inestabilidad o deficiencias mayores (ej. subrasante húmeda, desprendimientos en el asfalto), solucionarse rentablemente con una combinación de técnicas de preservación (ej. fresado, reparación de subdrenes, parches de todo el espesor) y salvarse otras restricciones (ej. gálibo vertical, barreras de seguridad), con un refuerzo no adherido de espesor adecuado?

SI

NO

Figura 14. Selección de solución de recubrimiento de hormigón adecuado para pavimentos asfálticos

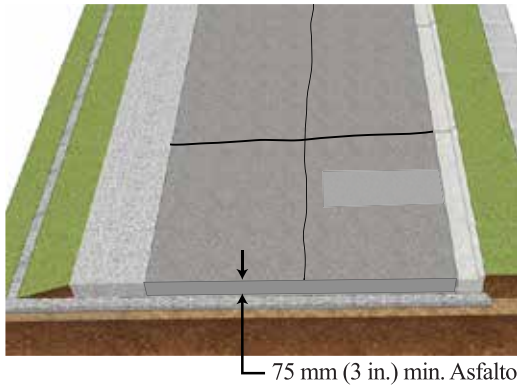
Segundo, ¿Cuál es la vida que se desea para el refuerzo, dadas las condiciones que presenta el pavimento existente? Tercero, ¿Qué tipo de refuerzo (adherido o no adherido) cumple con los dos primeros objetivos con el menor costo de ciclo de vida?

Deben considerarse varios factores al seleccionar una capa de refuerzo adherida o no adherida de un pavimento asfáltico existente. Los dos factores predominantes son:

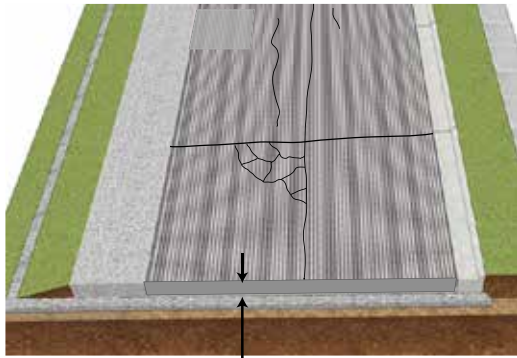
las condiciones que presenta el pavimento existente y la extensión de las reparaciones previas requeridas.

Generalmente, los pavimentos existentes que presentan condiciones relativamente buenas o regulares, o pavimentos en malas condiciones que pueden llevarse rentablemente a buenas condiciones son candidatos a ser reforzados con hormigón adherido. Los pavimentos asfálticos que no pueden ser rentablemente devueltos a una

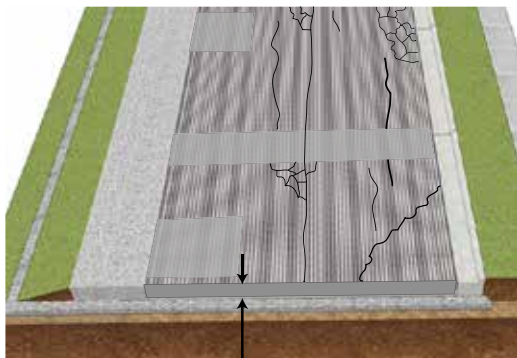
buena condición, son candidatos a refuerzos no adheridos, en tanto, pueden servir como una subbase que proporcione un soporte relativamente uniforme. Los asfaltos con deterioro estructural significativo pueden reforzarse con hormigón, siempre que se reparen los puntos inestables y blandos. Salvo que existan problemas irreparables bajo la superficie que obliguen a remover el asfalto, es muy poco frecuente que no pueda utilizarse un refuerzo no adherido.



75 mm (3 in.) min. Asfalto

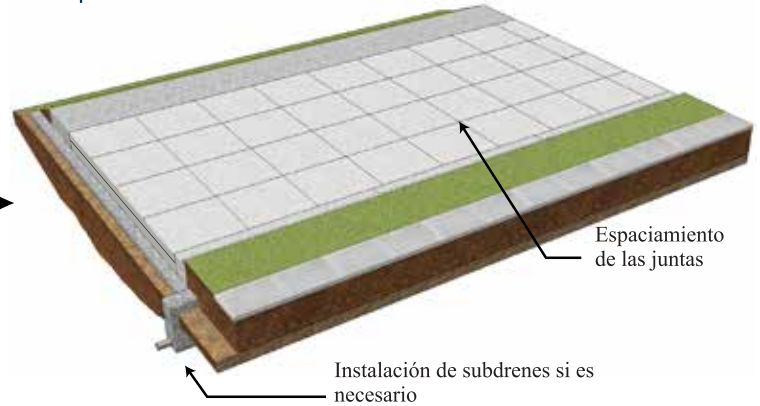


75 mm (3 in.) min. Asfalto



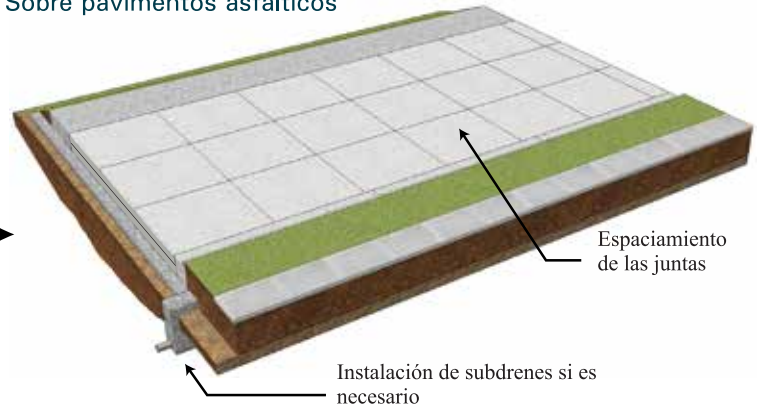
75 mm (3 in.) min. Asfalto

Capas de Refuerzo con Hormigón Adherido Sobre pavimentos asfálticos



Nota: El espesor del refuerzo debe ser apropiadamente diseñado considerando el tránsito estimado, la vida de diseño deseada y el presupuesto

Capas de Refuerzo con Hormigón No Adherido Sobre pavimentos asfálticos



FAQ - ¿Qué se hace si el pavimento existente no es candidato a un refuerzo con hormigón no adherido? Aun cuando la mayoría de los pavimentos pueden preservarse con un refuerzo de hormigón, hay situaciones en que un refuerzo con hormigón no es apropiado. Cuando esto ocurre, la alternativa es reconstruirlo. Las opciones de reconstrucción son las siguientes:

- **Recomendado:** Fresar y rellenar. Remover el asfalto fresando, reparar cualquier defecto en la subrasante y rellenar con un pavimento de hormigón nuevo. Reciclar el material asfáltico.
- **Permitido:** en condiciones específicas: Cuando el asfalto tiene menos de 150 mm (6 in.) de espesor y se encuentra deteriorado, puede reciclarse, pulverizarse, mezclarse con la base y tratarse con cemento para colocarse como parte de la subrasante/subbase (full depth reclamation, FDR).

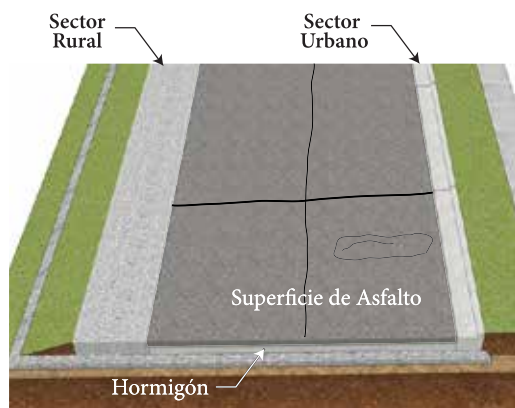
Selección de la Solución Adecuada de Refuerzo con Hormigón de un Pavimento Compuesto

Las capas de refuerzo con hormigón entregan soluciones económicas para corto y largo plazo.

Las recomendaciones que se señalan en la siguiente carta de flujo son, en general, para una vida de largo plazo, del orden de 20 años o más.

Como cualquier sistema de preservación, los principios de la gestión de activos tienen como piedra angular la selección más apropiada

de la solución de refuerzo con hormigón. Tres importantes preguntas relacionadas con la gestión de activos deben responderse como parte del proceso de selección. Primero, ¿cuál es el nivel de servicio esperado para el refuerzo con hormigón? Segundo, ¿Cuál es la vida que se desea para el refuerzo, considerando las condiciones que presenta el pavimento existente?

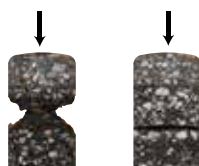


Buenas Condiciones

El pavimento está estructuralmente sano, sólo necesita incrementar su capacidad estructural, mejorar sus características superficiales (suavidad, fricción y nivel ruido), corregir los defectos superficiales y/o mejorar las propiedades de reflectancia.

Condiciones Regulares

El pavimento está estructuralmente sano pero tiene deterioro superficial menor, como baches, grietas en bloque, agrietamiento disperso y grietas térmicas. Revisar para ver si la rasante presenta ondulaciones y determinar si existe subdrenaje o consolidación secundaria. Revisar los testigos para asegurar que no hay una cantidad cuantificable de desprendimiento o desprendimiento de capas de asfalto.



Malas Condiciones

El pavimento presenta deterioro mensurable mayor que aquel descrito como "condiciones regulares". Esto incluye agrietamiento por fatiga, ahuellamiento, ondulaciones, condición resbaladiza, desprendimientos, desgaste superficial y posible MDR (ver página 13).

Nota: El asfalto refleja bien los deterioros existentes bajo la superficie como subbases en malas condiciones y deterioro de juntas de pavimentos de hormigón.

Condición Deteriorada

El pavimento presenta características de "malas condiciones" como también deterioro superficial significativo, desgaste superficial y deterioro estructural. Si presenta deterioro de juntas severo o potencial por ciclos hielo/deshielo o deterioro relacionado con los materiales (MDR: ASR o grietas por durabilidad) y si ello ocurre entre 0,9 a 1,2 m (3 a 4 ft) en prácticamente todas las juntas, entonces normalmente el pavimento no es un buen candidato para ser reforzado salvo que se reduzca la vida de servicio.

Reparaciones Puntuales

¿Se puede, mediante reparaciones superficiales y/o reparaciones estructurales puntuales, rentablemente salvar las deficiencias, llevar el pavimento a "buenas condiciones" y salvar otras restricciones, como gálibos verticales, bermas, barreras de seguridad, taludes de seguridad, etc. de manera de permitir un refuerzo adherido?

SI

NO ↓

Fresado/Reparaciones Menores Puntuales

¿Puede el fresado y las reparaciones puntuales menores resolver las deficiencias, llevando el pavimento a "buenas condiciones" y salvar las otras restricciones, como gálibos verticales, bermas, barreras de seguridad, taludes de seguridad, etc. de manera de permitir un refuerzo adherido?

SI

NO ↓

Fresado y Bacheo

¿Las reparaciones estructurales puntuales y/o fresadas (capas asfálticas con tendencia a desprendimientos), pueden resolver rentablemente las deficiencias, ajustarse al gálibo vertical y a los requerimientos estructurales y llevar al pavimento existente a una condición que provea una subbase uniforme para una capa de refuerzo no adherida?

SI

NO ↓

Reparaciones Adicionales

¿Pueden las condiciones existentes o potenciales de inestabilidad o deficiencias mayores (ej. subrasante húmeda, MRD, escalonamiento), solucionarse rentablemente con una combinación de técnicas de preservación (ej. fresado, reparación de subdrenes, parches de todo el espesor)? ¿Pueden salvarse otras restricciones (ej. gálibo vertical, barreras de seguridad), con un refuerzo no adherido de espesor adecuado? ¿Requiere el asfalto ser completamente fresado para removerle deficiencias mayores tales como desprendimientos y colocarse una nueva capa separadora entre el pavimento subyacente y el nuevo refuerzo no adherido?

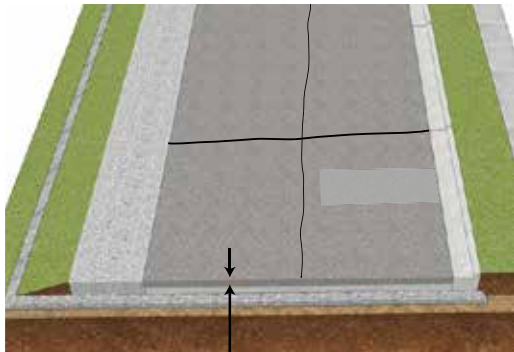
Figura 15. Selección de solución de recubrimiento de hormigón adecuado para pavimentos compuestos

Tercero, ¿Qué tipo de refuerzo (adherido o no adherido) cumple con los dos primeros objetivos con el menor costo de ciclo de vida?

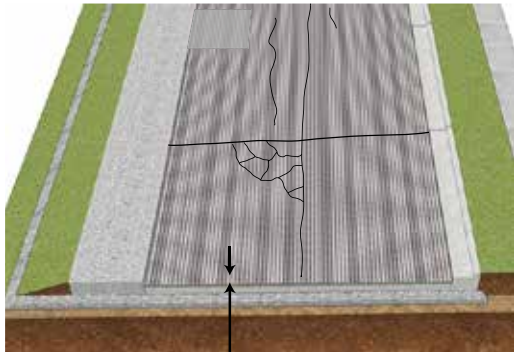
Deben considerarse varios factores al seleccionar un refuerzo de un pavimento compuesto existente. Los dos factores predominantes son: las condiciones que presenta el pavimento existente y la extensión de las reparaciones previas requeridas.

Generalmente, los pavimentos compuestos existentes que presentan condiciones relativamente buenas o regulares, o pavimentos en malas condiciones que pueden llevarse rentablemente a buenas condiciones, son candidatos a ser reforzados con hormigón adherido. Los pavimentos compuestos que no pueden ser rentablemente devueltos a una buena condición, son candidatos a refuerzos no adheridos, en tanto, puedan servir como una subbase que proporcione un soporte relativamente uniforme. Los deterioros significativos pueden reforzarse con hormigón en tanto se reparen previamente los puntos inestables y blandos.

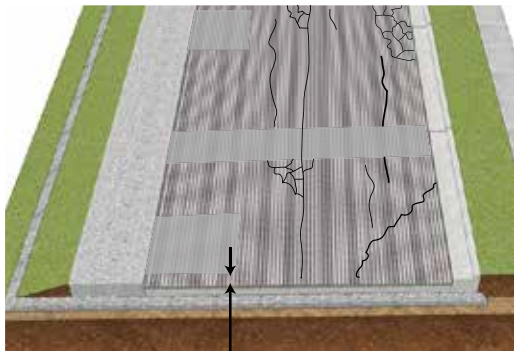
Debe realizarse una completa evaluación para establecer las condiciones que presenta el pavimento existente y definir los alcances de los trabajos previos. Si se detecta deterioro relacionado con los materiales (MRD: ASR, grietas por durabilidad y/o daños por ciclos hielo/deshielo), deben ejecutarse ensayos de laboratorio para definir la extensión del MRD (ver página 13 para más directrices de cómo tratar pavimentos existentes con MRD)



75 mm (3 in.) min. Asfalto

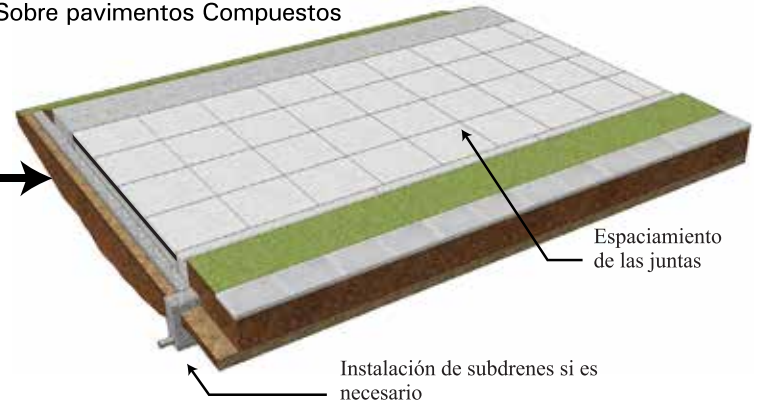


75 mm (3 in.) min. Asfalto



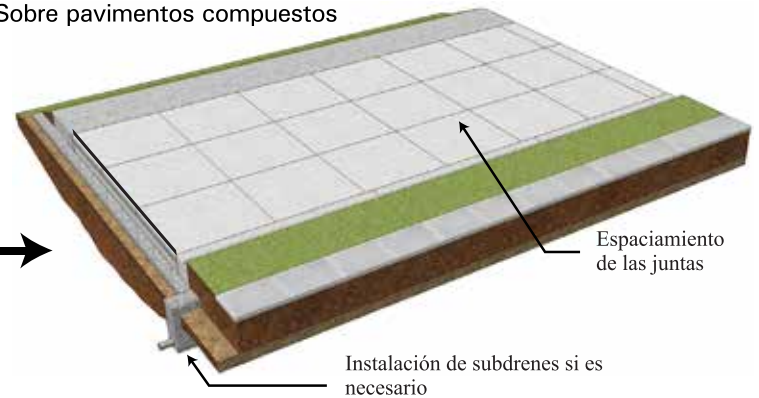
75 mm (3 in.) min. Asfalto

Capas de Refuerzo con Hormigón Adheridas Sobre pavimentos Compuestos



Nota: El espesor del refuerzo debe ser apropiadamente diseñado considerando el tránsito estimado, la vida de diseño deseada y el presupuesto

Capas de Refuerzo con Hormigón No Adheridas Sobre pavimentos compuestos



FAQ-¿Qué se hace si el pavimento existente no es candidato a un refuerzo con hormigón no adherido? Aun cuando la mayoría de los pavimentos pueden preservarse con un refuerzo de hormigón no adherido, hay situaciones en que un refuerzo no es apropiado. Cuando esto ocurre, la alternativa es reconstruirlo. **Las opciones de reconstrucción se analizan en el Apéndice B.** En resumen, incluyen lo siguiente:

- **Recomendado:** Reciclado in situ del pavimento existente para que sirva como base para el nuevo pavimento o material para bermas.
- **Permitido:** en condiciones específicas: desintegración el pavimento de hormigón existente para que sirva como base para un nuevo pavimento de hormigón.
- **No recomendado:** trozar y asentar las losas para que sirvan como base del nuevo pavimento.

SI

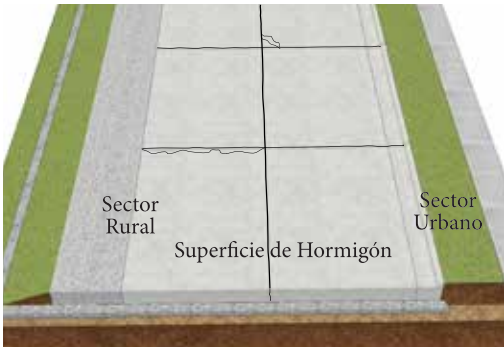
NO

Selección de la Solución Adecuada de Refuerzo con Hormigón de un Pavimento de Hormigón

Los refuerzos de pavimentos de hormigón con hormigón entregan soluciones económicas para corto y largo plazo.

Las recomendaciones que se señalan en la siguiente carta de flujo son, en general, para una vida de largo plazo, del orden de 20 años o más.

Como cualquier sistema de preservación, los principios de la gestión de activos tienen como piedra angular la selección más apropiada de la solución de refuerzo con hormigón. Tres importantes preguntas relacionadas con la gestión de activos deben responderse como parte del proceso de selección, de manera que la solución se ajuste a las necesidades de la agencia. Primero, ¿cuál es el nivel de servicio esperado para el refuerzo con hormigón? Segundo, ¿Cuál es la vida que se desea para el refuerzo, considerando las condiciones que presenta el pavimento existente?



Buenas Condiciones

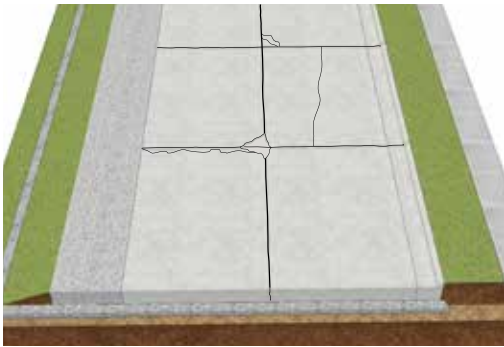
El pavimento está estructuralmente sano, sólo necesita incrementar su capacidad estructural, mejorar sus características superficiales (suavidad, fricción y nivel de ruido), corregir los defectos superficiales y/o mejorar las propiedades de reflectancia.

Reparaciones Puntuales

¿Se puede, mediante reparaciones superficiales y/o reparaciones estructurales puntuales, rentablemente salvar las deficiencias, llevar el pavimento a “buenas condiciones” y salvar otras restricciones (ej., gálibo vertical, bermas, barreras de seguridad, taludes de seguridad, etc.) de manera de permitir un refuerzo adherido?

SI

NO ↓



Condiciones Regulares

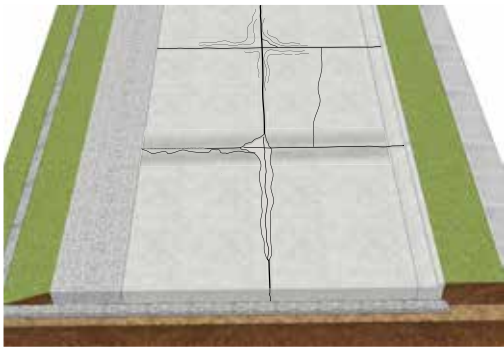
El pavimento está estructuralmente sano pero tiene deterioro superficial menor, como grietas dispersas, periódicas saltadura de juntas de profundidad parcial y micro grietas cerca de las juntas. Revisar para ver si la rasante presenta ondulaciones y determinar si existe subdrenaje y otras obras relacionadas con la fundación, tales como la consolidación secundaria de una base de granulometría abierta.

Fresado/Reparaciones Menores Puntuales

¿Puede el fresado y las reparaciones puntuales menores resolver las deficiencias, llevando el pavimento a “buenas condiciones” y salvar las otras restricciones, como gálibos verticales, bermas, barreras de seguridad, taludes de seguridad, etc. de manera de permitir un refuerzo adherido?

SI

NO ↓



Malas Condiciones

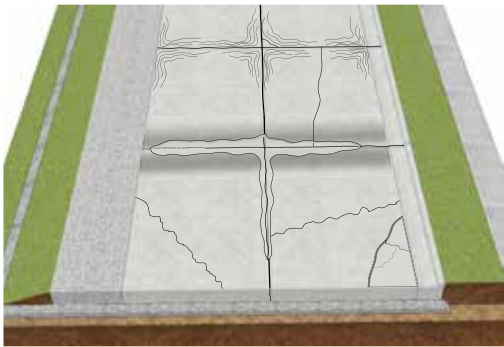
El pavimento presenta deterioro mensurable mayor que aquel descrito como “condiciones regulares”. Esto incluye deterioro de juntas de todo el espesor, grietas que trabajan, fallas estructurales puntuales, escalonamiento y/o deterioro relacionado con los materiales (MRD).

Fresado y Bacheo

¿Pueden, reparaciones estructurales (bacheo) y/o fresado resolver rentablemente las deficiencias, llevar el pavimento existente a una condición que provea un soporte uniforme, como una subbase, salvar otras restricciones, como gálibos verticales, bermas, barreras de seguridad, taludes de seguridad, etc. y llevar al pavimento existente a una condición que provea una subbase uniforme para un refuerzo no adherido?

SI

Si el deterioro se encuentra también en la mitad inferior del pavimento y se localiza en las juntas, ellas pueden fresarse o removerse en todo el espesor y reemplazarse por un hormigón de menor calidad (hormigón en masa) sin aserrar las juntas. El agrietamiento en la junta removida no afectará el comportamiento de un refuerzo no adherido debido a la capa separadora.



Condición Deteriorada

El pavimento presenta características de “malas condiciones” como también deterioro superficial significativo y deterioro estructural. Si presenta deterioro de juntas severo o potencial por ciclos hielo/deshielo o deterioro relacionado con los materiales (MDR: ASR o grietas por durabilidad) y si ello ocurre entre 0,9 a 1,2 m (3 a 4 ft) en prácticamente todas las juntas, entonces normalmente el pavimento no es un buen candidato para ser reforzado salvo que se reduzca la vida de servicio.



NO

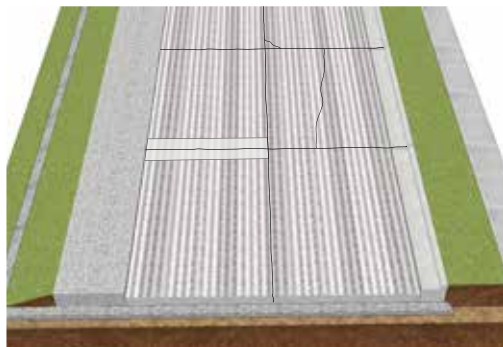
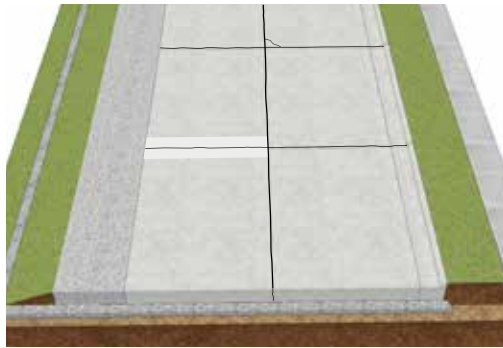
Figura 16. Selección de solución de recubrimiento de hormigón adecuado para pavimentos de hormigón

Tercero, ¿Qué tipo de refuerzo (adherido o no adherido) cumple con los dos primeros objetivos con el menor costo de ciclo de vida?

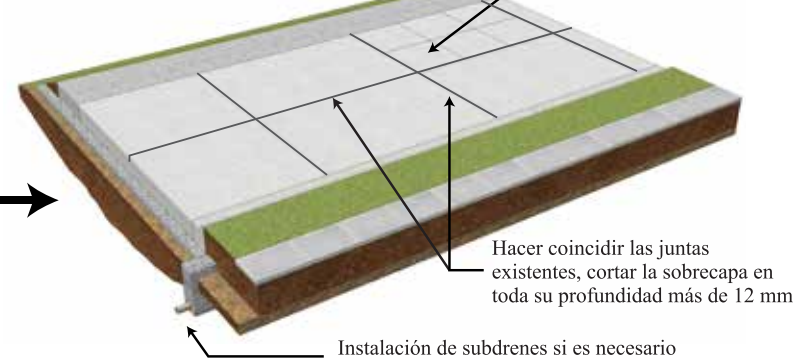
Deben considerarse varios factores al seleccionar un refuerzo adherido y no adherido, de un pavimento de hormigón existente. Los dos factores predominantes son: las condiciones que presenta el pavimento existente y la extensión de las reparaciones previas requeridas.

Generalmente, los pavimentos de hormigón existentes que presentan condiciones buenas o que pueden llevarse rentablemente desde condiciones regulares o malas a buenas condiciones, son candidatos a ser reforzados con hormigón adherido, siempre que el pavimento existente pueda servir como una subbase que proporcione un soporte relativamente uniforme. Los deterioros significativos pueden reforzarse con hormigón en tanto se reparen previamente los puntos inestables y blandos.

Debe realizarse una completa evaluación para establecer las condiciones que presenta el pavimento existente y definir los alcances de los trabajos previos. Si se detecta deterioro relacionado con los materiales (MRD: ASR, grietas por durabilidad y/o daños por ciclos hielo/deshielo), deben ejecutarse ensayos de laboratorio para definir la extensión del MRD (ver página 13 para más directrices de cómo tratar pavimentos existentes con MRD).



Capa de Refuerzo con Hormigón Adherida Sobre pavimentos de hormigón



Nota: El espesor del refuerzo debe ser apropiadamente diseñado considerando el tránsito estimado, la vida de diseño deseada y el presupuesto

Capa de Refuerzo con Hormigón No Adherida Sobre pavimentos de hormigón



Instalación de un mortero fluido en los parches.
No cortar

SI

Reparaciones Adicionales

¿Pueden las condiciones existentes o potenciales de inestabilidad o deficiencias mayores (ej. subrasante húmeda, MRD, escalonamiento), solucionarse rentablemente con una combinación de técnicas de preservación (ej. fresado, reparación de subdrenes, parches de todo el espesor, estabilización de losas) y pueden salvarse otras restricciones (ej. galibo vertical, barreras de seguridad, taludes de seguridad), con un refuerzo no adherido de espesor adecuado?

NO

FAQ - ¿Qué se hace si el pavimento existente no es candidato a una capa de refuerzo con hormigón no adherida? Aun cuando la mayoría de los pavimentos pueden preservarse con un refuerzo de hormigón no adherido, hay situaciones en que un refuerzo no es apropiado. Cuando esto ocurre, la alternativa es reconstruirlo. Las opciones de reconstrucción se analizan en el Apéndice B. Sigue un breve resumen:

- **Recomendado:** Reciclado in situ del pavimento existente para utilizarlo como base para el nuevo pavimento o como material para bermas.
- **Permitido:** en condiciones específicas: desintegrar el pavimento de hormigón existente para que sirva como base para un nuevo pavimento de hormigón.
- **No recomendado:** Trozar y asentar para que sirva como base al nuevo pavimento.

Capítulo 3.

ALTERNATIVAS DE CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN

Como se señaló antes, existen dos opciones para sobre capas de hormigón: refuerzos adheridos y refuerzos no adheridos. Ambas opciones se pueden aplicar a todo tipo de pavimentos existentes, es decir para pavimentos asfálticos, compuestos y de hormigón. Este capítulo entrega una reseña de cada una de las dos opciones de capas de refuerzo con hormigón para todo tipo de pavimentos.

Capas de refuerzo con hormigón adheridas:

1. Adheridas sobre asfalto.
2. Adheridas sobre pavimentos compuestos.
3. Adheridas sobre hormigón.

Capas de refuerzos con hormigón no adheridas:

1. No adheridas sobre asfalto.
2. No adheridas sobre pavimentos compuestos.
3. No adheridas sobre hormigón.

Capas de Refuerzo con Hormigón Adheridas a Pavimentos Asfálticos

La Figura 17 ilustra un pavimento asfáltico que puede ser candidato a un refuerzo con hormigón adherido, junto con el tipo de reparaciones previas que suelen ser apropiadas.

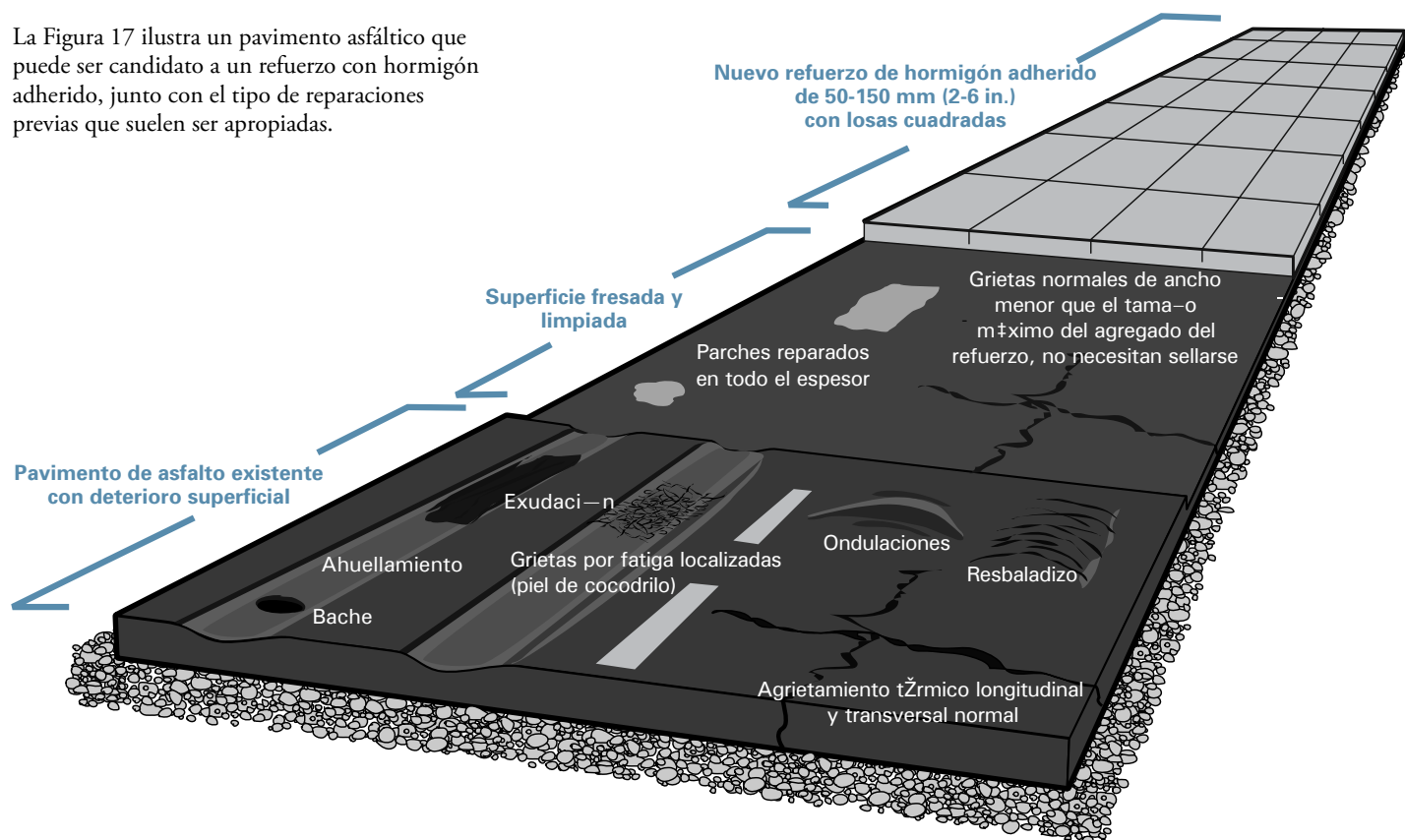


Figura 17. Capa de refuerzo con hormigón adherida a pavimentos asfálticos en regulares o buenas condiciones con deterioro superficial (anteriormente denominado whitetopping ultra delgado)

Aplicaciones y Usos

Capas de refuerzos con hormigón adheridas a pavimentos asfálticos:

- Son apropiados para caminos, calles e intersecciones con pavimento asfáltico en condiciones estructurales regulares o buenas, con deterioro típico como ahuellamiento, ondulaciones, condición resbaladiza, y agrietamiento térmico; ver la Figura 18.
- Generalmente tienen entre 50-150 mm (2-6 in.) de espesor.
- Se basan en que el pavimento asfáltico existente proporciona capacidad adicional para soportar cargas y se adhieren al pavimento asfáltico existente para formar una estructura monolítica que por lo tanto, reduce las tensiones y deflexiones.
- Agregan capacidad estructural cuando las cargas del tránsito han aumentado o se proyecta un incremento de ellas.
- Eliminan problemas superficiales como ahuellamiento y ondulaciones.
- Mejoran las condiciones de la superficie (fricción, nivel de ruido y suavidad).
- Reducen el calentamiento urbano como resultado de aumentar la reflectancia de la superficie.

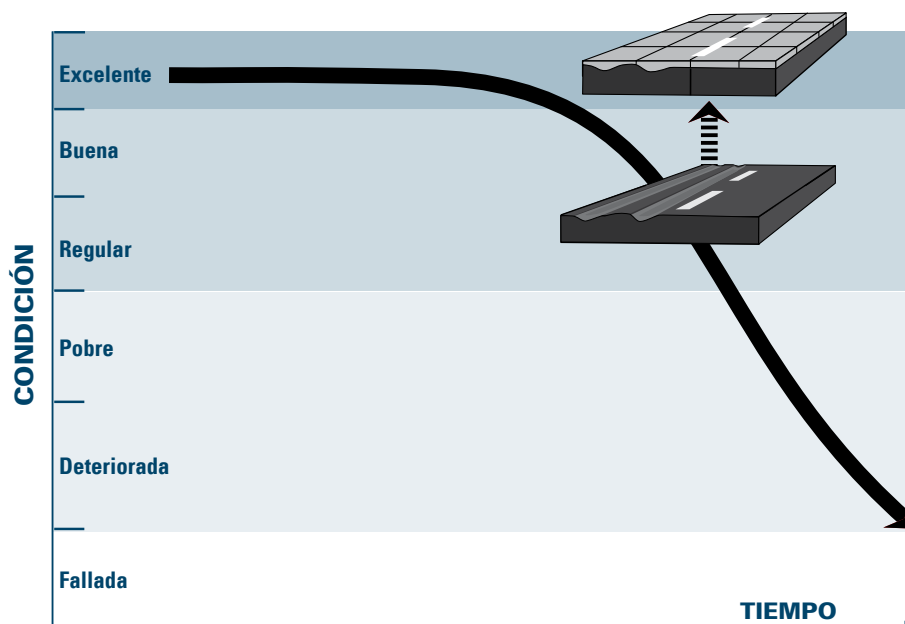


Figura 18. Capa de refuerzo adherida al pavimento asfáltico

Comportamiento

Las capas refuerzo con hormigón adherido a pavimentos asfálticos se han utilizado con éxito en muchos estados para mantener y rehabilitar pavimentos asfálticos que presentan defectos superficiales: ver Figuras 19 y 20. Numerosos estudios han demostrado que los refuerzos con hormigón adherido ofrecen una superficie durable siempre que (1) exista suficiente adherencia entre la superficie del asfalto y el refuerzo de hormigón y (2) el pavimento asfáltico existente proporcione un soporte estructural adecuado.

Aspectos Claves

- Es conveniente fresar para eliminar o reducir las distorsiones superficiales de 50 mm (2 in.) o mayores y proveer una buena adherencia.
- Son necesarias un mínimo de reparaciones puntuales.
- Un mínimo de 75 mm (3 in.) de asfalto debe permanecer después del fresado.
- Durante el proceso de colocación del refuerzo, debe rociarse el asfalto con agua cuando la temperatura en la superficie es mayor que 49°C (120°F).
- Para lograr una adherencia adecuada entre el refuerzo y el asfalto subyacente, es crítico disponer de una superficie limpia.
- Las dimensiones de las losas deben ser apropiadas y establecerse en relación al espesor del refuerzo de hormigón y de preferencia deben aserrarse en losas cuadradas pequeñas.
- Las juntas transversales deben aserrarse hasta un tercio del espesor del hormigón (H/3) (prestando especial atención a los sobre espesores del refuerzo en las zonas donde el asfalto se encuentra ahuellado y otras áreas no uniformes).
- Cuando sea posible, diseñar la junta longitudinal de manera que no coincida con la huella por donde circulan normalmente las ruedas.
- Después de fresar no deben quedar en el pavimento asfáltico franjas importantes que

presenten desprendimiento del asfalto o la pérdida de adherencia entre las capas.

- Los refuerzos más delgados disminuyen la ventana de tiempo disponible para aserrar y probablemente se requiera aserrado adicional.
- La aplicación de compuestos de curado u otros métodos de curado, deben realizarse a tiempo e integralmente, especialmente en los bordes.
- El sellado de juntas mejora el comportamiento.

Proceso

Un proyecto de refuerzo consiste en la evaluación, diseño, construcción y futuras reparaciones del pavimento.

Evaluación del Pavimento

Es necesaria una evaluación del pavimento existente por lo siguiente:

- Asegurarse que es estructuralmente adecuado para soportar las cargas previstas.
- Determinar si requiere fresado y en que espesor.
- Establecer el espesor del refuerzo adherido.

Para información sobre la evaluación de un pavimento, ver el Capítulo 2. No son buenos candidatos para colocarles un refuerzo adherido, los pavimentos asfálticos con deterioro estructural significativo, soporte de la base/subbase inadecuado o no uniforme o con capas donde el asfalto presenta desprendimientos debido a drenaje inadecuado; en esos casos, debe considerarse un refuerzo con hormigón no adherido.

Diseño de la Capa de Refuerzo

El diseño incluye el espesor, dosificación de la mezcla, disposición de las juntas y futuras reparaciones.

Espesor del Refuerzo

Los espesores típicos de diseño de refuerzos con hormigón adherido están entre 50-150 mm (2-6 in.), dependiendo de la carga que deban

soportar, de la vida de diseño, así como de la capacidad estructural del pavimento subyacente. Puede ser necesario un espesor adicional en los sectores de transición para evitar desplazamientos en las losas del refuerzo adyacentes al pavimento asfáltico existente y para reducir potenciales agrietamientos debidos a impactos de las cargas.

Se recomiendan los procedimientos de diseño descritos en el documento *Bonded Concrete Overlay on Asphalt (BCOA) Thickness Designer* (2012) de la American Concrete Pavement Association o el *BCOA ME* (Vandenbosshe 2013). Para más información sobre esos procedimientos, ver la Tabla 10 en el Capítulo 4.

Dosificación de la Mezcla de Hormigón

Mezclas convencionales de hormigón se han utilizado con éxito para refuerzos con hormigón adherido de pavimentos asfálticos. Cuando se desea una puesta en servicio acelerada, las mezclas convencionales deben dosificarse para obtener altas resistencias iniciales, sin aumentar la contracción. Para información adicional de mezclas de fraguado rápido, ver página 76.

Para mejorar la resistencia y comportamiento al agrietamiento del hormigón y ayudar a mitigar el efecto del agrietamiento debido a retracción plástica, se utilizan fibras de alto módulo. Para más información, ver la discusión que comienza en la página 77.

Diseño de las Juntas

El patrón recomendado para la disposición de las juntas en capas de refuerzo adheridas a pavimentos asfálticos, es de losas cuadradas de pequeñas dimensiones, del rango 0,9-2,4 m (3-8 ft), para reducir los movimientos diferenciales entre el hormigón del refuerzo y el asfalto y reducir las tensiones de alabeo. Se recomienda que la relación entre el largo y ancho de los cuadrados, medidos en pies, se limite a 1,5 veces el espesor del refuerzo expresado en pulgadas.

Adicionalmente, cuando sea posible, las juntas longitudinales deben disponerse de manera que no coincidan con la huella vehicular; ver la Figura 21. Debido a las pequeñas dimensiones de las



Figura 19. La Ruta SH-119 en 1991 antes de la colocación de un refuerzo con hormigón adherido (fuente: Ron Youngman, CO/WY Chapter, ACPA)



Figura 20. La Ruta SH-119 en el 2009 después de 18 años en servicio (fuente: Ron Youngman CO/WY Chapter, ACPA)

losas, no es necesario utilizar barras de amarre ni de traspaso de cargas.

Estudios realizados en Iowa, en caminos de bajo tránsito, indican que los refuerzos con hormigón adherido de pavimentos asfálticos presentan después de 10 años, en promedio, sólo el 5 por ciento de las juntas de contracción con quebraduras. Estos resultados indican que potencialmente son posibles algunas economías a aplicar en caminos similares de bajo tránsito, ya sea aumentando las dimensiones de las losas o reduciendo el espesor del refuerzo con hormigón.

En el pasado, los refuerzos adheridos de espesores iguales o menores que 150 mm (6 in.) típicamente se dejaban sin sellar las juntas. Estudios realizados por la DOT de Minnesota (MnDOT 2013) han mostrado mejores comportamientos cuando se sellan las

juntas. Debido a que el refuerzo con hormigón se encuentra adherido al asfalto subyacente, la humedad que se infiltra por las juntas abiertas no tiene por donde drenar, eventualmente debilitando la adherencia, de donde resulta un agrietamiento prematuro de las losas.

Drenaje

El desprendimiento o pérdida de adherencia entre los 75 mm (3 in.) de asfalto que quedó y sobre el que se colocará la capa de refuerzo, puede llevar a un deterioro prematuro de la capa de refuerzo con hormigón adherida. En la evaluación y diseño de la capa de refuerzo con hormigón adherido, se debe chequear el drenaje existente de la subrasante, tal como se haría con un pavimento asfáltico. Si es necesario, deben tomarse medidas para asegurar un drenaje adecuado para el futuro, es decir readecuar los

drenes de pavimento, colocar bermas drenantes, geotextiles, etc.

Cuando existe subdrenaje, debe limpiarse, inspeccionarse con video y repararse, según resulte necesario.

Construcción

La construcción comprende los siguientes pasos: reparaciones previas, fresado, vaciado del hormigón, curado y aserrado y sellado de las juntas.

Reparaciones Previas

Antes de iniciar la operación de fresado, se deben realizar reparaciones puntuales parciales o en todo el espesor en áreas con baches, zonas con agrietamiento localizado, entre moderado y severo tipo piel de cocodrilo o con pérdidas de soporte de la base/subrasante, de manera de lograr una adherencia uniforme, conseguir la capacidad de soporte deseada y durabilidad a largo plazo; ver la Tabla 3.

Debe inspeccionarse la superficie fresada para detectar si existen bolsillos aislados de deterioro, los que deben repararse. Para áreas aisladas que presenten un alto número de grietas térmicas transversales, anchas, debe decidirse ya sea hacerles un “puente” mediante el refuerzo adherido o limpiar la zona y sellar las grietas. El hormigón permite hacer un “puente” sobre las grietas longitudinales y transversales del asfalto. Es necesario sellar las grietas antiguas con arena, un sellante fluido u otro material apropiado, solamente cuando el ancho de las grietas es mayor que el tamaño máximo del agregado utilizado en el refuerzo.

Fresado

En general, el fresado debe ser el mínimo posible pues genera pérdidas de soporte estructural. No hay razón para retirar asfalto en buenas condiciones que puede contribuir al trabajo conjunto y continuo ayudando a soportar las cargas del tránsito.

Típicamente, no se requiere fresar toda superficie asfáltica para mejorar la adherencia. Los principales objetivos de fresar antes de colocar el refuerzo adherido son (1) remover las distorsiones superficiales significativas que contienen asfalto blando y que se traduce en una superficie inadecuada para la adherencia; (2) rebajar puntos altos que ayuden a que el espesor del refuerzo sea el mínimo posible y a reducir el volumen de hormigón necesario para rellenar los puntos bajos y (3) ajustar la rasante a soleras u otras estructuras que sobresalen.

Un criterio que a menudo es importante para fijar la profundidad de fresado, es la necesidad o conveniencia de ajustarse a elementos existentes o la de minimizar la modificaciones de la rasante. En este caso, debe realizarse una evaluación integral del espesor y de las condiciones del

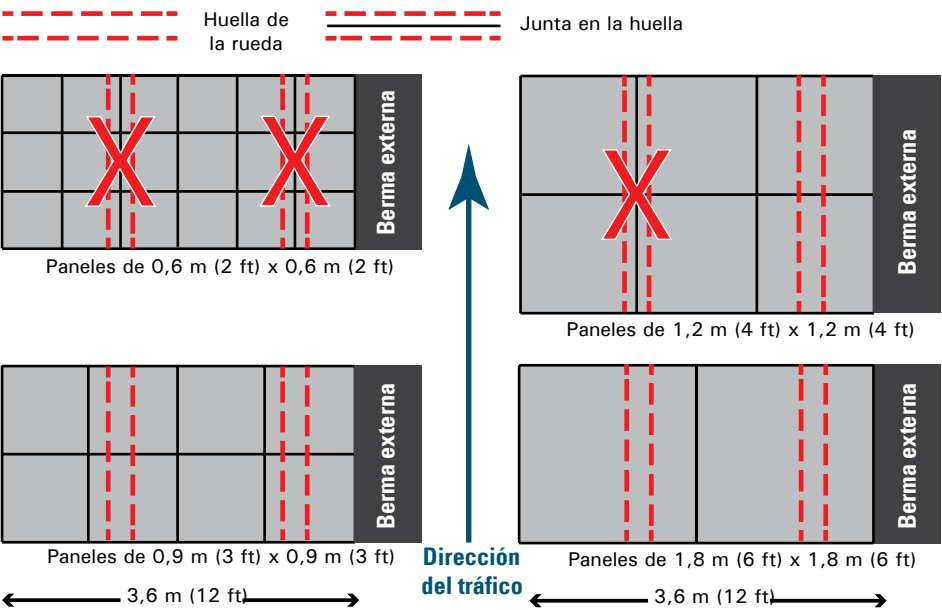


Figura 21. Las juntas longitudinales deben disponerse de manera de evitar la huella vehicular

Tabla 3. Posibles reparaciones previas en un pavimento asfáltico para prepararlo para una capa de refuerzo adherida

Deterioro en el Pavimento Existente	Reparación Puntual por Considerar
Ahuellamiento ≥ 50 mm (2 in.)	Fresar
Ahuellamiento < 50 mm (2 in.)	Nada o fresar
Ondulaciones o condición resbaladiza	Fresar
Grietas de ancho ≥ tamaño máximo del agregado utilizado en el refuerzo de hormigón	Rellenar con sellante fluido
Grietas de ancho < tamaño máximo del agregado utilizado en el refuerzo de hormigón	Nada
Baches de severidad baja a media	Remover el material suelto y rellenar completamente con el refuerzo de hormigón
Baches de alta severidad y/o áreas que requieren reparación de todo el espesor	Reparar todo el espesor con hormigón, en todo el ancho de la pista y ajustar el espaciamiento de la junta transversal del refuerzo para que coincida con el parche subyacente; esto evitará que una losa del refuerzo se adhiera tanto al asfalto como al hormigón. El hacerlo del ancho completo de la pista evita la necesidad de hacer coincidir una junta longitudinal con una reparación parcial de la pista

pavimento asfáltico existente, para asegurarse que el asfalto que permanecerá para ser reforzado se encuentra en buenas condiciones y tiene un espesor suficiente para proporcionar soporte estructural a las cargas.

Cuando se frese el pavimento existente para dar una sección transversal y/o un bombeo transversal determinado, debe asegurarse que permanecerá una capa de asfalto del espesor mínimo adecuado, 75 mm (3 in.) en buenas condiciones, que permitan la adherencia.

La mayor parte del deterioro superficial se remueve fresando, de manera que se utiliza cuando las distorsiones superficiales tienen 50 mm (2 in.) o más. La cantidad de asfalto por remover depende del tipo y severidad del deterioro y de su espesor. Se puede fresar para remover las irregularidades más grandes que implicarían importantes volúmenes de hormigón para el refuerzo; no es necesario obtener una sección transversal perfecta o remover completamente el ahuellamiento. Si se encuentran capas con desprendimiento del asfalto (suelta), deben removerse completamente de manera de conseguir un asfalto en perfectas condiciones de adherencia. El espesor mínimo de asfalto estructuralmente sano necesario para tener adherencia es de 75 mm (3 in.).

El tránsito de construcción- específicamente, los camiones cargados con hormigón- pueden causar daño significativo al pavimento asfáltico que permanece. Para prevenir la pérdida de adherencia entre las capas se debe contar con una capa adecuada de asfalto, de manera de asegurar que soportará parte de las cargas como una sección compuesta (no como una capa separadora o para absorber los esfuerzos de corte, como en las capas de refuerzo no adheridas). Sin embargo, algún tránsito de construcción puede tolerarse sobre la superficie fresada que permita identificar cualquier material suelto, es decir levantamientos parciales, asfalto deteriorado, áreas aisladas con desprendimiento del asfalto, etc. que hubiere quedado después de fresar. Todas las áreas en mal estado deben removerse antes de cualquier otra operación.

Mientras la máquina fresadora aún se encuentre en el terreno, se debe inspeccionar la superficie del pavimento para determinar si se requiere fresado adicional.

Limpieza de la Superficie

Una vez terminadas las reparaciones, debe limpiarse la superficie del asfalto de manera de asegurar una adherencia adecuada entre ella y el hormigón nuevo del refuerzo. La adherencia adecuada es muy importante en este tipo de refuerzo. La limpieza puede realizarse primero barriendo la superficie del asfalto y luego limpiando con aire comprimido. Si posteriormente, algún material es transportado a la superficie del asfalto, ésta debe limpiarse nuevamente. La limpieza con agua a presión debe utilizarse solamente cuando sea necesario controlar el polvo o cuando se haya acarreado barro a la superficie fresada. En ningún caso el pavimento asfáltico debe encontrarse húmedo o contener agua al momento de colocar el refuerzo. Para evitar la contaminación, es importante evitar que exista un lapso de tiempo prolongado entre el final de la limpieza de la superficie y la pavimentación.

Vaciado del Hormigón

Cuando la temperatura de la superficie del asfalto es igual o mayor que 49°C (120°F), debe reducirse rociando agua, lo que disminuye el riesgo de agrietamientos a una edad temprana. No debe existir agua sobre la superficie al momento de colocar el refuerzo. Cualquier agua atrapada en la superficie fresada debe removerse con aire comprimido.

Una vez preparada la superficie del pavimento asfáltico existente, la pavimentación se ejecuta mediante equipos convencionales de molde fijo o con pavimentadoras de molde deslizante. Debido a que el espesor del hormigón a colocar no es uniforme, la mezcla se licita como partida de pago en volumen en base a metros cúbicos. Algunos estados incluyen también una partida por metro cuadrado para compensar por el vaciado.

Curado

El curado es especialmente crítico en un refuerzo con hormigón adherido debido a que la alta relación área superficial/volumen, hace que un refuerzo de hormigón de poco espesor sea más susceptible a una rápida pérdida de humedad. Antes de 30 minutos después de vaciado el hormigón, se deberá aplicar el compuesto de curado con una tasa igual al doble de la estándar.

Una vez terminado el tratamiento, tanto la superficie como las caras verticales de los bordes, deberán haber sido uniformemente cubiertas y parecer como pintadas.

Aserrado de Juntas

Aserrar las juntas a tiempo es necesario para prevenir agrietamientos descontrolados. El aserrado debe comenzar tan pronto como el hormigón haya desarrollado resistencia suficiente para que las juntas puedan aserrarse sin provocar saltaduras o astillarse. Se pueden utilizar sierras livianas para ingreso temprano, de manera que el equipo de aserradores pueda ingresar al pavimento tan pronto como sea posible. Con un espaciamiento típico de 0,9 a 1,8 m (3 a 6 ft), es probable que se requieran sierras adicionales, para evitar el agrietamiento descontrolado. Las juntas transversales pueden aserrarse con sierras convencionales hasta la profundidad de H/3. La profundidad de corte en juntas transversales, cuando se realiza un aserrado temprano, no debe ser inferior a 31 mm (1,25 in.). Las juntas longitudinales deben aserrarse a una profundidad igual a H/3.

Sellado de Juntas

Las juntas de contracción y construcción deben rellenarse con un sellante de vaciado en caliente (no se recomienda utilizar rodones de respaldo).

Futuras Reparaciones

Las capas de refuerzo con hormigón adherido a pavimentos asfálticos pueden repararse fácilmente reemplazando losas. Otra opción es simplemente fresar e incrustar hormigón. No debe bachearse con asfalto, ya que las losas de hormigón adyacentes se moverán rompiendo la adherencia. Si una losa se encuentra dañada pero la calidad de rodadura del pavimento no se ve comprometida, debe dejarse en su lugar. Si se presenta un problema por la calidad de la rodadura, deberá reponerse la losa antes que cualquier trozo de hormigón se desprenda del refuerzo.

Recursos Claves

ACI Committee 325 (2006); ACPA (1999); MnDOT (2013); Rasmussen and Rozyki (2004); Vandenbosshe (2013).

Capa de Refuerzo con Hormigón Adherido a Pavimentos Compuestos

La Figura 22 ilustra un pavimento compuesto que puede ser candidato a una capa de refuerzo con hormigón adherido, junto con el tipo de reparaciones previas que suelen ser apropiadas.

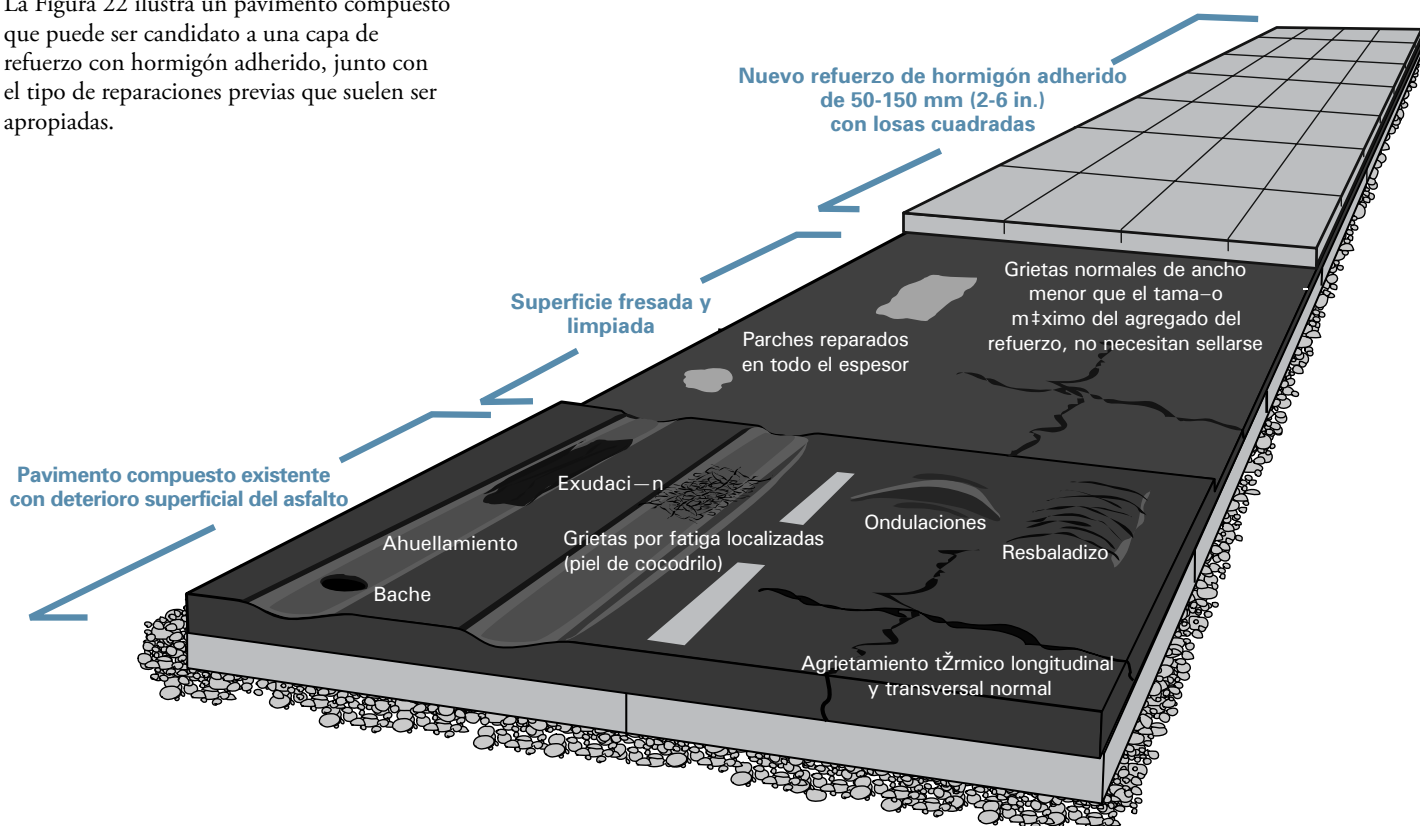


Figura 22. Capa de refuerzo con hormigón adherido a pavimentos compuestos en regulares o buenas condiciones con deterioro superficial del asfalto

Aplicaciones y Usos

Capas de refuerzos con hormigón adherido a pavimentos compuestos (asfalto sobre hormigón):

- Son apropiados para caminos, calles e intersecciones con pavimentos compuestos en condiciones estructurales regulares o buenas, con deterioros típicos como ahuellamiento, ondulaciones, condición resbaladiza, y agrietamiento térmico; ver la Figura 23.
- Generalmente tienen entre 50-150 mm (2-6 in.) de espesor.
- Se basan en que el pavimento asfáltico existente proporciona capacidad adicional para soportar cargas y se adhieren al pavimento compuesto existente para formar una estructura monolítica que por lo tanto, reduce las tensiones y deflexiones.
- Aumentan la capacidad estructural cuando las cargas del tránsito han crecido o se proyecta que lo hagan.
- Eliminan problemas superficiales como ahuellamiento y ondulaciones.
- Mejoran las condiciones de la superficie (fricción, nivel de ruido y suavidad).
- Reducen el efecto “isla de calor” como resultado de aumentar la reflectancia de la superficie.

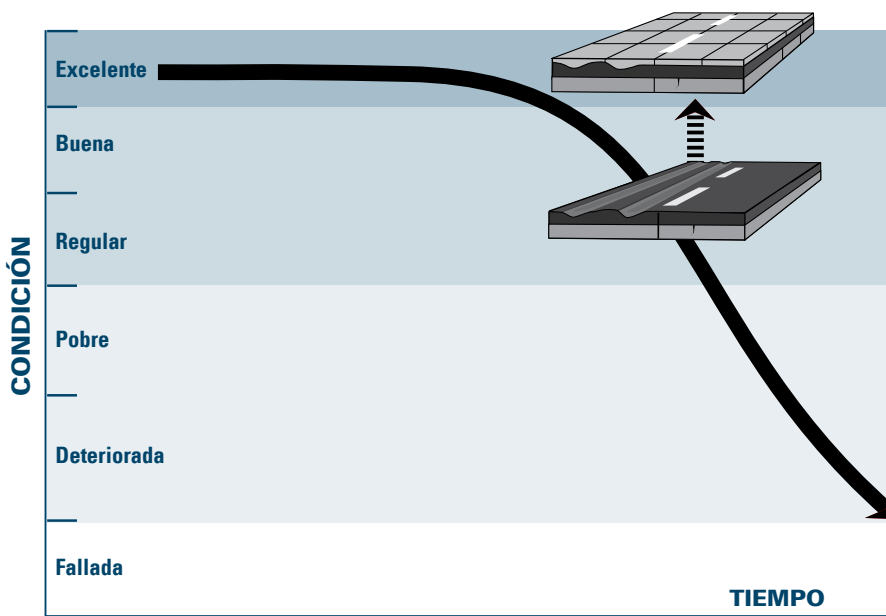


Figura 23. Refuerzo adherido de pavimento asfáltico

Comportamiento

Los refuerzos con hormigón adherido se han utilizado con éxito en muchos estados para mantener y rehabilitar pavimentos compuestos que presentaban defectos superficiales: ver Figuras 24 y 25. La clave para un buen comportamiento a largo plazo, está en asegurar que las dos estructuras - el pavimento compuesto existente y el refuerzo - se muevan como una sola estructura.

Aspectos Claves

Las siguientes acciones ayudan a asegurar un proyecto exitoso:

- Es necesario que exista una adherencia efectiva entre las capas del pavimento compuesto.
- Es beneficiosa una buena adherencia entre el refuerzo de hormigón y el sistema del pavimento compuesto.
- Para eliminar o reducir las distorsiones superficiales iguales o mayores a 50 mm (2 in.) y para proveer una buena adherencia, normalmente es necesario fresar.
- Un espesor mínimo de 75 mm (3 in.) de asfalto debe permanecer después del fresado.
- Pueden ser necesarias un mínimo de reparaciones puntuales.
- Durante el vaciado del hormigón del refuerzo, debe rociarse el asfalto con agua cuando la temperatura en la superficie es mayor que 49°C (120°F).
- Para lograr una adherencia adecuada entre el refuerzo y el asfalto subyacente, es crítico disponer de una superficie limpia.
- Las dimensiones de las losas deben ser apropiadas y determinarse en relación al espesor del refuerzo de hormigón y de preferencia aserrarse en losas cuadradas pequeñas.
- Las juntas transversales deben aserrarse hasta un tercio del espesor del hormigón (H/3)

FAQ—¿Qué se hace si el pavimento de hormigón existente presenta MRD bajo la superficie del asfalto?

Deterioros como el por duración, reacción álcali-sílice y de juntas por los ciclos de hielo-deshielo pueden a veces, ser difíciles de detectar en el pavimento de hormigón subyacente. Estos deterioros pueden llevar a una pérdida de soporte y falla prematura de la adherencia del refuerzo de hormigón. Cuando se presentan estas condiciones, deben tomarse precauciones al considerar un refuerzo adherido. Mejorar el drenaje de la subrasante/subbase bajo el pavimento existente, es decir readecuar los drenes de pavimento, puede retardar el avance del MRD y potencialmente extender la vida del refuerzo con hormigón adherido.

(prestando especial atención a los sobre espesores del refuerzo en zonas donde el asfalto se encuentra ahuellado y en otras áreas no uniformes).

- Cuando sea posible, diseñar la junta longitudinal de manera que quede fuera de la huella por donde pasan normalmente las ruedas.
- Los refuerzos más delgados disminuyen la ventana del tiempo disponible para aserrar; probablemente se requiera aserrado adicional.
- La aplicación de compuestos de curado u otros métodos de curado, deben realizarse a tiempo e integralmente, especialmente en los bordes.
- El sellado de las juntas suele mejorar el comportamiento.
- Después de fresado, no deben quedar en el plano de adherencia del pavimento asfáltico franjas importantes con desprendimiento de asfalto o pérdida de adherencia entre las capas.

Proceso

Un proyecto de refuerzo consiste en la evaluación, diseño, construcción y futuras reparaciones del pavimento.

Evaluación del Pavimento

Es necesaria una evaluación del pavimento existente por: (1) Asegurarse que es estructuralmente adecuado para soportar las cargas previstas, (2) determinar si se requiere fresado

y en que espesor y (3) establecer el espesor del refuerzo adherido. Para información general sobre la evaluación de un pavimento, ver el Capítulo 2.

No son buenos candidatos para colocarles un refuerzo adherido de menos de 150 mm (6 in.), los pavimentos compuestos que muestran cualquiera de los siguientes problemas:

- Deterioro estructural significativo, soporte de la base/subbase inadecuado o no uniforme, malas condiciones de drenaje y con capas que presentan desprendimiento del asfalto.
- Problemas en el hormigón subyacente (posiblemente reflejados en el asfalto) debido al MRD.
- Evidencias de posibles problemas futuros de durabilidad.

Diseño de la Capa de Refuerzo

El diseño incluye: determinar el espesor, la dosificación de la mezcla, la disposición de las juntas y el drenaje.

Espesor del Refuerzo

El espesor típico de diseño de refuerzos con hormigón adherido es entre 50-150 mm (2-6 in.), dependiendo de la capacidad de carga que debe soportar, de la vida de diseño proyectada y de la capacidad estructural del pavimento subyacente.



Figura 24. Pavimento compuesto existente (fuente: James Cable, Iowa State University)



Figura 25. Capa de refuerzo adherida al pavimento compuesto (fuente: James Cable, Iowa State University)

Se recomiendan los procedimientos de diseño descritos en el documento *Bonded Concrete Overlay on Asphalt (BCOA) Thickness Designer (2012)* de la American Concrete Pavement Association o el *BCOA ME* (Vandenbosshe 2013). Para más información sobre esos procedimientos, ver la Tabla 10 en el Capítulo 4.

Dosificación de la Mezcla de Hormigón

Mezclas convencionales de hormigón se han utilizado con éxito para capas de refuerzo con hormigón adherido a pavimentos asfálticos. Cuando se desea una puesta en servicio acelerada, las mezclas convencionales deben dosificarse para obtener altas resistencias iniciales, sin aumentar las propiedades de retracción. Para información adicional de mezclas de fraguado rápido, ver la página 76.

Las fibras estructurales de alto módulo mejoran la resistencia y el comportamiento del agrietamiento posterior del hormigón y ayudan a mitigar los efectos de la retracción plástica, si llegara a ocurrir. Para más información, ver página 77 y Apéndice C.

Diseño de las Juntas

El patrón recomendado para la disposición de las juntas en refuerzos adheridos de pavimentos asfálticos es losas cuadradas de pequeñas dimensiones, típicamente en el rango de 0,9-2,4 m (3-8 ft), para reducir los movimientos diferenciales entre el hormigón del refuerzo y el asfalto y para disminuir las tensiones de alabeo. Se recomienda que la relación entre el largo y ancho de los cuadrados, medidos en pies, se limite a 1,5 veces el espesor del refuerzo expresado en pulgadas. Adicionalmente, si fuera posible, las juntas longitudinales deben disponerse de manera que no coincidan con la huella vehicular. Debido a las pequeñas dimensiones de las losas, no es necesario utilizar barras de amarre ni de traspaso de cargas.

En el pasado, los refuerzos adheridos de espesores iguales o menores que 150 mm (6 in.) típicamente se dejaban sin sellar las juntas. Estudios realizados por la DOT de Minnesota (MnDOT 2013) han mostrado mejores comportamientos cuando se sellan las juntas. Debido a que el refuerzo con hormigón se encuentra adherido al asfalto subyacente, la humedad que se infiltra por las juntas abiertas no tiene por donde drenar, eventualmente debilitando la adherencia de donde resulta un agrietamiento prematuro de las losas.

Drenaje

El desprendimiento o la pérdida de adherencia entre los 75 mm (3 in.) superiores del asfalto que quedaron y sobre los que se colocará la capa de refuerzo, pueden llevar a un deterioro prematuro de la capa de refuerzo con hormigón adherido.

En el proyecto de evaluación y diseño del refuerzo con hormigón adherido, debe analizarse el drenaje que presenta la subrasante, tal como se haría con una capa asfáltica. Cuando sea necesario, deben tomarse medidas para asegurar que en el futuro se dispondrá de un drenaje adecuado, es decir readecuar los drenes de pavimento, colocar bermas de material drenante, geotextiles, etc.

Cuando existen subdrenes, deben limpiarse, inspeccionarse con video y repararse según resulte necesario.

Construcción

La construcción comprende los siguientes pasos: reparaciones previas, fresado, limpieza de la superficie, vaciado del hormigón, curado, aserrado y sellado de juntas.

Reparaciones previas

Antes de iniciar la operación de fresado, se deben realizar reparaciones puntuales parciales o en

todo el espesor con asfalto en áreas con baches, con agrietamiento localizado entre moderado y severo tipo piel de cocodrilo o con pérdidas de soporte de la base/subrasante, de manera de lograr una adherencia uniforme y conseguir la capacidad de soporte deseada y durabilidad a largo plazo; ver la Tabla 4.

Debe inspeccionarse la superficie fresada en busca de zonas aisladas de deterioro las que deberán repararse. Para áreas aisladas que presenten un alto número de grietas térmicas transversales, anchas, debe decidirse ya sea hacerles un “puente” mediante el refuerzo adherido o limpiar la zona y sellar las grietas. El hormigón permite hacer un “puente” sobre las grietas longitudinales y transversales del asfalto. El relleno de grietas antiguas con una lechada de cenizas volantes, inyección de hormigón, mortero fluido u otro material apropiado, es necesario solamente para grietas cuyo ancho es mayor que el tamaño máximo del agregado utilizado en el refuerzo.

La presencia de losas deformadas (etapa inicial de reventones) suele indicar que existen huecos bajo las losas existentes. Antes de construir el refuerzo adherido, los tramos que presenten deformaciones excesivas deben repararse para aliviar la presión y proporcionar un soporte uniforme.

Cuando el pavimento subyacente experimenta movimientos verticales en las inmediaciones de una grieta, el fenómeno puede detenerse reemplazando o reparando la junta. También puede controlarse la grieta, sin reparar el pavimento subyacente, adicionando fibras a la mezcla o, en ciertos casos, colocando una armadura de acero en el refuerzo, sobre la junta. Típicamente, se anclan al pavimento existente, en forma perpendicular a la grieta, barras n°4 de 13 mm (0,5 in.) de 900 mm (35 in.) de largo, espaciadas 750 mm (30 in.).

Fresado

En general, el fresado debe reducirse al mínimo posible pues genera pérdidas en la capacidad de soporte estructural. No hay razón para remover asfalto en buenas condiciones que puede contribuir a actuar en conjunto con el pavimento existente y a ayudar a soportar las cargas del tránsito.

Típicamente, no se requiere fresar toda superficie asfáltica para mejorar la adherencia. Los principales objetivos para fresar antes de colocar el refuerzo adherido son: (1) remover las distorsiones superficiales significativas que contienen asfalto blando y que se traducen en una superficie inadecuada para una buena adherencia; (2) rebajar puntos altos que ayuden a mantener un espesor mínimo en el refuerzo, reduciendo así, el volumen de hormigón necesario para rellenar los puntos bajos y (3) hacer coincidir la rasante con soleras u otras estructuras. También se puede fresar para

Tabla 4. Posibles reparaciones previas en un pavimento compuesto para prepararlo para una capa de refuerzo adherida

Deterioro en el Pavimento Existente	Reparación Puntual por Considerar
Ahuellamiento $\geq$ 50 mm (2 in.)	Fresar
Ahuellamiento $<$ 50 mm (2 in.)	Nada o fresar
Ondulaciones o condición resbaladiza	Fresar
Grietas de ancho $\geq$ tamaño máximo del agregado utilizado en el refuerzo de hormigón	Rellenar con sellante fluido
Grietas de ancho $<$ tamaño máximo del agregado utilizado en el refuerzo de hormigón	Nada
Baches de severidad baja a media	Remover el material suelto y rellenar completamente con el refuerzo de hormigón
Baches de alta severidad y/o áreas que requieren reparación de todo el espesor	Reparar todo el espesor con hormigón, en todo el ancho de la pista y ajustar el espaciamiento de las juntas transversales del refuerzo para que coincidan con el parche subyacente; esto evitará que la losa del refuerzo se adhiera tanto al asfalto como al hormigón. Al repararse el ancho completo de la pista, se evita la necesidad de hacer coincidir una junta longitudinal con una reparación parcial de la pista.

umentar la rugosidad superficial, mejorando la adherencia.

Un criterio que a menudo es importante para fijar la profundidad de fresado, es el de ajustarse a elementos existentes o minimizar la modificación de la rasante. Cuando este es el caso, debe realizarse una evaluación integral del espesor y de las condiciones del pavimento asfáltico existente, para asegurarse que el asfalto que permanecerá para ser reforzado se encuentra en buenas condiciones y tiene un espesor suficiente para proporcionar soporte estructural requerido.

Antes de fresar el pavimento existente para dar una sección transversal específica y/o un bombeo transversal determinado, debe asegurarse que permanecerá el espesor mínimo adecuado de 75 mm (3 in.) de asfalto en buenas condiciones, que permita la adherencia después de completar el fresado.

La mayor parte del deterioro superficial puede removerse fresando, ver Tabla 4.; El fresado puede utilizarse cuando las distorsiones superficiales tienen 50 mm (2 in.) o más. La cantidad de asfalto por remover depende del tipo y severidad del deterioro y del espesor del asfalto. El fresado puede utilizarse para remover las irregularidades más grandes que significarían aumentar en forma importante el volumen de hormigón para el refuerzo; no es necesario obtener una sección transversal perfecta o remover completamente el ahuellamiento. Si se encuentra una capa con desprendimiento del asfalto (suelta), debe removerse completamente de manera de proveer un asfalto en perfectas condiciones para que se adhiera. El espesor mínimo de asfalto estructuralmente sano necesario para la adherencia es de 75 mm (3 in.).

El tránsito de construcción- específicamente, los camiones cargados con hormigón- pueden causar daño significativo al pavimento asfáltico que permanece. Para prevenir la pérdida de adherencia entre las capas se requiere una capa adecuada de asfalto, de manera de asegurar que soportará parte de las cargas como una sección compuesta (no como una capa separadora o para absorber los esfuerzos de corte, como en los refuerzos no adheridos). Sin embargo, cuando se pueda, debe permitirse algún tránsito de construcción sobre la superficie fresada ya que permite identificar cualquier material suelto, como levantamientos parciales, asfalto deteriorado, áreas aisladas con desprendimiento del asfalto, etc. que hubiere quedado después de fresar. Todas las áreas en mal estado deben removerse antes de ejecutar cualquier otra operación.

Antes que el equipo fresador abandone el terreno, se debe inspeccionar la superficie del pavimento para determinar si se requiere fresado adicional.

Limpieza de la Superficie

Una vez terminadas las reparaciones, debe limpiarse la superficie del asfalto de manera de asegurar una adherencia adecuada entre la superficie del asfalto existente y el hormigón nuevo del refuerzo. Una adecuada adherencia es muy importante para el comportamiento de este tipo de refuerzo. La limpieza puede realizarse primero barriendo la superficie del asfalto y luego limpiando con aire comprimido. La limpieza con agua a presión debe utilizarse solamente cuando sea necesario controlar el polvo o cuando se haya acarreado barro a la superficie fresada. En ningún caso el pavimento asfáltico debe estar húmedo o contener agua al momento de colocar el refuerzo. Para evitar la contaminación, es importante minimizar el tiempo que transcurra entre el final de la limpieza de la superficie y la pavimentación.

Vaciado del Hormigón

Cuando la temperatura de la superficie del asfalto es igual o mayor que 49°C (120°F), se puede reducir rociando agua, lo que minimiza riesgos de agrietamientos a edad temprana. No debe existir agua sobre la superficie al momento de colocar el refuerzo. Cualquier agua atrapada en la superficie fresada debe removerse con aire comprimido.

Una vez preparada la superficie del pavimento asfáltico existente, la pavimentación se ejecuta utilizando ya sea equipos convencionales de molde fijo o pavimentadoras de molde deslizante. Debido a que el espesor del hormigón no es uniforme, la mezcla se licita en base a metros cúbicos. Algunos estados incluyen también una partida por metro cuadrado por el vaciado.

Curado

El curado es especialmente crítico en un refuerzo con hormigón adherido debido a que la alta relación área superficial/volumen hace que un refuerzo de hormigón delgado sea muy susceptible a una rápida pérdida de humedad. Antes de 30 minutos después de vaciado el hormigón, se deberá aplicar el compuesto de curado con una tasa igual al doble de la estándar.

Una vez terminado el tratamiento, tanto la superficie como las caras verticales de los bordes, deberán haber sido uniformemente cubiertas y parecer como pintadas.

Aserrado de Juntas

Aserrar las juntas a tiempo es necesario para prevenir agrietamientos aleatorios. El aserrado debe comenzar tan pronto como el hormigón haya desarrollado la resistencia suficiente para que las juntas puedan aserrarse sin saltaduras o astillarse. Se pueden utilizar sierras livianas para ingreso temprano, de manera que el equipo de aserradores pueda ingresar al pavimento tan pronto como sea posible. Con un espaciamiento típico de 0,9 a 1,8 m (3 a 6 ft), es probable que se requiera de sierras adicionales para evitar el agrietamiento aleatorio. Las juntas transversales pueden aserrarse con sierras convencionales hasta la profundidad igual a H/3. La profundidad de corte de juntas transversales, cuando se realiza un aserrado temprano, no debe ser inferior a 31 mm (1,25 in.). Las juntas longitudinales deben aserrarse a una profundidad igual a H/3.

Sellado de Juntas

Las juntas de contracción y construcción deben rellenarse con un sellante de vaciado en caliente (no se recomienda utilizar rodones de respaldo).

Futuras Reparaciones

Los refuerzos de hormigón adherido de pavimentos compuestos pueden repararse fácilmente reemplazando losas. Otra opción es simplemente fresar y colocar una incrustación de hormigón. No debe bachearse con asfalto, porque las losas de hormigón adyacentes se moverán y romperán la adherencia. Si una losa se encuentra dañada, pero la calidad de rodadura del pavimento no se encuentra comprometida, debe dejarse en su lugar. Si existe un problema en la calidad de la rodadura, la losa debe reponerse antes que algún trozo de hormigón se desprenda del refuerzo.

Recursos Claves

ACI Committee 325 (2006); ACPA (1999); MnDOT (2013); Rasmussen and Rozyki (2004); Vandenbosshe (2013).

Capa de Refuerzo con Hormigón Adherido a Pavimentos de Hormigón

La Figura 26 ilustra un pavimento de hormigón que puede ser candidato a una capa de refuerzo con hormigón adherida, junto con el tipo de reparaciones previas que suelen ser apropiadas.

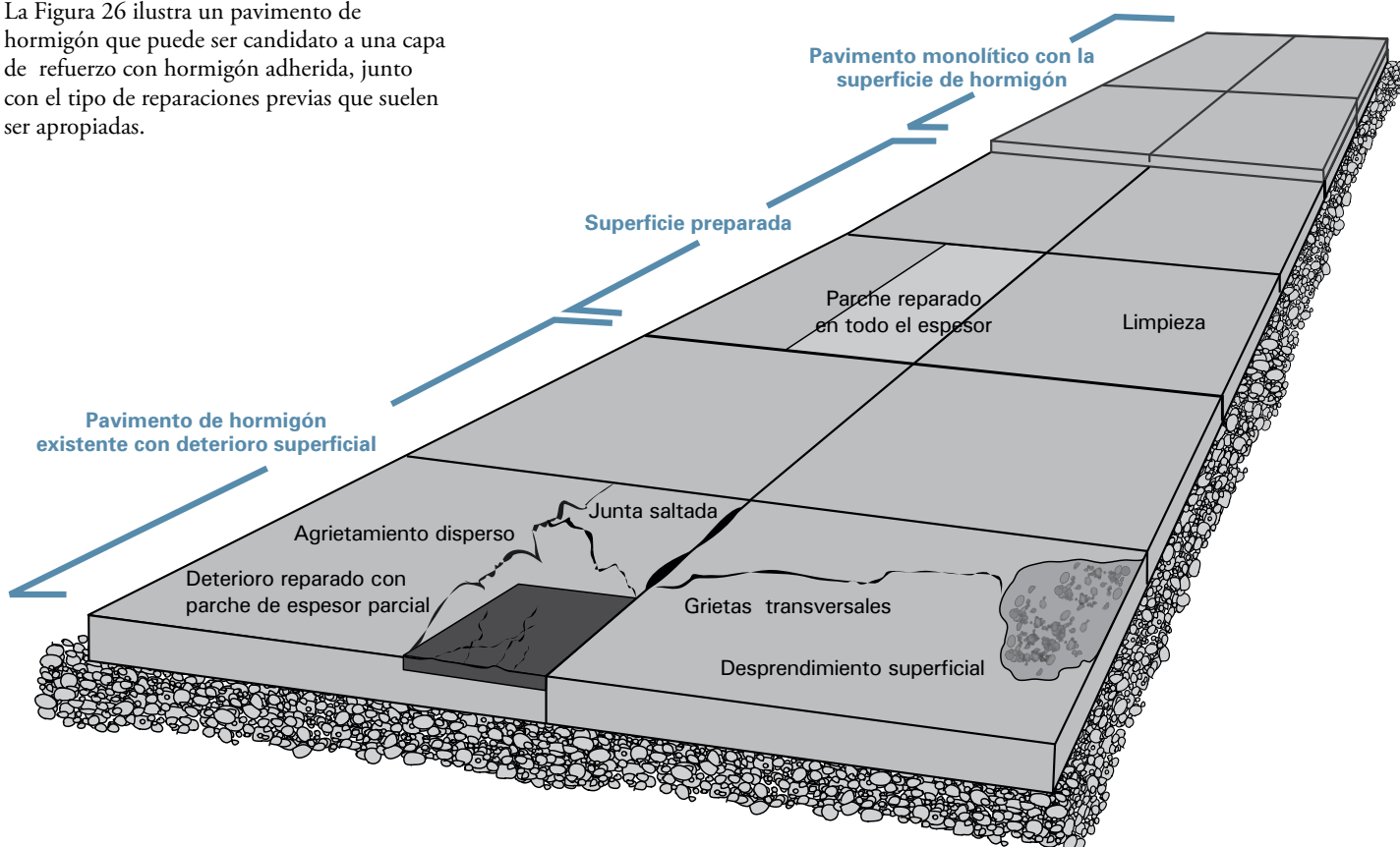


Figura 26. Capa de refuerzo con hormigón adherido a pavimentos de hormigón en buena condición con deterioro superficial

Aplicaciones y Usos

Capas de refuerzo con hormigón adherido a pavimentos de hormigón existentes:

- Son apropiados para pavimentos de hormigón en buenas condiciones estructurales y deterioro superficial limitado, ver Figura 27.
- Generalmente tienen entre 50-125 mm (2-5 in.) de espesor.
- Eliminan problemas superficiales como desprendimientos superficiales extensos y/o mejoran las características superficiales como la fricción, el nivel de ruido y la suavidad.
- Agregan capacidad estructural que permite soportar mayores cargas del tránsito.

Comportamiento

Las capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón se han utilizado con éxito por muchos años, siempre que se seleccionen, diseñen, especifiquen y construyan de manera adecuada. Proporcionan una nueva

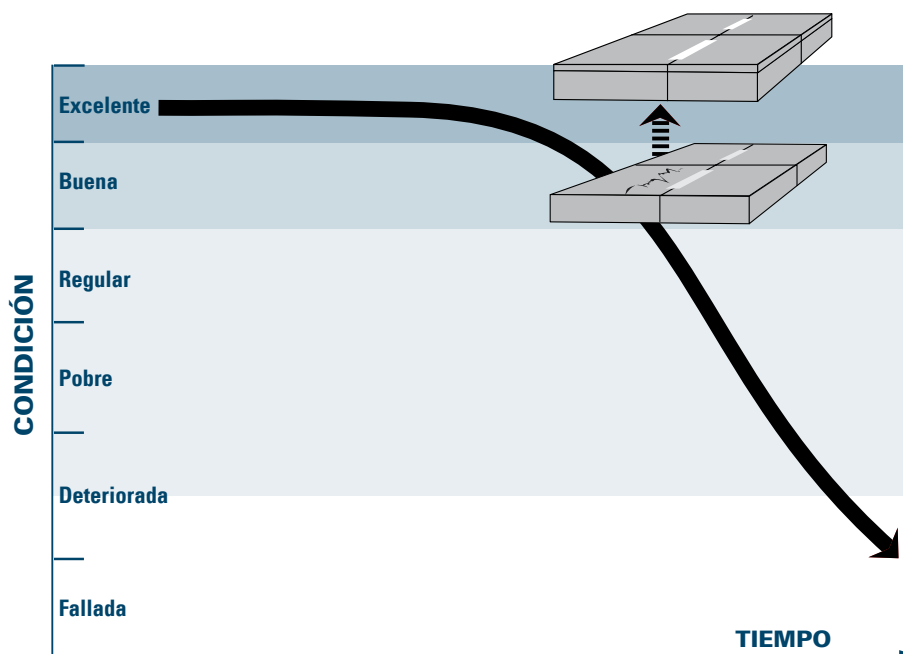


Figura 27. Capa de refuerzo adherido con hormigón al pavimento de hormigón

superficie suave y reparan defectos superficiales tales como desprendimientos superficiales, barras de acero superficiales, agrietamiento por retracción plástica, etc; ver las Figuras 28 y 29.

Al contrario de otros tipos de refuerzo con hormigón, la tasa de éxito, depende básicamente del cuidado que se preste a cada detalle, en cada una de las fases, que a veces se pasan por alto en la ejecución del proyecto. El objetivo es asegurar que las capas se adherirán y reaccionarán monolíticamente antes las cargas. El diseño, las especificaciones, la construcción y la supervisión en el terreno para cualquier refuerzo adherido sobre hormigón requiere ajustarse a las técnicas adecuadas. Para obtener buenos resultados, los proyectos deben ser supervisados por ingenieros y contratistas experimentados en esta tecnología. Para evitar fallas prematuras, debe darse especial atención a los siguientes aspectos:

- Es imperativo detectar certeramente si el pavimento existente es o no es un candidato apropiado para aplicarle la técnica. La mayoría de los fracasos de refuerzos con hormigón adherido de pavimentos de hormigón son el resultado de un juicio errado sobre el pavimento existente.
- El pavimento de hormigón existente debe encontrarse en buenas condiciones o llevarse a una buena condición, limpiándolo efectivamente, de manera que el refuerzo y el pavimento existente se adhieran monolíticamente.
- Se necesitan especificaciones adecuadas o suplementarias, adaptadas al proyecto específico.
- La mala o inadecuada preparación de la superficie y de la limpieza, puede significar una pérdida de la adherencia con el consiguiente agrietamiento.
- La compatibilidad térmica (definida por el coeficiente de expansión térmica) entre el refuerzo y el pavimento existente debe tenerse en consideración. Movimientos diferenciales entre el agregado del refuerzo y los del pavimento existente, pueden significar una pérdida de adherencia del refuerzo.
- Un curado inadecuado y/o losas de dimensiones mayores que las prescritas, inducen mayores tensiones de alabeo, las que generan tensiones en el plano de adherencia entre las capas y llevan a que se despeguen.

Aspectos Claves

Las siguientes acciones ayudan a asegurar un proyecto exitoso:

- El pavimento de hormigón existente deber encontrarse en buenas condiciones o llevarse, rentablemente, mediante reparaciones o fresado, a una buena condición.
- La superficie del pavimento existente debe prepararse para asegurar la adherencia con el refuerzo.
- Las propiedades térmicas del agregado del refuerzo deben ser similares a (o menores que) aquellas del pavimento existente, de manera de minimizar los esfuerzos de corte en el plano de adherencia.
- Las grietas del pavimento existente que trabajen deben repararse (o el refuerzo debe aserrarse sobre la grieta) para evitar que se reflejen hacia el refuerzo.
- Las juntas existentes deben encontrarse en buenas condiciones o repararse.
- Los refuerzos más delgados acortan la ventana de tiempo disponible para aserrar.
- Las juntas transversales del refuerzo deben aserrarse en todo el espesor más 12 mm (0,50 in.) y las longitudinales deben aserrarse hasta una profundidad de por lo menos H/2.

- Las juntas del refuerzo deben alinearse con las del pavimento existente porque la estructura debe moverse monolíticamente.
- El ancho de las juntas transversales del refuerzo debe ser igual o mayor que el ancho de la grieta subyacente medido al fondo de la junta existente (ver la página siguiente).
- La aplicación del compuesto de curado o de otro método de curado, debe realizarse a tiempo e integralmente, especialmente en los bordes.
- Para minimizar las tensiones de alabeo, algunas agencias han generado con éxito losas de menores dimensiones, para lo cual asieran en el refuerzo y entre las juntas que coinciden con las del pavimento existente, juntas transversales y longitudinales adicionales.

Proceso

Un proyecto de refuerzo consiste en la evaluación, diseño, construcción y futuras reparaciones del pavimento.

Evaluación del Pavimento

Es necesaria una evaluación del pavimento existente para asegurarse que es un buen candidato para un refuerzo adherido y que, una vez reforzado, quedará estructuralmente lo suficientemente sano como para soportar las cargas del tránsito proyectado. Para información general sobre evaluación del pavimento, ver Capítulo 2.

Un pavimento que presenta agrietamiento por expansión causada por MRD, tal como ASR o grietas por durabilidad, no es un buen candidato para un refuerzo con hormigón adherido (ver página 13 para una discusión del MRD). En ese caso, se debería considerar un refuerzo no adherido.



Figura 28. Fotografía de pavimento de hormigón cuya superficie fue previamente tratada con arenado a presión en 1994 (fuente: Todd Hanson, Iowa DOT)



Figura 29. Refuerzo de hormigón adherido de 75 mm (3 in) (fotografía de 2013) (fuente: Todd Hanson, Iowa DOT)

Diseño de la Capa de Refuerzo

El diseño incluye: determinar el espesor, dosificar la mezcla, definir la disposición de las juntas y proveer el drenaje del refuerzo.

Espesor del Refuerzo

Una capa de refuerzo con hormigón adherida se basa en que el pavimento de hormigón existente actúa como un componente estructural integral que soporta las cargas del tránsito. El refuerzo se adhiere al pavimento de hormigón existente formando una sección monolítica, la que consecuentemente reduce las tensiones y deflexiones.

Bajo ciertas condiciones, si el pavimento existente presenta significativos problemas superficiales, pero se encuentra estructuralmente sano y la subbase/subrasante es estable, se puede fresar y colocar una incrustación (Harrington et al. 2014).

Típicamente, los espesores de diseño de refuerzos con hormigón adherido están entre 50-125 mm (2-5 in.), dependiendo de la capacidad de carga que se desee soporten, de la vida de servicio proyectada, así como de la capacidad estructural que pueda proporcionar el pavimento subyacente. Algunos estados, como Colorado, han utilizado para caminos de alto tránsito, refuerzos adheridos de 150 mm (6 in.).

Los espesores usualmente se calculan mediante un método de diseño reconocido, tal como el AASHTO Guide for *Design of Pavement Structures* (AASHTO 1993, 1998). Sin embargo, también las agencias se están familiarizando en forma creciente, con el procedimiento *Mechanistic- Empirical Pavement Design Guide* (M-E-PDG) (AASHTO 2008). Para más información, ver la Tabla 10 en el Capítulo 4.

Dosificación de la Mezcla

Mezclas convencionales de hormigón se han utilizado con éxito para refuerzos con hormigón adherido de pavimentos de hormigón. Cuando se desea una puesta en servicio acelerada, las mezclas convencionales deben dosificarse para obtener altas resistencias iniciales, sin aumentar las propiedades de retracción. Para información adicional de mezclas de fraguado rápido, ver página 76.

Las fibras estructurales de alto módulo mejoran la resistencia y el comportamiento posterior al agrietamiento del hormigón y ayudan a mitigar los efectos de la retracción plástica, si llegara a ocurrir. Para más información, ver página 77 y Apéndice C.

En relación con el agregado para el hormigón, deben considerarse varios aspectos:

- Un agregado bien graduado requiere de un menor contenido de agua y de pasta en la mezcla y por consiguiente, se reduce la retracción y el alabeo potencial, así como el riesgo asociado a un desprendimiento de las capas.

- El tamaño máximo del agregado para el hormigón del refuerzo no debe ser mayor que un tercio del espesor del refuerzo.
- Un agregado con coeficiente de expansión térmica similar o menor que el del agregado del hormigón del pavimento existente ayuda a asegurar que las dos capas se muevan juntas, reduciendo así las tensiones en la interface donde actúa la adherencia.
- Antes de mezclar el hormigón, los poros del agregado deben encontrarse completamente saturados (humedad mayor que la condición de saturado con superficie seca); de otra manera, el agregado tenderá a extraer agua de la mezcla a edades tempranas, aumentando la posibilidad de contracción, la que puede originar el desprendimiento de las capas.

Diseño de las Juntas

En refuerzos adheridos, el tipo, disposición y ancho de las juntas debe coincidir con precisión con las del pavimento existente de manera de formar una estructura monolítica. La coincidencia de las juntas elimina la reflexión de grietas y asegura que las dos capas de la estructura del pavimento se muevan juntas, lo que ayuda a mantenerlas adheridas. Para minimizar las tensiones de alabeo, algunas agencias han exitosamente formado losas más pequeñas mediante aserrado de juntas longitudinales y transversales adicionales entre las juntas del refuerzo que coinciden con las del pavimento.

Un elemento importante en el diseño de juntas transversales son sus dimensiones. Deben cortarse en toda la profundidad más 13 mm (0,5 in.). Para evitar el desprendimiento, el ancho de la junta transversal debe igual o mayor que el ancho de la grieta o junta del pavimento existente subyacente; ver la Figura 30.

El ancho de la grieta en el pavimento existente subyacente puede determinarse mediante excavaciones puntuales a lo largo del borde. (Si el sistema del pavimento experimenta expansiones y el refuerzo empuja contra sí mismo, debido a que el ancho de sus juntas transversales es inferior al ancho de las grietas del pavimento existente subyacente, las dos capas pueden desprenderse.)

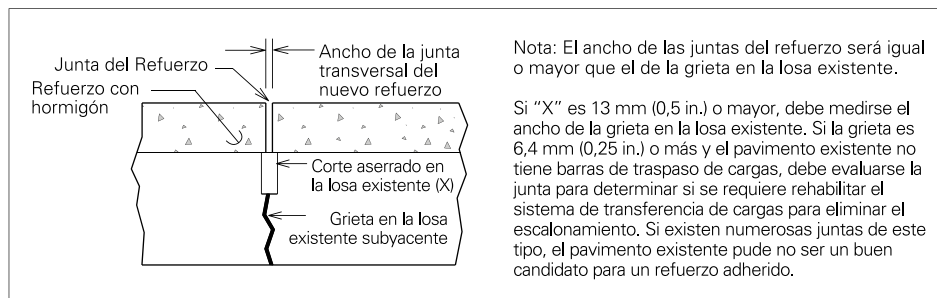


Figura 30. El ancho de la junta transversal en un refuerzo con hormigón adherido de un pavimento de hormigón debe ser igual o mayor que el ancho de la grieta del pavimento existente

Algunas agencias creen que aserrar con una profundidad igual a $H/2$, es suficiente; otras recomiendan aserrar las juntas longitudinales en todo el espesor más 13 mm (0,5 in.) de manera de atravesar el plano de adherencia.

Para minimizar tensiones que pudieran afectar la adherencia, en los refuerzos de hormigón adherido no se utilizan ni barras de amarre, ni barras de transferencia de cargas, ni otros productos de acero embebidos en el hormigón.

Salvo por el diseño de las juntas, los refuerzos adheridos de pavimentos continuamente reforzados (CRCP) se diseñan, preparan y construyen de la misma manera que los refuerzos con hormigón adherido de pavimentos de hormigón sin armar y con juntas. Típicamente, se debe aceptar que ocurra algún agrietamiento en el refuerzo adherido (probablemente no de inmediato) sobre las grietas existentes del CRCP.

Drenaje

Durante la evaluación y diseño de un proyecto de capa de refuerzo de hormigón adherida debe evaluarse el drenaje de la subrasante existente, tal como se haría con un refuerzo de asfalto. De ser necesario, se deben tomar medidas para asegurar un drenaje futuro adecuado, como reparar los drenes de borde, colocar material drenante en las bermas, geotextiles, etc.

Cuando existen subdrenes ellos deben limpiarse, inspeccionarse mediante video y repararse según sea necesario.

Construcción

La construcción comprende los siguientes pasos: reparaciones previas, fresado, limpieza de la superficie, vaciado del hormigón, curado y aserrado y sellado de juntas.

Reparaciones Previas

Son necesarias algunas reparaciones previas de ciertos deterioros para lograr la capacidad para soportar las cargas deseadas y la durabilidad a largo plazo. Debe inspeccionarse la superficie para detectar zonas aisladas de deterioro que requieren ser reparadas; ver la Tabla 5.

Deben repararse en todo el espesor las áreas aisladas que presentan grietas anchas aleatorias o juntas que trabajan. Cuando en el pavimento a ser reforzado existen grietas (particularmente grietas que trabajan), es casi seguro que aparecerán grietas reflejadas. Para prevenir la reflexión de grietas, ha tenido éxito enjaular (enzunchar) las grietas existentes que no trabajaban; ve la Figura 31.

Cuando se detectan huecos bajo las losas, ellas deben estabilizarse mediante inyecciones u otro método. Los parches asfálticos deben removerse y reemplazarse por parches de hormigón (o simplemente rellenarse con hormigón al momento de construir el refuerzo) de manera de asegurar adherencia entre capas de hormigón.

El comportamiento que tendrá una reparación debe tener en consideración si los movimientos del pavimento subyacente se transmitirán o no al refuerzo. Cualquier movimiento del refuerzo que no ocurra en las juntas que coinciden, puede contribuir a despegar las capas con el consiguiente deterioro del refuerzo.

Preparación de la Superficie

Se prepara la superficie del pavimento existente para producir una superficie áspera que ayude a la adherencia entre las dos capas. Se puede utilizar una variedad de procedimientos entre los que se incluyen arenado a presión, fresado, agua a alta presión y granallado.

El procedimiento más utilizado y más efectivo para preparar la superficie es el arenado a presión. Aun cuando fresar hace la superficie del pavimento de hormigón más áspera, no debe utilizarse con ese único propósito debido a que potencialmente puede causar micro fisuras superficiales y fracturar el agregado expuesto. Si se fresa con el objetivo de rebajar la rasante del pavimento, deberá removerse cualquier micro fisura que aparezca mediante enarenado a presión o agua a alta presión.

Limpieza de la Superficie

Una vez terminada la preparación, la superficie del hormigón debe limpiarse de manera de asegurar una adherencia adecuada entre la superficie del hormigón existente y el hormigón nuevo del refuerzo. La limpieza puede realizarse primero barriendo la superficie del hormigón y luego limpiando delante de la pavimentadora con aire comprimido. Si después se ensucia la superficie, ésta deberá volver a limpiarse. La pavimentación debe comenzar rápidamente después de limpiar para minimizar las posibilidades de contaminación.

Debe restringirse la circulación de vehículos después que la superficie haya sido preparada. Si es absolutamente necesario permitir que vehículos circulen sobre la superficie del hormigón existente, debe cuidarse que ellos no derramen aceite u otros contaminantes que pudieran comprometer la adherencia.

Vaciado del Hormigón

Se pueden hacer ajustes de rasante para asegurar el espesor requerido de hormigón. Para vaciar el hormigón para refuerzos de hormigón adherido se utilizan las prácticas y procedimientos convencionales. No es necesario, para mejorar la adherencia, colocar sobre la superficie existente lechadas o cubrirla con epóxicos.

Curado

El curado es especialmente crítico en un refuerzo con hormigón adherido debido a que la alta relación área superficial/volumen hace que el refuerzo de hormigón delgado sea más susceptible a una rápida pérdida de humedad. Dentro de los 30 minutos siguientes después de vaciado el hormigón, se deberá aplicar el compuesto de curado con una tasa igual al doble de la estándar. Una vez terminado el tratamiento, tanto la superficie como las caras verticales de los bordes, deberán haber sido uniformemente cubiertas y parecer como pintadas.

Aserrado de Juntas

Aserrar las juntas a tiempo es necesario para prevenir agrietamientos aleatorios. El aserrado debe comenzar tan pronto como el hormigón haya desarrollado resistencia suficiente para que las juntas puedan aserrarse sin saltaduras o astillarse.

Se pueden utilizar sierras livianas para ingreso temprano a aserrar las juntas transversales. Debe recordarse que la profundidad del corte debe ser igual al espesor del refuerzo más 13 mm (0,5 in.) y el ancho de la hoja para aserrar debe ser igual o mayor que el ancho de las grietas u juntas del pavimento subyacente. Esto podría significar tener que aserrar las juntas transversales con hoja convencional y en dos etapas.

Para facilitar la construcción de juntas coincidentes con las del pavimento existente, se puede marcar su posición, en ambos bordes del pavimento existente, con clavos; una vez colocado el refuerzo, se demarca con tiza una línea que conecte los clavos guías.

Futuras Reparaciones

La reparación que se recomienda para reparar capas de refuerzo de hormigón adherida de pavimentos de hormigón es el reemplazo de losas. Las losas de hormigón se remueven y reemplazan fácilmente.

Otra opción es simplemente fresar y colocar una incrustación de hormigón. Si una losa se encuentra dañada o deteriorada en otra forma, pero la calidad de rodadura del pavimento no se ve comprometida, la losa debe dejarse en su lugar.

Recursos Claves

ACI Committee 325 (2006); ACPA (1990a); Trevini et al. (2004).

Tabla 5. Posibles reparaciones previas en un pavimento de hormigón para prepararlo para una capa de refuerzo adherida

Deterioro en el Pavimento Existente	Reparación Puntual por Considerar
Grietas dispersas	Si no se hacen reparaciones, posiblemente aparecerán; grietas reflejadas; enjaular las grietas severas o reparaciones en todo el espesor
Escalonamiento	Estabilización de losas
Surgencia de finos (bombeo de finos)	Estabilización de losas
Parches asfáltico	Reemplazar con un parche de hormigón para asegurar adherencia
Saltadura de juntas	Reparación de espesor parcial
Desprendimiento superficial	Remover con la limpieza

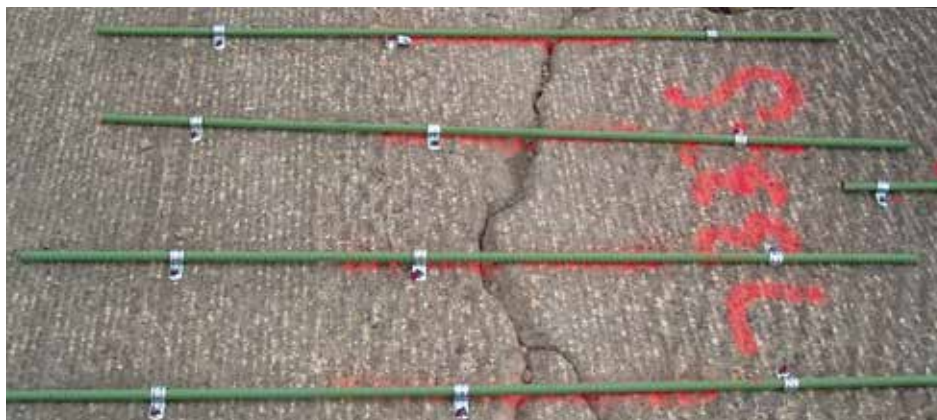


Figura 31. Enjaulado de grietas de un pavimento de hormigón (fuente: James Cable)

Capa de Refuerzo con Hormigón No Adherido de Pavimentos Asfálticos

La Figura 32 ilustra un pavimento de asfalto que puede ser candidato para un refuerzo con hormigón no adherido, conjuntamente con el tipo de reparaciones previas que son apropiadas.

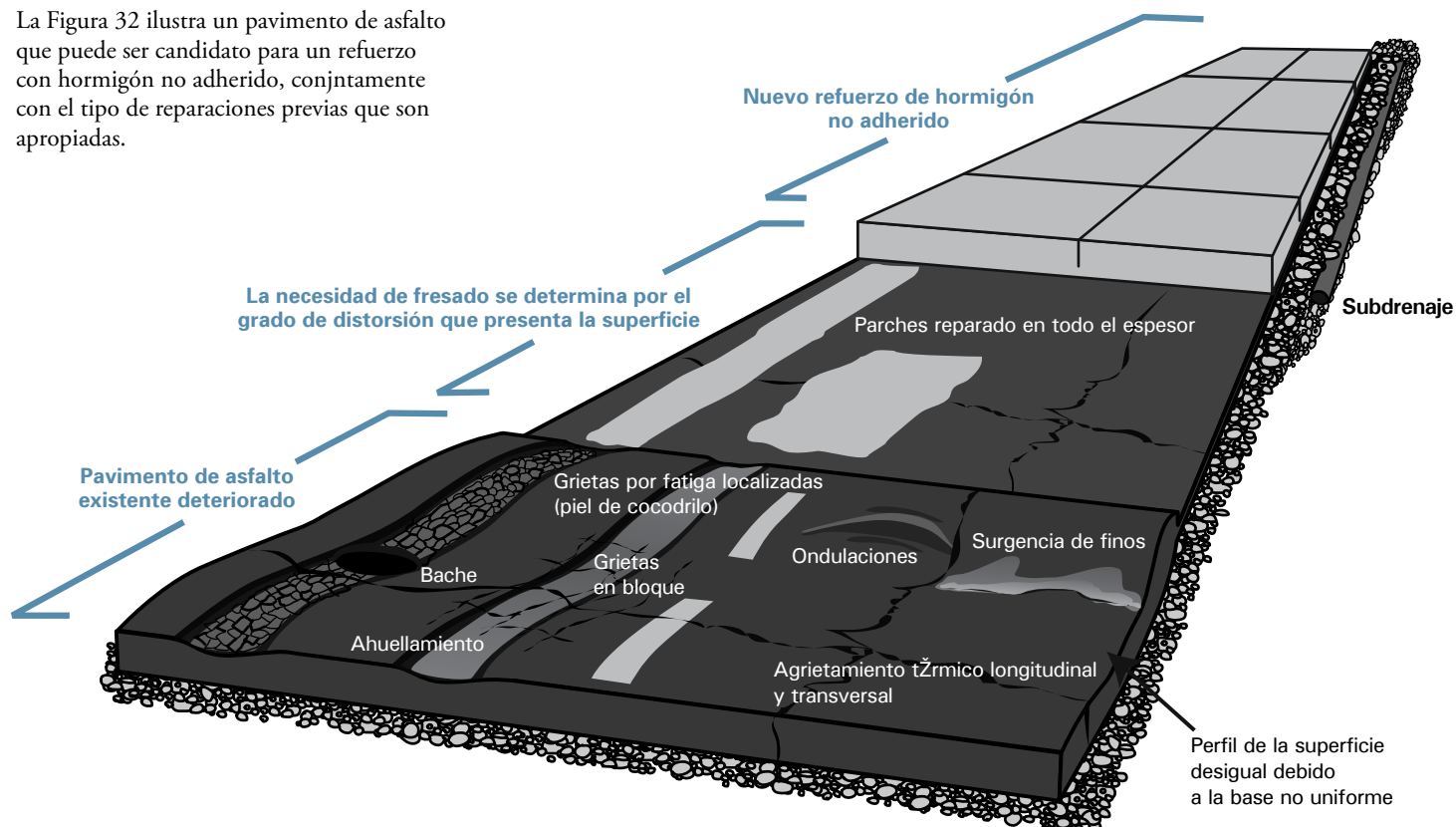


Figura 32. Capa de refuerzo con hormigón no adherida (antes llamado whitetopping convencional) de un pavimento asfáltico en condiciones malas a deterioradas

Aplicaciones y Usos

Refuerzos con hormigón no adherido de pavimentos asfálticos:

- Son apropiados para pavimentos asfálticos con deterioros significativos tales como ahuellamiento severo, baches, grietas tipo cocodrilo, subrasante/subbases con problemas, ondulaciones y surgencia de finos; ver la Figura 33.
- Generalmente tienen entre 100-280 mm (4-11 in.) de espesor (pavimentos con o sin armadura).
- Esencialmente se diseñan como un pavimento de hormigón nuevo sobre una base estable, suponiendo una condición de no adherencia entre las capas.
- Restituyen o aumentan la capacidad estructural del pavimento existente.
- Eliminan problemas superficiales como ahuellamiento y ondulaciones.
- Mejoran las condiciones de la superficie (fricción, ruido y suavidad).
- Reducen el efecto de calentamiento urbano como resultado de aumentar la reflectancia de la superficie.

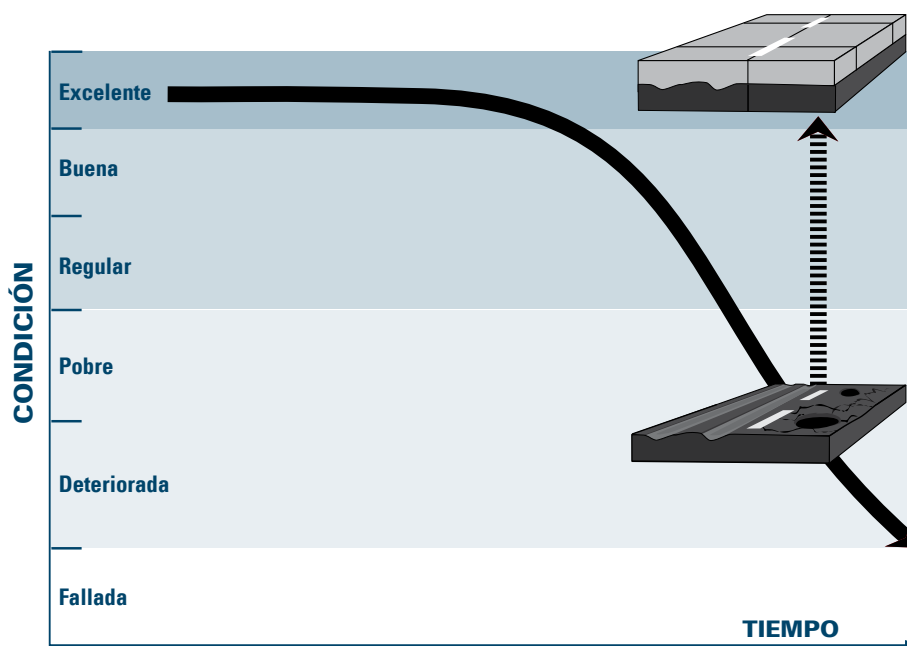


Figura 33. Capa de refuerzo hormigón no adherida de pavimento asfáltico

Comportamiento

Los refuerzos con hormigón no adherido de pavimentos asfálticos se han utilizado con éxito en muchos estados, con más de 30 años de comportamientos entre buenos y excelentes en estado como California y Iowa. Ver Figuras 34 y 35. Los refuerzos no adheridos sobre asfalto no requieren de extensos trabajos previos; solamente pudieran ser necesarias, para minimizar posibles fallas localizadas, algunas reparaciones puntuales. Aún cuando este tipo de refuerzo no requiere de la adherencia entre las capas, si se crea alguna adherencia parcial entre el refuerzo y el asfalto existente, ésta contribuye a un mejor comportamiento del pavimento.

Aspectos Claves

Las siguientes acciones ayudan a asegurar un proyecto exitoso:

- Para eliminar o reducir las distorsiones superficiales de 50 mm (2 in.) o mayores, será necesario fresar el pavimento asfáltico existente.
- Deben realizarse reparaciones de todo el espesor solamente en áreas aisladas, donde sea necesario restituir la integridad estructural.
- Los parches con hormigón del pavimento asfáltico existente, deben aislarse del refuerzo mediante un geotextil delgado u otro dispositivo anti adherencia.
- Un menor espaciamiento entre las juntas del refuerzo ayuda a reducir las tensiones por alabeo y deformaciones.
- Las juntas del refuerzo deben aserrarse tan pronto como sea posible debido a que la ventada de tiempo para aserrar suele ser menor que lo que típicamente es para pavimentos de todo el espesor.
- Durante el proceso de colocación del refuerzo, debe rociarse el asfalto con agua cuando la temperatura en la superficie es mayor que 49°C (120°F).

- La adherencia parcial entre el refuerzo y la capa asfáltica del pavimento existente es aceptable ya que incrementa la capacidad para soportar las cargas.
- Después de fresar el asfalto no debe permanecer ningún desprendimiento de asfalto importante.

Proceso

Un proyecto de refuerzo consiste de la evaluación, diseño, construcción y futuras reparaciones del pavimento.

Evaluación del Pavimento

Es necesaria una evaluación del pavimento asfáltico existente para asegurarse que es un buen candidato para un refuerzo no adherido. Los objetivos de la evaluación son: (1) estimar su contribución estructural como una subbase, (2) determinar el tipo y extensión de las reparaciones previas y (3) caracterizar parámetros claves para el diseño del refuerzo (ej. debe determinarse el valor soporte de la fundación para definir un espesor de diseño que tenga en consideración la contribución de la(s) capa(s) de asfalto).

Los pavimentos asfálticos son buenos candidatos para los refuerzos no adheridos siempre que la(s) capa(s) asfálticas puedan proporcionar una plataforma uniforme y estable al refuerzo ya sea como se encuentran o reparadas rentablemente.

Para información general sobre la evaluación de pavimentos, ver el Capítulo 2.

Diseño de la Capa de Refuerzo

Básicamente el diseño consiste en utilizar el pavimento existente como una base, determinar el espesor del refuerzo, establecer la dosificación de la mezcla, definir la disposición de las juntas y determinar el drenaje.

El Pavimento Existente como una Base.

En el diseño de un refuerzo no adherido, el pavimento asfáltico existente se considera como una base estable y el refuerzo se diseña esencialmente como un pavimento de hormigón nuevo. El diseño presupone que no hay adherencia entre las capas. Hay dos formas de estimar la potencial contribución del pavimento de asfalto existente al nuevo pavimento. La AASHTO *Guide for Design of Pavement Structures* (AASHTO Design Guide) (1993, 1998), considera el módulo de reacción de subrasante (*valor k*). El M-E-PDG (AASHTO 2008) considera la fricción y el *valor-k*.

Espesor del Refuerzo

El espesor típico de diseño de refuerzos con hormigón no adherido es entre 100-280mm (4-11 in.). Al contrario de los refuerzos adheridos, donde se requiere un espesor mínimo de asfalto como soporte estructural, en los no adheridos el asfalto existente sólo debe proporcionar una subbase estable y uniforme. Independientemente si el asfalto va a fresarse para salvar restricciones de gálibo vertical o si se mantendrá en las condiciones existentes, el espesor mínimo de asfalto a ser reforzado debe ser el adecuado para proporcionar una plataforma de trabajo estable capaz de soportar todo el tránsito de construcción (específicamente, camiones cargados con hormigón); típicamente éste será entre 75-100 mm (3-4 in.) de asfalto o el soporte equivalente proporcionado por otros materiales subyacentes, como una superficie tratada con un sello asfáltico.

Las zonas de un proyecto que presentan condiciones del pavimento y de la subbase, significativamente diferentes entre sí, deben dividirse en secciones separadas y diseñarse para las condiciones específicas de cada una.

La AASHTO Design Guide (1993, 1998) y M-E-PDG (AASHTO 2008) entregan procedimientos de diseño. Para más información, ver el Capítulo 4.



Figura 34. Pavimento asfáltico en estado entre pobre y deteriorado que será reforzado con una capa (fuente: Todd Hanson, Iowa DOT)



Figura 35. Pavimento asfáltico en estado entre pobre y deteriorado reforzado con hormigón no adherido (fuente: Kevin Merryman, Iowa DOT)

Dosificación de las Mezcla

Mezclas convencionales de hormigón se han utilizado con éxito para refuerzos con hormigón no adherido de pavimentos asfálticos. Cuando se desea una puesta en servicio acelerada, las mezclas convencionales deben dosificarse para obtener altas resistencias iniciales, sin aumentar las propiedades de contracción. Para información adicional sobre mezclas de fraguado rápido, ver el Capítulo 7.

Diseño de las Juntas

El diseño de los elementos de transferencia de cargas es el mismo que para pavimentos nuevos. Se utilizan juntas con barras de transferencia de cargas en refuerzos no adheridos de pavimentos que experimentarán un tránsito significativo de camiones, con espesores típicos de 175 mm (7 in.) o más.

En capas de refuerzo de espesor igual o menor que 150 mm (6 in.), el espaciamiento máximo de las juntas en metros debe ser 18 veces el espesor de la losa expresado en metros.

Para capas de refuerzo de espesores mayores que 150 mm (6 in.), a menudo se recomienda que el espaciamiento máximo de las juntas, medido en metros, sea 24 veces el espesor de la losa medido en metros. En consecuencia, un refuerzo de 175 mm (7 in.) de espesor debería tener juntas a una distancia máxima de 4,3 m (14 ft). El espaciamiento máximo recomendado es típicamente 4,6 m (15 ft).

En los casos que por diseño se requiera un sistema mecánico de transferencia de cargas en las juntas y el pavimento sea de menos de 175 mm (7 in.) de espesor, las barras de transferencia de cargas convencionales originan problemas de gálibo a la pavimentadora. Las barras de traspaso de cargas de menor diámetro no ayudan significativamente al problema del gálibo y puede que a largo plazo, no proporcionen transferencia de cargas, debido a que pudieran romper el hormigón. Una solución es utilizar de fibra estructural que ayuda a mantener las grietas y juntas cerradas. Adicionalmente, las placas para trasferencia de cargas proporcionan el gálibo necesario y permiten la transferencia mecánica de las cargas. El comportamiento de las placas de transferencia de cargas en las juntas transversales de contracción, no está claramente establecido en refuerzos de hormigón de espesores de 125 mm (5 in.) o menores. Sin embargo, se han utilizado con éxito en playas de estacionamiento industriales. El efecto de la exposición a la sal para el hielo sobre placas de transferencia de cargas revestidas con epóxico o galvanizadas es también limitado. Se recomienda utilizar una superficie probada y ensayada como resistente a la corrosión. La investigación sobre el comportamiento de placas de transferencia de cargas en refuerzos de hormigón, se está realizando en las dependencias del MnROAD (Burnham and Izevbekhai 2012). Ver el Capítulo

4 para información adicional sobre placas de transferencia de cargas.

Las barras de amarre en refuerzos no adheridos deben ajustarse al uso convencional para pavimentos de 125 mm (5 in.) de espesor o más. Las barras de amarre de pistas, puede ser apropiado en secciones transversales abiertas (o con bermas) cuando el refuerzo no adherido tiene 125 mm (5 in.) de espesor o más. En esta categoría suelen ser apropiadas las barras n° 4 de 13 mm (0,5 in.) de diámetro. Las barras de amarre en secciones con cuneta y solera deben utilizarse si el refuerzo tiene un espesor de 150 mm (6 in.) o más.

Para sellar las juntas deben utilizarse los procedimientos típicos.

Drenaje

El desprendimiento del asfalto puede significar un soporte no uniforme del refuerzo no adherido. En el proyecto de evaluación y diseño del refuerzo con hormigón no adherido, debe evaluarse el drenaje existente de la subrasante, tal como se haría con una sobre capa asfáltica. Si es necesario, deben tomarse medidas para asegurar un drenaje del asfalto adecuado para el futuro (ej. readecuar los drenes de pavimento, colocar bermas de material drenante, geotextiles, etc.). Cuando existe subdrenaje, debe limpiarse, inspeccionarse con video y repararse según resulte necesario.

Construcción

Los elementos por construir incluyen la colocación directa del refuerzo, reparaciones previas, fresado, preparación de baches, limpieza de la superficie, vaciado del hormigón, curado y aserrado de juntas.

Colocación Directa

Se recomienda colocación directa, sin fresado, cuando el ahuellamiento del pavimento asfáltico existente no excede 50 mm (2 in.). El ahuellamiento existente se rellena con hormigón,

resultando un refuerzo de mayor espesor en las huellas.

Reparaciones Previas

Los refuerzos no adheridos generalmente requieren solamente un mínimo de reparaciones previas en el pavimento existente; ver la Tabla 6. Aún cuando áreas significativas se encuentren deterioradas, pero no inestables o moviéndose y la subrasante/subbase esté estable, no son necesarias reparaciones costosas, en especial con un diseño adecuado del refuerzo.

Fresado

Cuando las distorsiones en el pavimento existente son de 50 mm (2 in.) o mayores, se debe considerar fresar antes de colocar el refuerzo no adherido. El fresado (1) reduce los puntos altos, asegurando un espesor mínimo del refuerzo y (2) remueve las distorsiones superficiales significativas presentes en el asfalto.

A menudo es adecuado fresar solamente los puntos con distorsiones significativas, entre 25-50 mm (1-2 in.). El objetivo de fresar no es disponer de una sección transversal perfecta, como tampoco es necesario eliminar completamente el ahuellamiento. No hay razón para remover asfalto en buenas condiciones que puede ayudar a soportar las cargas del tránsito. Por el contrario, si se detecta una capa asfáltica con desprendimientos (suelta), debe removerse completamente. A menudo los criterios más importantes para establecer el espesor del fresado son: permitir que se conserven elementos existentes y minimizar los cambios en la rasante. Cuando este es el caso, debe realizarse una exhaustiva evaluación del espesor y condiciones del pavimento asfáltico existente para asegurarse que el asfalto que permanecerá para ser reforzado se encuentre en buenas condiciones y tiene el espesor suficiente para servir como una subbase y plataforma de construcción.

Tabla 6. Posibles reparaciones previas en un pavimento asfáltico para prepararlo para un refuerzo no adherido

Deterioro en el Pavimento Existente	Reparación Puntual por Considerar
Áreas con fallas en la subrasante/subbase	Remover y reemplazar con material estable; corregir problemas de drenaje
Deterioro severo que implica variaciones en la resistencia del asfalto	Remover y reemplazar con material estable; corregir problemas de drenaje
Baches	Rellenar con asfalto
Ondulaciones	Fresar
Ahuellamiento ≥ 50 mm (2 in.)	Fresar
Ahuellamiento < 50 mm (2 in.)	Nada o fresar
Grietas ancho ≥ tamaño máximo del agregado utilizado en el hormigón para el refuerzo	Rellenar con asfalto o sellante fluido
Grietas ancho < tamaño máximo del agregado utilizado en el hormigón para el refuerzo	Nada

Una capa de asfalto de espesor adecuado (mínimo 75 mm, 3 in.) debe permanecer para asegurar que el asfalto trabajará como una subbase uniforme de la estructura del refuerzo no adherido. Independientemente si el asfalto va a ser fresado debido a restricciones verticales o si se mantendrá en su presente condición, el mínimo espesor de asfalto a reforzar debe ser el adecuado para proporcionar una plataforma de trabajo estable capaz de soportar el tránsito de construcción anticipado (específicamente los camiones cargados con hormigón).

Preparación de los Parches

Si existen parches de hormigón de todo el espesor en el pavimento subyacente, deben aislarse para prevenir que se adhieran al refuerzo de hormigón. Si existe adherencia, en ese lugar el refuerzo sobre el asfalto tendrá una restricción diferente que el resto del refuerzo, lo que potencialmente resultará en agrietamiento. Para aislar el parche, se puede colocar, después de fresar, una tela geotextil o una lechada asfáltica sobre la superficie del parche.

Limpieza de la Superficie

Antes de vaciar el hormigón, la superficie del asfalto debe simplemente barrerse. No se considera un problema que permanezcan algunas partículas.

Vaciado del Hormigón.

Cuando la temperatura de la superficie del asfalto es igual o mayor que 49°C (120°F), se puede reducir rociando agua, minimizando el riesgo de agrietamientos a una temprana edad. No debe existir agua sobre la superficie al momento de colocar el refuerzo. No debe quedar agua en la superficie, la que debe removerse con aire comprimido.

Para vaciar, distribuir, consolidar y terminar el hormigón del refuerzo no adherido se utilizan procedimientos convencionales de pavimentación. Debido a la variabilidad de espesor del hormigón, esta partida se licita en base por metro cúbico. Algunos estados incluyen también una partida adicional por metro cuadrado para compensar por el vaciado.

Curado

El curado es especialmente crítico en un refuerzo delgado con hormigón no adherido debido a la alta relación área superficial/volumen. El curado se realiza aplicando un compuesto de curado inmediatamente después de darle textura a la superficie; si el refuerzo no adherido tiene 150 mm (6 in.) o menos de espesor, se debe colocar con una tasa igual al doble de la usual. Una vez terminado el tratamiento, tanto la superficie como las caras verticales de los bordes, deberán haber sido uniformemente cubiertas y parecer como pintadas.

Aserrado de Juntas

Aserrar las juntas a tiempo es necesario para prevenir agrietamientos descontrolados. Las juntas transversales deben aserrarse hasta la profundidad de $H/3$.

Cuando hay evidencias de algún ahuellamiento en el asfalto existente, la profundidad del aserrado se debe ajustar teniendo en consideración las distorsiones en el pavimento asfáltico subyacente, las que efectivamente aumentan el espesor de la losa; ver la Figura 36.

Reparaciones Futuras

La opción recomendada para reparar refuerzos no adheridos es la misma que para pavimentos de hormigón estándar.

Recursos Claves

ACI Committee 325 (2006); ACPA (1998); FHWA (2002 a).

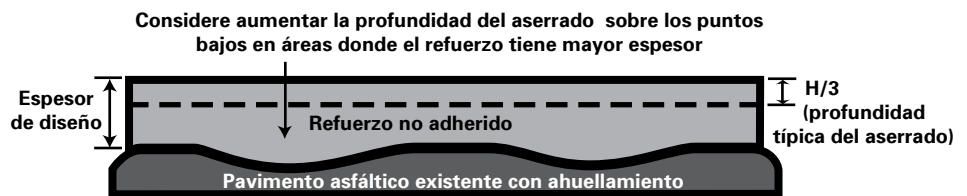


Figura 36. Se debe tener en consideración la profundidad del ahuellamiento del asfalto al establecer la profundidad del aserrado (ACPA 1998)

Capas Refuerzo con Hormigón No Adherido de Pavimentos Compuestos

La Figura 37 ilustra un pavimento compuesto que puede ser candidato a un refuerzo con hormigón no adherido, junto con el tipo de reparaciones previas que suelen ser apropiadas.

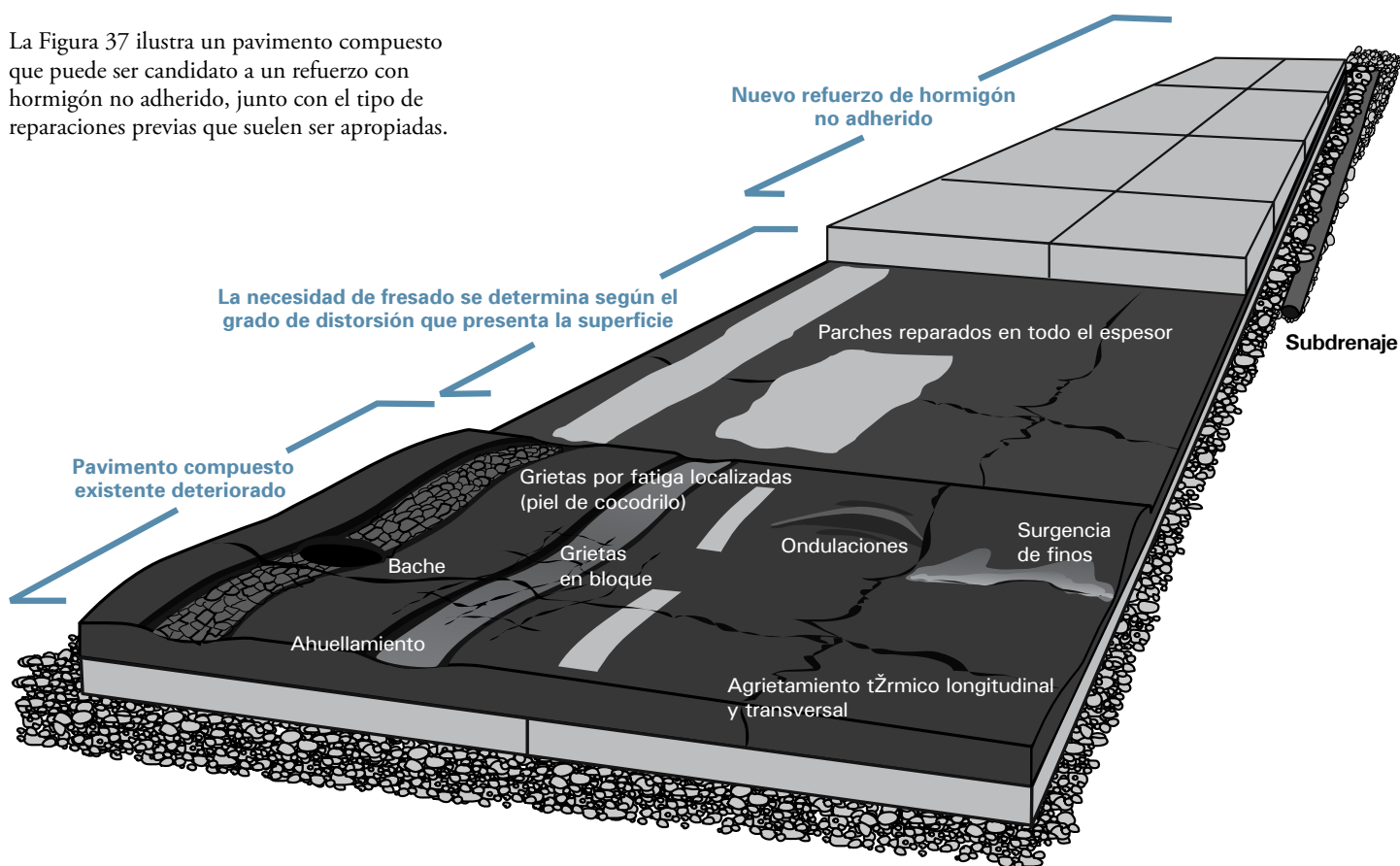


Figura 37. Refuerzo con hormigón no adherido de un pavimento compuesto en malas a deterioradas condiciones

Aplicaciones y Usos

- Son apropiados para pavimentos compuestos con deterioro significativo de la mezcla asfáltica en caliente, tales como ahuellamiento severo, baches, grietas tipo cocodrilo, subrasante/subbases con problemas, ondulaciones y surgencia de finos; ver la Figura 38.
- Generalmente tienen entre 100-280 mm (4-11 in.) de espesor (pavimentos con o sin armadura).
- Esencialmente se diseñan como un pavimento de hormigón nuevo sobre una base estable.
- Restituyen o aumentan la capacidad estructural del pavimento existente.
- Eliminan problemas superficiales como ahuellamiento, ondulaciones, baches y hormigón con deterioro MRD leve o deterioro en las juntas.
- Mejoran las condiciones de la superficie (fricción, ruido y suavidad).
- Reducen el efecto del calentamiento urbano como resultado de aumentar la reflectancia de la superficie.

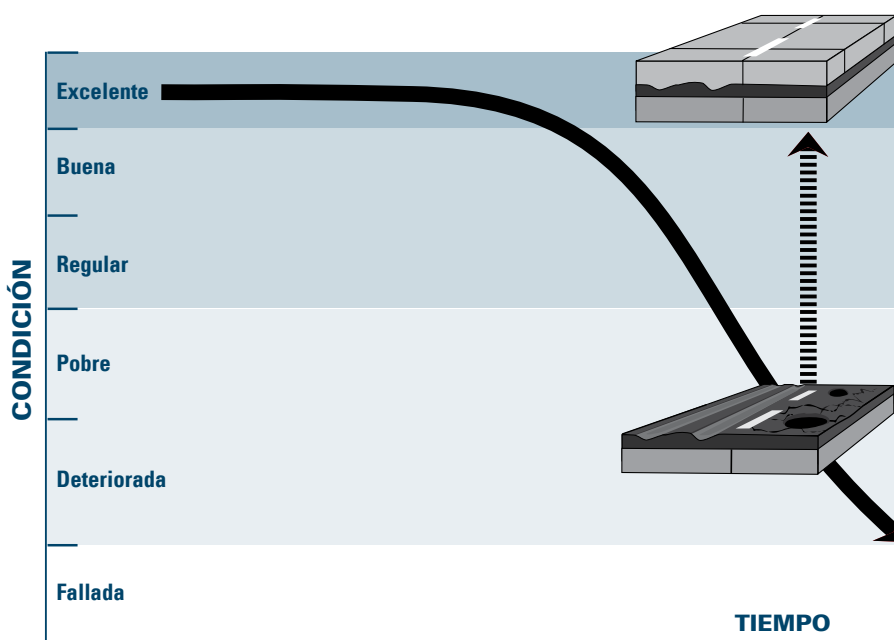


Figura 38. Capa de refuerzo con hormigón no adherida de pavimento compuesto

Comportamiento

Los refuerzos no adheridos potencialmente pueden extender significativamente la vida de pavimentos compuestos existentes: ver las Figuras 39 y 40. Un factor importante, que afecta el comportamiento, es que el pavimento asfáltico y de hormigón existentes, proporcionen una base uniforme. Aún cuando este tipo de refuerzo no se basa en la adherencia entre las capas, una adherencia parcial entre la sobre capa y el pavimento asfáltico existente, contribuye a mejorar el comportamiento del pavimento. Los refuerzos no adheridos de pavimentos compuestos no requieren extensas reparaciones previas, sólo podrían ser necesarias reparaciones puntuales para minimizar fallas localizadas.

Aspectos Claves

Las siguientes acciones ayudan a asegurar un proyecto exitoso:

- Para eliminar o reducir las distorsiones superficiales de 50 mm (2 in.) o mayores, es necesario fresar el pavimento asfáltico existente.
- Si el perfil del pavimento indica la presencia de áreas aisladas con distorsión vertical en el pavimento de hormigón subyacente, que pudieran implicar movimientos debido a un drenaje inadecuado o MRD, es necesario repararlas.
- Deben realizarse reparaciones de todo el espesor solamente en áreas aisladas donde se requiera restituir la integridad estructural.
- Los parches de hormigón del pavimento asfáltico existente, deben separarse del refuerzo con un geotextil delgado u otro dispositivo anti adherencia.
- Un menor espaciamiento entre juntas en el refuerzo ayuda a reducir las tensiones por alabeo y deformaciones.
- Las juntas del refuerzo deben aserrarse tan pronto como sea posible debido a que la ventada del tiempo de aserrado suele

ser menor que lo que típicamente es para pavimentos de todo el espesor.

- Durante el proceso de colocación del refuerzo, debe rociarse el asfalto con agua cuando la temperatura en la superficie es mayor que 49°C (120°F).
- Después de fresar no debe quedar ninguna zona con desprendimientos notables de asfalto.
- Si el desprendimiento del asfalto es severo, se debe remover mediante fresado y colocar una nueva capa separadora entre el hormigón subyacente y el nuevo refuerzo no adherido (ver refuerzos no adheridos de pavimentos de hormigón, que comienza en la página 46).
- La adherencia parcial entre el refuerzo y la capa asfáltica del pavimento compuesto existente es aceptable pues incrementa su capacidad para soportar cargas.

Proceso

El proyecto de refuerzo consiste de la evaluación, diseño, construcción y futuras reparaciones del pavimento.

Evaluación del Pavimento

Es necesaria una evaluación del pavimento asfáltico existente para asegurarse si puede o no puede proporcionar una plataforma uniforme para el refuerzo no adherido; si no es adecuado se deben definir las acciones necesarias para lograr esa uniformidad. Adicionalmente, la evaluación determina la contribución estructural del pavimento existente como una plataforma estable y los parámetros claves para el diseño del refuerzo. Para información general de la evaluación de pavimentos, incluyendo información específica sobre MRD, ver la página 13.

Los pavimentos compuestos son buenos candidatos para refuerzos no adheridos, siempre que la estructura compuesta pueda proporcionar o pueda ser rentablemente reparada para proveer una plataforma uniforme y estable al

refuerzo. Debe considerarse especialmente: (1) la condición que presentan las capas del pavimento compuesto; (2) el deterioro de la capa asfáltica (el asfalto refleja bien los problemas que existan en el hormigón subyacente); (3) el perfil de la rasante (posibles evidencias de movimiento de las losas); (4) deformación de las losas, que pueden indicar la existencia de huecos bajo ellas o deterioro de las juntas en el pavimento de hormigón subyacente; y (5) la capacidad soporte de la fundación.

Diseño de la Capa de Refuerzo

El diseño considera: utilizar el pavimento existente como base, determinar el espesor del refuerzo, la dosificación de la mezcla, definir la disposición de las juntas y diseñar el drenaje.

El Pavimento Existente como una Base

En el diseño de un refuerzo no adherido, el pavimento compuesto existente se considera como una base estable y el refuerzo se diseña esencialmente como un pavimento de hormigón nuevo. El diseño presupone que no hay adherencia entre las capas.

Hay dos formas de estimar la potencial contribución del pavimento compuesto existente al nuevo pavimento. La AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO Design Guide) (1993, 1998), considera el módulo de reacción de subrasante (*valor k*). El M-E-PDG (AASHTO 2008) considera la fricción y el *valor-k*.

Espesor del Refuerzo

El espesor típico de diseño de refuerzos con hormigón no adherido es entre 100-280mm (4-11 in.). El espesor requerido para el refuerzo depende de la capacidad para soportar las cargas del tránsito y de la vida de servicio que se desee, así como de las condiciones que presenta el pavimento subyacente.

Los tramos de un proyecto en que el pavimento y la subbase presenten condiciones



Figura 39. Pavimento compuesto antes de colocar una capa de refuerzo de hormigón no adherida



Figura 40. Capa de refuerzo de hormigón no adherida de un pavimento compuesto (fuente: Todd Hanson, Iowa DOT)

significativamente diferentes entre sí, deben dividirse en secciones separadas y diseñarse para las condiciones específicas de cada uno.

La AASHTO Design Guide (1993, 1998) y M-E-PDG (AASHTO 2008) entregan procedimientos de diseño. Ver las diferencias básicas entre los diferentes procedimientos en la Tabla 10 del Capítulo 4.

Dosificación de las Mezclas

Típicamente se utilizan mezclas convencionales de hormigón para refuerzos no adheridos de pavimentos compuestos deteriorados. Cuando se desea una puesta en servicio acelerada, las mezclas convencionales deben dosificarse para obtener altas resistencias iniciales, sin aumentar las propiedades de contracción. Para información adicional de mezclas de fraguado rápido, ver la página 76. La puesta en servicio acelerada puede simplificarse utilizando también mediciones de madurez.

Diseño de las Juntas

El diseño de los elementos de transferencia de cargas es el mismo que para pavimentos nuevos. Se utilizan juntas con barras de transferencia de cargas en refuerzos no adheridos en pavimentos que experimentarán un tránsito significativo de camiones, con espesores típicos de 175 mm (7 in.) y más.

Para refuerzos de espesor igual o menor que 150 mm (6 in.), el espaciamiento máximo de las juntas en pies (ft) es 1,5 veces el espesor de la losa expresado en pulgadas (in.).

Para refuerzos de espesores mayores que 150 mm (6 in.), a menudo se recomienda que el espaciamiento máximo de las juntas, medido en pies (ft), sea 2 veces el espesor de la losa medido en pulgadas (in.). En consecuencia, un refuerzo de 175 mm (7 in.) de espesor debería tener juntas a una distancia máxima de 4,3 m (14 ft). El espaciamiento máximo recomendado es típicamente 4,6 m (15 ft).

En los casos que por diseño se requiere un sistema mecánico de transferencia de cargas en las juntas y el pavimento tiene menos de 175 mm (7 in.) de espesor, las barras de transferencia de cargas convencionales originan a la pavimentadora problemas de gálibo. Las barras de traspaso de cargas de menor diámetro no ayudan significativamente al problema del gálibo y puede que a largo plazo, no proporcionen transferencia de cargas, debido a que pudieran romper el hormigón. Una solución es utilizar de fibra estructural que ayuda a mantener las grietas y juntas cerradas. Adicionalmente, las placas para transferencia de cargas proporcionan el gálibo necesario y permiten la transferencia mecánica de las cargas. El comportamiento de las placas de transferencia de cargas en las juntas transversales de contracción no está claramente establecido en refuerzos de hormigón de espesores de 125 mm (5 in) o menos. Sin embargo, se han

utilizado con éxito en playas de estacionamiento industriales. El conocimiento sobre el efecto de la exposición a la sal para el hielo de placas de transferencia de cargas revestidas con epóxico o galvanizadas es también limitado. Se recomienda utilizar una superficie probada y ensayada como resistente a la corrosión. La investigación sobre el comportamiento de placas de transferencia de cargas en refuerzos de hormigón, se está realizando en las dependencias del MnROAD (Burnham and Izevbekhai 2012). Ver el Capítulo 4 para información adicional sobre placas de transferencia de cargas.

Las barras de amarre en refuerzos no adheridos deben ajustarse al uso convencional para pavimentos de 125 mm (5 in.) de espesor o más. Las barras de amarre de pistas son apropiadas en secciones transversales abiertas (o con bermas) cuando el refuerzo no adherido tiene 125 mm (5 in.) de espesor o más. En esta categoría suelen ser apropiadas las barras del n° 4 de 13 mm (0,5 in.) de diámetro. Las de barras de amarre en secciones con cuneta y solera deben utilizarse si el refuerzo es de un espesor de 150 mm (6 in.) o más.

Para sellar las juntas deben utilizarse los procedimientos típicos.

Drenaje

Durante el proceso de evaluación y diseño de un proyecto de refuerzo con hormigón no adherido, debe evaluarse el drenaje existente de la subrasante, tal como se haría para una sobre capa asfáltica. Si es necesario, deben tomarse medidas para asegurar un drenaje adecuado del asfalto (por ej. readecuar los drenes de pavimento, colocar bermas de material drenante, geotextiles, etc.). Cuando existe subdrenaje, éste debe limpiarse, inspeccionarse con video y repararse según resulte necesario.

Construcción

Los elementos por construir incluyen la colocación directa, reparaciones previas, fresado,

preparación de baches, limpieza de la superficie, vaciado del hormigón, curado y aserrado de juntas.

Colocación Directa

Se recomienda colocación directa, sin fresado, cuando el ahuellamiento del pavimento asfáltico existente no excede 50 mm (2 in.) y no existe deterioro superficial significativo del asfalto. El ahuellamiento existente se rellena con hormigón, resultando un refuerzo de mayor espesor en las huellas; la profundidad del aserrado debe ajustarse de manera de mantener un mínimo de H/3 donde el espesor resulta mayor por el ahuellamineto.

Reparaciones Previas

Los refuerzos no adheridos generalmente requieren solamente un mínimo de reparaciones previas del pavimento compuesto existente. Aún cuando áreas significativas se encuentren deterioradas, pero no inestables o moviéndose y con la subrasante/subbase estable, no requieren reparaciones costosas, en especial con un diseño adecuado del refuerzo; ver la Tabla 7.

Se debe tener presente que un refuerzo de hormigón se adhiere a cualquier parche de hormigón del pavimento subyacente. Por lo tanto, los parches de hormigón deben aislarse mediante una tela geotectil u otro material antiadherente.

La presencia de losas deformadas (etapa inicial de reventones) puede indicar que hay huecos bajo las losas. Antes de construir el refuerzo no adherido, las secciones con deformaciones significativas deben repararse de manera de aliviar la presión y que proporcionen un soporte uniforme.

Fresado

Cuando las distorsiones en el pavimento existente son de 50 mm (2 in.) o mayores, se debe considerar fresar antes de colocar el refuerzo no adherido. El fresado permite: (1) reduce

Tabla 7. Posibles reparaciones previas en un pavimento compuesto para prepararlo para un refuerzo no adherido

Deterioro en el Pavimento Existente	Reparación Puntual por Considerar
Áreas con fallas en la subrasante/subbase	Remover y reemplazar con material estable; (ej. material seleccionado, subbase granular, etc.), corregir problemas de drenaje
Deterioro severo que implica variaciones en la resistencia del asfalto	Remover y reemplazar con parches de material asfáltico u hormigón, con una lechada asfáltica o un geotextil como capa separadora ; corregir problemas de drenaje
Escalonamiento reflejado o deformación de las losas	Reparación de todo el espesor con hormigón y usar asfalto o un geotextil como capa separadora anti adherencia
Baches	Rellenar con asfalto
Ondulaciones	Fresar
Ahuellamiento ≥ 50 mm (2 in.)	Fresar
Ahuellamiento < 50 mm (2 in.)	Nada o fresar
Grietas ancho ≥ tamaño máximo del agregado utilizado en el hormigón para el refuerzo	Rellenar con asfalto o sellante fluido

los puntos altos lo que ayuda a asegurar un espesor mínimo del refuerzo y (2) remueve las distorsiones superficiales significativas presentes en el asfalto.

A menudo es adecuado fresar solamente los puntos con distorsiones significativas, entre 25-50 mm (1-2 in.). El objetivo de fresar no es disponer de una sección transversal perfecta; tampoco es necesario eliminar completamente el ahuellamiento. No hay razón para remover asfalto en buenas condiciones que puede ayudar a soportar las cargas del tránsito. Por el contrario, si se detecta una capa asfáltica con desprendimientos (suelta), debe removerse completamente. A menudo los criterios más importantes para establecer el espesor del fresado son: permitir que se conserven elementos existentes y minimizar los cambios en la rasante. Cuando este es el caso, debe realizarse una exhaustiva evaluación del espesor y condiciones del pavimento asfáltico existente para asegurarse que el asfalto que permanecerá para ser reforzado se encuentre en buenas condiciones y que tiene el espesor suficiente para servir como una subbase y plataforma de construcción.

Si el asfalto que permanecerá está demasiado quebradizo o quebrado como para proporcionar una separación adecuada, deberá construirse una capa separadora nueva. Sin una capa separadora adecuada, las grietas que trabajan en el pavimento de hormigón subyacente originarán grietas reflejadas en el refuerzo no adherido.

Una capa de asfalto de espesor adecuado (mínimo 75 mm, 3 in.) debe permanecer para asegurar que el asfalto funcionará como una subbase uniforme de la estructura del refuerzo no adherido. Independientemente si el asfalto va a ser fresado debido a restricciones verticales o se mantendrá en su presente condición, el mínimo espesor de asfalto a reforzar debe ser el adecuado para proporcionar una plataforma de trabajo estable capaz de soportar el tránsito de construcción anticipado (específicamente los camiones cargados con hormigón).

Preparación de los Parches

Si existen parches de hormigón de todo el espesor en el pavimento subyacente o se construyen como parte del proyecto, deben aislarse para evitar que se adhieran al refuerzo de hormigón. Si existe adherencia, el refuerzo sobre el asfalto tendría una restricción diferente que el resto del refuerzo, lo que potencialmente resultará en agrietamiento. Para aislar el parche y después de fresar, se puede colocar una tela geotextil o un lechada asfáltica sobre la superficie del parche.

Limpieza de la Superficie

Antes de vaciar el hormigón, la superficie del asfalto debe simplemente barrerse. No se considera un problema que permanezcan algunas partículas.

Vaciado del Hormigón

Cuando la temperatura de la superficie del asfalto es igual o mayor que 49°C (120°F), se puede reducir rociando agua, minimizando el riesgo de agrietamientos a una edad temprana. No debe existir agua sobre la superficie al momento de colocar el refuerzo.

Para vaciar, distribuir, consolidar y terminar el hormigón del refuerzo no adherido se utilizan prácticas y procedimientos convencionales de pavimentación. Debido a la variabilidad de espesor del hormigón, éste se licita midiendo su volumen (metro cúbico). Algunos estados incluyen también una partida por metro cuadrado, para compensar por el vaciado.

Curado

Las buenas prácticas en el curado son especialmente críticas en un refuerzo delgado con hormigón no adherido, debido a que la alta

relación área superficial/volumen. El curado se realiza aplicando un compuesto de curado inmediatamente después darle textura a la superficie; si el refuerzo no adherido tiene 150 mm (6 in.) o menos de espesor, el compuesto se debe aplicar con una tasa igual al doble de la usual. El producto terminado deberá parecer como una superficie uniformemente pintada, con las caras verticales de los bordes del refuerzo también completamente cubiertas.

Aserrado de Juntas

Aserrar las juntas a tiempo es necesario para prevenir agrietamientos descontrolados. Las juntas transversales deben aserrarse con sierras convencionales, hasta la profundidad entre $H/4$ (mínimo) y $H/3$ (máximo). Cuando hay evidencias de algún ahuellamiento en el asfalto existente, la profundidad del aserrado se debe ajustar teniendo en consideración las distorsiones en el pavimento asfáltico subyacente, las que efectivamente aumentan el espesor de la losa; ver la Figura 4.

Las juntas longitudinales deben aserrarse a una profundidad igual a $H/3$.

Reparaciones Futuras

La opción recomendada para reparar refuerzos no adheridos es la misma que para pavimentos de hormigón estándar.

Recursos Claves

ACI Committee 325 (2006); ACPA (1998); FHWA (2002 a).

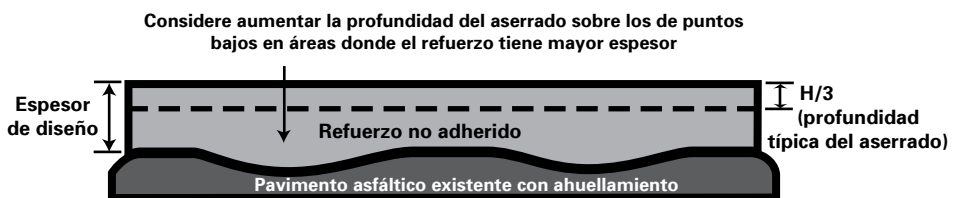


Figura 41. Se debe tener en consideración la profundidad del ahuellamiento del asfalto al establecer la profundidad del aserrado (ACPA 1998)

Capa de Refuerzo con Hormigón No Adherido de Pavimentos de Hormigón

La Figura 42 ilustra un pavimento de hormigón que puede ser candidato a un refuerzo con hormigón no adherido, junto con el tipo de reparaciones previas que suelen ser apropiadas.

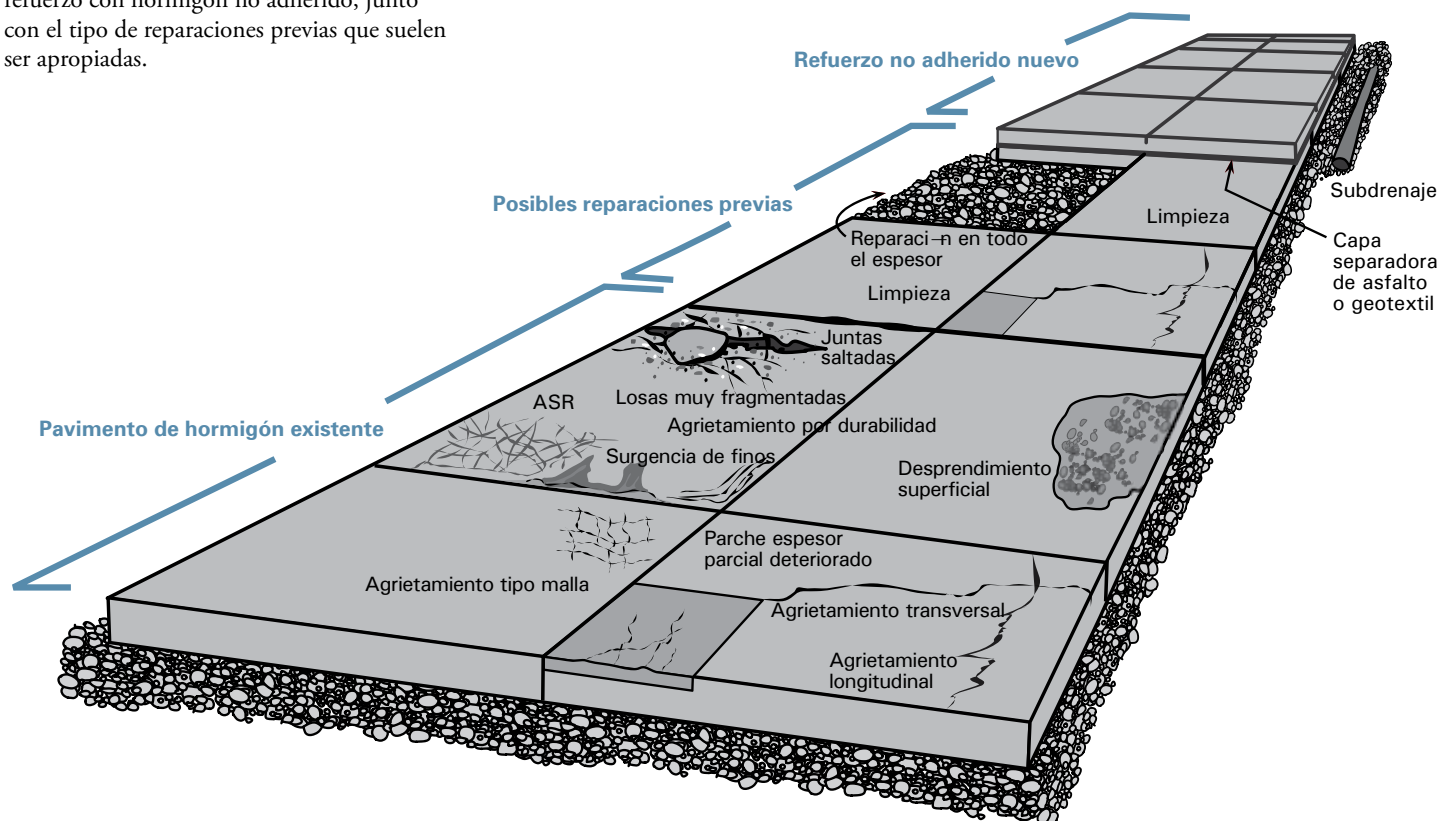


Figura 42. Capa de refuerzo con hormigón no adherida de pavimentos de hormigón en malas a deterioradas condiciones

Aplicaciones y Usos

Refuerzos con hormigón no adherido de pavimentos de hormigón:

- Son apropiados para pavimentos de hormigón en malas condiciones, incluyendo pavimentos con deterioro MRD, pero estables y que proporcionen un soporte uniforme, ver la Figura 43.
- Generalmente tienen entre 100-280 mm (4-11 in.) de espesor (con y sin armadura).
- Se diseñan esencialmente como un pavimento de hormigón nuevo sobre una base estable (con el pavimento existente como la base estable), suponiendo una condición de no adherencia entre las capas.
- Restauran o mejoran la capacidad estructural.
- Aumentan la vida del pavimento haciéndola equivalente a la de un pavimento de todo el espesor.
- Mejoran la fricción, el ruido y la suavidad de la superficie.

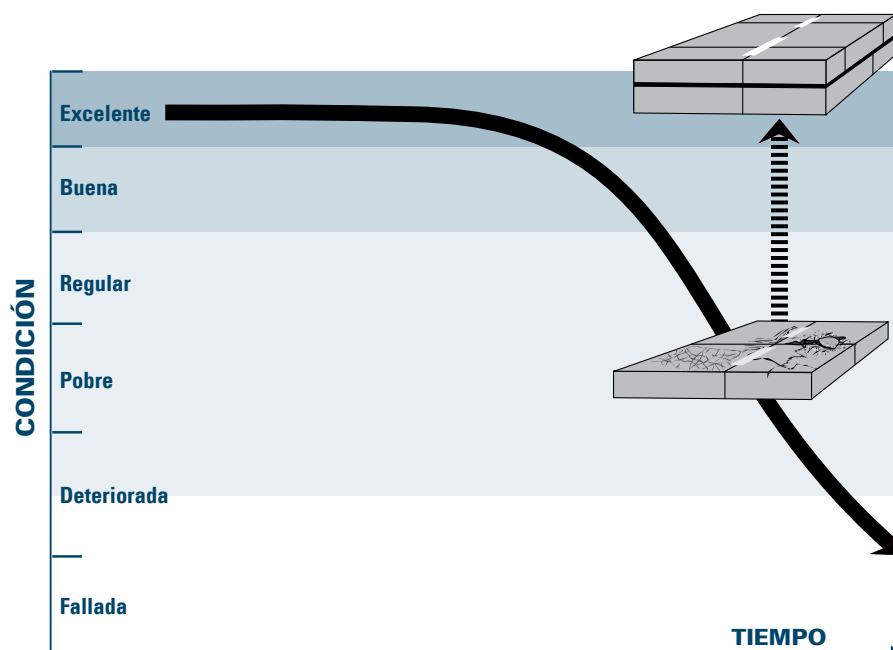


Figura 43. Capa de refuerzo con hormigón no adherida de un pavimento de hormigón

Comportamiento

Los refuerzos con hormigón no adherido de pavimentos de hormigón se han utilizado con éxito en muchos estados, con más de 30 años de comportamiento entre bueno y excelente, ver las Figuras 44 y 45. Los factores críticos que afectan el comportamiento de los refuerzos no adheridos son el diseño de la capa separadora, el espesor del refuerzo, el espaciamiento y disposición de las juntas y el diseño de la transferencia de cargas. Un factor clave es que el pavimento existente proporcione un soporte uniforme.

Aspectos Claves

Las siguientes acciones ayudan a asegurar un proyecto exitoso:

- Deben realizarse reparaciones de todo el espesor solamente en áreas aisladas donde se requiera restituir la integridad estructural.
- Aislar el refuerzo del pavimento de hormigón existente para eliminar la reflexión de grietas, se requiere una capa separadora de asfalto (típicamente de 25 mm (1 in.)) o una tela geotextil.
- Colocar una capa separadora de asfalto drenante para prevenir el desprendimiento del asfalto o en el caso de un geotextil, hacer que la tela aflore al talud de seguridad o se conecte a un conducto de drenaje.
- Revisar la altura del escalonamiento de juntas y determinar si el refuerzo de hormigón puede o no puede eliminar el escalonamiento posterior o si son necesarias otras reparaciones.
- Aserrar las juntas del refuerzo tan pronto como sea posible, debido a que la ventana de tiempo para aserrar suele ser menor que lo que típicamente es para pavimentos de todo el espesor.
- Disponer un menor espaciamiento entre juntas en el refuerzo, comparado con las de un pavimento de todo el espesor, pues ayudan a reducir las tensiones por alabeo y deformaciones.

FAQ- ¿Se han efectivamente construido refuerzos no adheridos delgados?

Si. Refuerzos adheridos de 100 mm (4 in.) de espesor son soluciones viables para pavimentos de hormigón existentes que tienen las juntas con deterioros de arriba hacia abajo. Las condiciones específicas para estos proyectos y asesoría para el diseño y construcción de este tipo de refuerzos no adheridos se pueden encontrar en www.intrans.iastate.edu/research/documents/research-reports/US_18_overlay_construction_web.pdf (Cable 2012)

- No es crítico si las juntas del refuerzo no coinciden con las del pavimento subyacente.

Proceso

El proyecto de refuerzo consiste de la evaluación, diseño, construcción y futuras reparaciones del pavimento.

Evaluación del Pavimento

Es necesaria una evaluación del pavimento de hormigón y la subbase para asegurarse que están en condiciones de proporcionar un soporte uniforme; si ello no es así, determinar las acciones necesarias para obtener esa uniformidad. También, la evaluación debe determinar la contribución estructural del pavimento existente como una base estable. Para información general de la evaluación de pavimentos, incluyendo información específica sobre MRD, ver la página 13.

La causa de fallas en pavimentos con escalonamiento puede atribuirse a la combinación entre cierta pérdida de la capacidad de transmitir cargas entre las losas y la pérdida de soporte de la subrasante/subbase. Si la subrasante/subbase se encuentra estable, el incremento de la capacidad para soportar cargas que genera el refuerzo no adherido, ha probado ser adecuado para absorber el escalonamiento. En general, no debe preocupar escalonamientos de 10 mm (3/8 in.) o menores en el pavimento de hormigón existente, siempre que la capa separadora de asfalto tenga 25 mm (1 in.) o más. Cuando se utiliza en la interface un geotextil, el escalonamiento no debe exceder los 6 mm (0,25 in.). Si se desea colocar un geotextil, a pesar

que el escalonamiento exceda el límite señalado, o se remueve el escalonamiento del pavimento mediante fresado o se coloca una capa de asfalto. Drenes de pavimento reparados se han utilizado con éxito para reducir la tasa de progresión del escalonamiento.

La deformación de losas (en las juntas) suele indicar un deterioro que avanza de abajo hacia arriba. Antes de colocar el refuerzo, deben repararse los tramos que presentan muchas losas deformadas, de manera de relevarlas de la presión y proporcionar un soporte uniforme.

Diseño de la Capa de Refuerzo

Los refuerzos no adheridos se diseñan de manera similar que los pavimentos de hormigón nuevos sobre una base estabilizada, suponiendo que existe separación entre las capas.

Espesor del Refuerzo

Para carreteras con tránsito pesado, el rango típico de espesores de refuerzos con hormigón no adherido es entre 150-280mm (6-11 in.); en caminos con volumen de tránsito más bajo pueden llegar a ser tan delgados como 100 mm (4 in.). El espesor requerido para el refuerzo depende de la capacidad para soportar las cargas del tránsito y la vida de servicio que se desee, así como también de las condiciones que presenta el pavimento de hormigón.

Tanto la AASHTO Guide (1993, 1998) como el M-E-PDG (AASHTO 2008) consideran el efecto de las capas separadas. Ver en la Tabla 10, Capítulo 4, los principios básicos y las diferencias entre los varios procedimientos.



Figura 44. Ruta D35; pavimento existente en malas condiciones (fuente: Todd La Torella, MO/KS Chapter, ACPA)



Figura 45. La Ruta D35 con un refuerzo no adherido de 125 mm (5 in.) (fuente: Todd La Torella, MO/KS Chapter, ACPA)

Diseño de la Capa Separadora

El diseño de la capa separadora es uno de los factores que más influyen el comportamiento de un refuerzo no adherido de un pavimento de hormigón. La capa separadora proporciona un plano de corte que ayuda a prevenir que las grietas se reflejen hacia el nuevo refuerzo. Adicionalmente, la capa separadora impide la adherencia del nuevo pavimento con el existente, de manera que ambos se puedan mover independientemente.

Hay tres condiciones que deben considerarse en la selección y diseño de la capa separadora:

1. La aislación adecuada del pavimento subyacente para prevenir la reflexión de grietas.
2. Amortiguación- la capa separadora proporciona un colchón al refuerzo no adherido.
3. Drenaje- debe ser posible evacuar la humedad de la capa separadora.

La capa separadora más común y exitosa es una mezcla asfáltica convencional de 25 mm (1 in.) de espesor, bien drenada y que cubre adecuadamente las irregularidades del pavimento existente. Puede aumentarse ligeramente el espesor cuando las irregularidades tienen el tamaño suficiente para impactar en las operaciones de colocación. La capa separadora no proporciona un mejoramiento estructural significativo. En consecuencia, debe evitarse colocar una capa separadora de espesor excesivo.

El desprendimiento del asfalto de las capas separadoras de mezclas asfálticas de granulometría densa han conducido a fallas prematuras de algunos refuerzos no adheridos. Donde se prevea que existirá agua y tránsito pesado de camiones, se debe utilizar una mezcla asfáltica drenante. Esto puede lograrse, reduciendo el contenido de arena y aumentando el volumen del agregado de 10 mm (3/8 in.), en la mezcla asfáltica. Ver la Tabla 18 en página 76 para información sobre mezclas asfálticas para capas separadoras.

En los últimos cinco años ha aumentado substancialmente el uso de geotextiles como capas separadoras, los que han probado su efectividad. Ver el Capítulo 4, página 59.

Dosificación de la Mezcla

Típicamente se utilizan mezclas convencionales de hormigón para refuerzos no adheridos de pavimentos de hormigón deteriorados. Cuando se desea una puesta en servicio acelerada, las mezclas convencionales deben dosificarse para obtener altas resistencias iniciales, sin aumentar las propiedades de contracción. Para información adicional de mezclas de fraguado rápido, ver la página 76.

Diseño de las Juntas

El traspaso de cargas trabaja mejor en refuerzos con hormigón de pavimentos de hormigón que en pavimentos de hormigón sin armadura nuevos, debido a la capacidad de transferencia que proporciona el pavimento subyacente. Típicamente se utilizan juntas con barras de traspaso de cargas en refuerzos no adheridos de pavimentos que experimentarán alto tránsito de camiones; normalmente de 175 mm (7 in.) de espesor o más. El diseño del sistema de traspaso de cargas es el mismo que para pavimentos de hormigón nuevos.

Se deben utilizar juntas menos alejadas para reducir el riesgo de agrietamiento temprano, debido al mayor alabeo causado por el soporte rígido que proporciona el pavimento subyacente; ver la Tabla 8.

En los casos que por diseño se requiere un sistema mecánico de transferencia de cargas en las juntas y el pavimento tiene menos de 175 mm (7 in.) de espesor, las barras de transferencia de cargas convencionales originan a la pavimentadora problemas de galíbo. Las barras de traspaso de cargas de menor diámetro no ayudan significativamente al problema del galíbo y puede que a largo plazo, no proporcionen transferencia de cargas, debido a que pudieran romper el hormigón. Una solución es utilizar de fibra estructural que ayuda a mantener las grietas y juntas cerradas. Adicionalmente, las placas para transferencia de cargas proporcionan el galíbo necesario y permiten la transferencia mecánica de las cargas. El comportamiento de las placas de transferencia de cargas en las juntas transversales de contracción no está claramente establecido en refuerzos de hormigón de espesores de 125 mm (5 in.) o menos. Sin embargo, se han utilizado con éxito en playas de estacionamiento industriales. El conocimiento sobre el efecto de la exposición a la sal para el hielo de placas de transferencia de cargas revestidas con epóxico o galvanizadas es también limitado. Se recomienda utilizar una superficie probada y ensayada como resistente a la corrosión. La investigación sobre el comportamiento de placas de transferencia de cargas en refuerzos de hormigón, se está

Tabla 8. Típico espaciamiento transversal de juntas

Espesor del Refuerzo No Adherido	Espaciamiento Máximo de las Juntas Transversales
≥ 150 mm (6 in.)	Losas de 1,8 x 1,8 m (6 x 6 ft) (no debe excederse 1,5 veces el espesor en pulgadas)
< 150 mm (6 in.)	Espacio en pies (ft) = 2 veces el espesor en pulgadas; sin exceder los 15 pies de espaciamiento

realizando en las dependencias del MnROAD (Burnham and Izevbekhai 2012). Ver el Capítulo 4 para información adicional sobre placas de transferencia de cargas.

Las barras de amarre en refuerzos no adheridos deben ajustarse al uso convencional para pavimentos de 125 mm (5 in.) de espesor o más. Las barras de amarre de pistas pueden ser apropiadas en secciones transversales abiertas (o con bermas) cuando el refuerzo no adherido tiene 125 mm (5 in.) de espesor o más. En esta categoría suelen ser apropiadas las barras del n° 4 de 13 mm (0,5 in.) de diámetro. Las de barras de amarre en secciones con cuneta y solera deben utilizarse si el refuerzo tiene un espesor de 150 mm (6 in.) o más.

Muchos estados, aun cuando no intencionalmente, no hacen coincidir las juntas y no han experimentados efectos adversos. Sin embargo, algunos estados intencionalmente no hacen coincidir las juntas, de acuerdo con experiencias anteriores, para maximizar los beneficios de la transferencia de cargas.

Los refuerzos no adheridos sin armadura y con juntas de pavimentos de hormigón continuamente reforzados se diseñan y construyen de la misma manera que los refuerzos no adheridos de pavimentos sin armaduras y con juntas. Texas ha construido muchos refuerzos no adheridos continuamente reforzados tanto sobre pavimentos continuamente reforzados como de pavimentos sin refuerzos y con juntas, algunas veces aumentado el espesor de la capa asfáltica separadora a más de 25 mm (1 in.).

Drenaje

Sin un buen drenaje, los camiones pesados generan presión de poros en la capa separadora lo que suele causar desprendimiento del asfalto de la capa. Los drenes de pavimento bien diseñados, contruidos y mantenidos, ayudan a reducir la surgencia de finos, el desprendimiento del asfalto, el escalonamiento de las juntas y el agrietamiento. Para estabilizar la subrasante/subbase se utilizan drenes más profundos (subdrenes). También cuando se coloca un geotextil como capa separadora, este debe drenar, ya sea hacia el subdrenaje o hacia las bermas.

Durante el proceso de evaluación y diseño de un proyecto de refuerzo con hormigón no adherido, debe evaluarse el drenaje existente de la subrasante, tal como se haría para una capa asfáltica. Si es necesario, deben tomarse medidas para asegurar un drenaje adecuado para el futuro (por ej. readecuar los drenes de pavimento, colocar bermas de material drenante, geotextiles, etc.).

Cuando existe subdrenaje, éste debe limpiarse, inspeccionarse con video y repararse según resulte necesario.

Construcción

Los elementos por construir incluyen reparaciones previas, capa separadora, vaciado del hormigón, curado y aserrado de juntas.

Reparaciones Previas

Típicamente, sólo el deterioro que causa pérdida importante de la integridad estructural requiere ser reparado. Si áreas significativamente deterioradas no experimentan desplazamientos o movimientos y la subrasante/subbase está estable, generalmente no se requieren reparaciones costosas, en especial con un diseño adecuado del refuerzo; ver la Tabla 9. Como alternativa a numerosas reparaciones, algunos estados aumentan el espesor del refuerzo no adherido para proporcionar capacidad adicional para soportar las cargas.

Capa Separadora

Utilizar una capa separadora adecuada ayuda a asegurar el buen comportamiento de un refuerzo no adherido. Antes de colocar la capa separadora, la superficie del pavimento existente debe barrerse limpiando cualquier material suelto, ya sea mediante una barredora mecánica o con aire a presión. Para colocar la capa separadora deben utilizarse prácticas convencionales (ver Capítulo 7, página 103).

Vaciado del Hormigón.

Cuando la temperatura en la superficie de la capa separadora de asfalto es igual o mayor que 49°C (120°F), se puede reducir rociando agua, minimizando el riesgo de agrietamientos a una edad temprana.

Para enfriar una tela geotextil de color negro, que sirve de capa separadora, ésta debe humedecerse con agua pero no saturarse. Una prueba simple es tocar la tela; el dedo no debe

mojarse. No debe existir agua sobre la superficie al momento de colocar el refuerzo.

Para vaciar, distribuir, consolidar y terminar el hormigón del refuerzo no adherido se utilizan prácticas y procedimientos convencionales de pavimentación.

Es importante que los canastos para colocar las barras de transferencia de cargas se encuentren anclados en forma adecuada al pavimento subyacente. Alternativamente, se pueden utilizar pavimentadoras equipadas con sistemas para insertar las barras de transferencia de cargas. Debido a la variabilidad de espesor del hormigón, éste se mide en volumen (metros cúbic), medido sobre la base de metros cuadrados.

Curado

Las buenas prácticas en el curado son especialmente críticas en un refuerzo con hormigón no adherido debido a la alta relación área superficial/volumen. Se realiza aplicando un compuesto de curado inmediatamente después de darle textura a la superficie; si el refuerzo no adherido tiene 150 mm (6 in.) o menos de espesor, se debe aplicar una tasa del compuesto igual al doble de la usual. El producto terminado deberá parecer como una superficie uniformemente pintada, con las caras verticales de los bordes del refuerzo también completamente cubiertas.

Aserrado de Juntas.

Aserrar las juntas a tiempo es necesario para prevenir agrietamientos descontrolados. Las juntas transversales y longitudinales deben aserrarse con sierras convencionales, hasta la profundidad de H/3. La profundidad a cortar juntas transversales a edades tempranas, no debe ser menos de 31 mm (1,25 in.). Las juntas longitudinales deben aserrarse a una profundidad igual a H/3.

Reparaciones Futuras

La opción recomendada para reparar refuerzos no adheridos es la misma que para pavimentos de hormigón estándar.

Recursos Claves

ACI Committee 325 (2006); ACPA (1990 b); FHWA (2002 b).

Tabla 9. Posibles reparaciones previas en un pavimento de hormigón existente para prepararlo para un refuerzo no adherido

Deterioro en el Pavimento Existente	Reparación Puntual por Considerar
Escalonamiento ≥ 6 mm (0,25 in.) para geotextil como capa separadora, ≤ 10 mm (0,38 in.) para capa asfáltica de 25 mm (1 in.)	Nada
Escalonamiento > 6 mm (0,25 in.) para geotextil como capa separadora, > 10 mm (0,38 in.) para capa separadora de 25 mm (1 in.) de asfalto	Fresar el pavimento para eliminar el escalonamiento para el geotextil o colocar una capa separadora de asfalto de mayor espesor
Deformación de losas significativo	Reparación en todo el espesor
Losas fuertemente fragmentadas	Reparación en todo el espesor
Surgencia de finos significativo	Reparación en todo el espesor y mejoras al drenaje
Descascaramiento severo de juntas	Limpieza
Pavimentos continuamente reforzados con reventones u otro deterioro severo	Reparación en todo el espesor

Capítulo 4

DISEÑO DE CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN

Teniendo en consideración las limitaciones de los actuales presupuestos para carreteras, el constante envejecimiento de la red vial y la rentabilidad que ofrecen las capas de refuerzo con hormigón, tanto para la rehabilitación como para el mantenimiento de los pavimentos, es muy probable que cada día se diseñen con más frecuencia las capas de refuerzo con hormigón, para una más amplia variedad y condiciones de los pavimentos. Esta sección proporciona una guía clara y confiable para diseñar capas de refuerzo con hormigón de alta calidad y delinea las estrategias y los recursos necesarios para implementar proyectos de capas de refuerzo con hormigón como parte de un programa integral de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

La información incluida en esta sección es una recopilación de varias valiosas fuentes publicadas por la American Concrete Institute (ACI), AASHTO, FHWA, World Road Association, NCHRP, ACPA, Portland Cement Association (PCA), U.S. Army Corps of Engineers, Federal Aviation Administration y departamentos de transporte estatales. Los procedimientos disponibles se basan en una serie de supuestos y estrategias de diseño. Es importante que los diseñadores de capas de refuerzo con hormigón comprendan la interacción que existe entre el diseño, la selección de los materiales para las mezclas y el proceso constructivo. Quizás el principio de diseño crítico es que la capa de refuerzo con hormigón y el pavimento subyacente constituyen un sistema único.

Variables de Diseño de Capas de Refuerzo con Hormigón

Cualquiera sea el sistema de la capa de refuerzo y procedimiento de diseño utilizado, el análisis comienza por reconocer las variables en común del proceso. Es importante primeramente, definir los alcances del proyecto que se planifica y el comportamiento estructural requerido. La vida de diseño prevista afectará tanto la extensión de las reparaciones requeridas en el pavimento existente como las variables de diseño. Estos, a su vez, influyen en el espesor, la cantidad de reparaciones y en consecuencia, en el costo de la capa de refuerzo; ver la Figura 46. Se requiere que el proyectista caracterice y entienda la estructuración del pavimento existente (ver información de cómo evaluar el pavimento existente en el Capítulo 2), las cargas que generará el tránsito proyectado y los

FAQ – ¿Qué pasa si después de fresar van a quedar menos de 75 mm (3 in.) de asfalto para una capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento asfáltico?

Hay dos aspectos que considerar. Primero, la recomendación de dejar 75 mm (3 in.) de una estructura asfáltica en buenas condiciones reconoce que el espesor del pavimento tal como se encuentra en el terreno, tiene una variabilidad inherente-hay secciones de mayor y menor espesor; en consecuencia, la recomendación son 75 mm (3 in.) nominales. Segundo, si debajo del asfalto existe una base de calidad o una subrasante estabilizada, pudiera ser aceptable dejar una capa de asfalto de menos de los nominales 75 mm (3 in.) recomendados.

materiales que se van a utilizar. En la mayoría de los casos, los factores climáticos tienen un papel importante, especialmente en un sistema de capa de refuerzo con hormigón adherido.

Caracterización del Pavimento Existente

Las condiciones que presenta el pavimento existente afectan el diseño y el comportamiento del refuerzo con hormigón. Aun cuando, tanto los sistemas adheridos como los no adheridos, se benefician de la capacidad de transferencia de cargas del pavimento existente, las condiciones del pavimento subyacente tienen un grado mayor de influencia sobre los refuerzos adheridos. Por lo tanto, la caracterización efectiva de las condiciones del pavimento existente es importante al seleccionar el tipo de refuerzo apropiado a construir.

El primer paso para diseñar un proyecto de capa de refuerzo con hormigón es la caracterización integral del pavimento existente. Como mínimo, la estructura del pavimento existente debe verificarse mediante testigos o antecedentes históricos. A veces, sin embargo, los antecedentes históricos y los planos no representan la situación

real, de manera que es importante verificarlos en el terreno. Asimismo, debe evaluarse la estructura del pavimento existente, considerando la condición general que presenta, la que influirá tanto en la selección del sistema de refuerzo (adherido o no adherido) como en el tipo, ubicación y extensión de las reparaciones previas necesarias.

Consideraciones sobre la Superficie

Para que una capa de refuerzo adherida sea una solución práctica para una carpeta asfáltica, después de realizar las reparaciones previas necesarias y fresar, deberá quedar un espesor mínimo nominal de 75 mm (3 in.) de asfalto en buenas condiciones. Un error en la evaluación del espesor y condición del asfalto existente que proporcionará la capacidad estructural en una capa de refuerzo adherida, puede significar que después de fresar queden áreas con poco o nada de asfalto. La situación requiere de decisiones en el terreno técnicamente difíciles, esencialmente aumentar el espesor de la capa de refuerzo con hormigón para compensar por una menor contribución estructural del pavimento existente. Es necesaria una evaluación completa del pavimento existente para evitarse pérdidas de tiempo y retrasos costosos.



Figura 46. Factores de diseño de la capa de refuerzo que se interrelacionan

Si la evaluación determina que el pavimento existente está en malas condiciones, con muchas fallas localizadas, significa que existen significativas fallas básicas. Dependiendo del costo potencial de reparar estas fallas, puede que no resulte adecuada una capa de refuerzo adherida. Pudiera resultar más rentable una capa de refuerzo no adherida que es menos sensible a las condiciones del pavimento subyacente. La evaluación de la condición permite al proyectista determinar la cantidad y ubicación de las reparaciones previas requeridas.

Debe hacerse notar que la existencia de grietas dispersas en el pavimento subyacente no necesariamente significan una reducción de la vida de servicio. Se han construido muchos kilómetros de capas de refuerzo con hormigón no adherido que se han comportado muy bien, a pesar del poco cuidado o consideración respecto a reparar el agrietamiento de la plataforma subyacente.

Consideraciones Estructurales

Tanto para capas de refuerzo adheridas como no adheridas al pavimentos asfáltico y compuesto, el módulo de las capas puede determinarse mediante ensayos no destructivos (ver el Capítulo 2, página 16, Ensayos de Deflexión). Se recomienda extraer testigos para todo proyecto de refuerzo.

Para capas de refuerzo al pavimento compuesto, la condición de la capa asfáltica es un buen indicador de cómo se encuentra la base soportante. Es importante tener en consideración cuando son visibles las juntas y otras discontinuidades del hormigón subyacente y si se presentan extremadamente deterioradas o muestran evidencias de un escalonamiento severo. Si se detectan deflexiones excesivas o visibles al paso de los camiones, pudiera resultar necesario una reparación en todo el espesor antes de colocar la sobre capa.

Cualquiera sea el método de diseño utilizado, el proyectista debe definir el nivel de soporte existente directamente bajo las capas estructurales. En términos de lo que se define como “capa estructural” (que es lo opuesto a un sistema de soporte) desviándose de AASHTO Design Guide (1993, 1998), lo que se está convirtiendo en una tendencia común, particularmente en capas de refuerzo. Por ejemplo, según la AASHTO Design Guide (1993, 1998), para un pavimento de hormigón nuevo, una capa asfáltica es una capa soportante. La propiedad que define este soporte, el valor de k , describe la respuesta del material inmediatamente debajo del pavimento de hormigón. Al utilizar este procedimiento para diseñar, es importante entender en que punto de la estructura se está considerando el valor de k . En otros procedimientos de diseño, en especial en capas de refuerzo con hormigón de asfaltos, la resistencia a la flexotracción de la capa de asfalto es considerada como un componente estructural. La contribución específica de la capa de asfalto

FAQ - Realmente debo preocuparme por el coeficiente de expansión térmica (CTE)?

Aunque el efecto del CTE cada vez está siendo considerado en las capas de refuerzo de mayor espesor e incluso en pavimentos nuevos, los valores predeterminados son adecuados para el diseño de capas de refuerzo no adheridas.

depende del grado de adherencia con el hormigón. En este caso, el valor k , describe el soporte provisto por los materiales bajo el asfalto.

A veces se responsabiliza a los proyectistas de tomar decisiones basándose en una cantidad limitada de información. Esto es especialmente cierto en el diseño de proyectos de rehabilitación. Las decisiones para seleccionar el diseño deben ser lógicas y defendibles. El proyectista debe tener presente el impacto que puede tener la elección de un nivel de confianza en el espesor final de diseño. En la AASHTO Design Guide (1993, 1998), el nivel de confianza y la desviación estándar general, generan un multiplicador que afecta el tránsito que se utiliza en el diseño para determinar el espesor. La selección apropiada de estos parámetros puede incorporar un nivel de riesgo predecible.

Caracterización del Tránsito

Para diseñar un pavimento en forma adecuada, debe determinarse de la forma más acuciosa y precisa posible la proyección de las solicitaciones que generará el tránsito. Debe cuidarse no sólo de medir o predecir las características del tránsito actual; también, asignarle una tasa de crecimiento razonable.

El número de camiones debe proyectarse para toda la vida de diseño, las mediciones incluyen, algunas veces, la estimación del número de ejes equivalentes en base a la estratigrafía proyectada del tránsito. En este caso, el proyectista no debe hacer estimaciones del tránsito en forma conservadora. Es mejor hacer una estimación razonable y luego ajustarla por las incertidumbres.

Alternativamente, los procedimientos de diseño empírico-mecanicistas utilizan espectros de las cargas del tránsito. Éstos incluyen el número, peso y geometrías de las cargas de los ejes asociados. A veces, son luego distribuidos a lo largo del día y aún por la estación del año. Los modelos altamente sofisticados incluyen la distribución por pista y la variación de la posición de los ejes dentro de ella. Varias de las distribuciones típicas disponibles en el M-E PDG (AASHTO 2008) son adecuada para la mayoría de las situaciones.

Para determinar el espesor, como mínimo, es necesario conocer el tránsito medio anual y el porcentaje de camiones. La mayoría de los programas disponen de modelos de distribución estándar (default) para estimar el total de ejes equivalentes (ESALs).

Cuando un tramo dentro de un proyecto de refuerzo con hormigón, presenta condiciones especiales que generan mucho tránsito, pudiera ser aconsejable ajustar el espesor de diseño para el tramo del proyecto que experimentará tránsito más pesado.

Propiedades de los Materiales

Algunas propiedades del hormigón de la capa de refuerzo deben conocerse o estimarse antes de iniciar el proceso de diseño (ver el Capítulo 5 para una discusión completa sobre los materiales utilizados para las capas de refuerzo con hormigón). Esto permite al proyectista flexibilidad adicional para ajustar los diseños a las opciones de materiales disponibles que pueden utilizarse para reducir costos sin comprometer el comportamiento.

La resistencia del hormigón es una de las variables claves de diseño que a menudo no es bien entendida. El proyectista debe adoptar una resistencia consistente con el supuesto del método de diseño que se esté utilizando. Por ejemplo, todos los métodos AASHTO requieren la resistencia a la flexotracción en el ensayo de los tres puntos a los 28 días, a pesar de lo cual no es extraño que los proyectistas erróneamente, utilicen la resistencia que se indica en las especificaciones de construcción. Puesto que ese valor es menor, puede llevar innecesariamente a una capa de refuerzo de mayor espesor y por consiguiente de mayor costo.

Algunos métodos requieren que se estime el módulo de elasticidad de los materiales. A menudo esto es de importancia secundaria para capas de refuerzos no adheridas y tiene un impacto casi despreciable en términos del espesor. Sin embargo, esta propiedad es mucho más importante en el diseño de capas de refuerzo adheridas.

Dosificándolas adecuadamente, las macro fibras mejoran la resistencia y ductilidad del hormigón, pudiendo reducir el espesor, según algunos procedimientos de diseño de refuerzos adheridos (ver la página 77 y Apéndice C para una discusión completa de hormigones reforzados con fibras).

En algunos procedimientos mecanicistas, se utiliza también el coeficiente de expansión térmica (CTE) del hormigón. El CTE es una medida de la expansión o contracción del material con las variaciones de temperatura; ella altera las tensiones internas de los pavimentos de hormigón, pudiendo generar agrietamientos, salvo que el diseño lo tome en consideración adecuando las dimensiones de las losas.

El coeficiente de expansión térmica puede tener un efecto muy significativo en el comportamiento de refuerzos adheridos. Al diseñar una capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón, es importante especificar que el CTE del agregado de la mezcla de la capa de refuerzo tenga un CTE similar o menor que el

del pavimento de hormigón existente. Ello ayuda a que ambas capas experimenten movimientos térmicos similares y por consiguiente, se reduzcan las tensiones en el plano de adherencia entre las dos capas. En la mayoría de los casos, es suficiente utilizar un agregado grueso para el hormigón de la capa de refuerzo de la misma mineralogía que el utilizado en el hormigón subyacente.

Factores Climáticos

El comportamiento de un sistema de refuerzo depende de factores climáticos, tanto durante la construcción como durante la vida de servicio de la capa de refuerzo. Las capas de refuerzo adheridas relativamente más delgadas son más susceptibles a condiciones ambientales adversas las que pueden afectar las propiedades del hormigón para retener humedad, prevenir el excesivo calentamiento o el congelamiento. Deben elegirse materiales compatibles con las condiciones previstas para el clima y los ciclos de hielo/deshielo. Las juntas y el sistema de transferencia de cargas deben diseñarse para soportar los movimientos de las juntas debido a las variaciones de la temperatura del pavimento por los cambios estacionales. Por ejemplo, podrían resultar apropiadas losas más cortas.

El alabeo también debe considerarse en el diseño. Las dimensiones de las losas y disposición de las juntas deben optimizarse de manera de minimizar las tensiones de alabeo y deformaciones.

Modelo de Deterioro

El avance de los programas de computación y el interés por comprender mejor que ocurre en el pavimento cuando falla, ha llevado a AASHTO y al sector de los pavimentos a desarrollar nuevos métodos, que en el fondo separan el modelo de serviciabilidad en sus componentes individuales. Los diseños de pavimentos evalúan en forma “multimodal” diferentes modos de deterioro que consideran uno o más parámetros. Los modelos de deterioro multimodales presentan una serie de ventajas. Pueden ayudar a pronosticar el mantenimiento potencial y asistir a desarrollar diseños más efectivos y rentables.

Selección del Espesor de Diseño

En la mayoría de los casos, el proyectista puede tener una idea de las alternativas factibles basándose en la recopilación de información preliminar para el proyecto. Sin embargo, al seleccionar la solución definitiva, es importante que prevea las condiciones que presentará el pavimento al momento de iniciar la construcción de la nueva superficie. En muchos casos, la construcción no comenzará antes de 2 o 3 años. Debe anticiparse y considerarse en el diseño alguna degradación de la estructura existente. Teniendo en consideración esta mayor degradación de las condiciones de la superficie, el proyectista puede iniciar el proceso de analizar alternativas

de diseño factibles utilizando los procedimientos recomendados en la Tabla 10.

Existen varios procedimientos de diseño disponibles para determinar el espesor apropiado tanto de la capa de refuerzo con hormigón adherido como no adherido. Para información actualizada relacionada con el diseño de espesores, se puede consultar la *Guide to the Design of Concrete Overlay Using Existing Methodologies* (Torres et al. 2012) publicada por el National Concrete Pavement Technology Center. Este documento proporciona instrucciones para los siguientes procedimientos de diseño:

- *Bonded Concrete Overlay on Asphalt (BCOA) Thickness Designer* (ACPA 2012) (<http://apps.acpa.org/>).
- *Guide for Design of Pavement Structures*, 4th edition (AASHTO 1993) (compatible software at www.acpa.org/WinPAS/).
- *AASHTOWare Pavement ME Design* (AASHTO (no year)) (www.aashtoware.org).

Respaldo de las Metodologías de Diseño

El diseño ya sea de capas de refuerzo con hormigón adherido o no adherido es un proceso que comienza con la caracterización del pavimento existente, para lo que se deben definir las variables críticas, para luego calcular el espesor de la capa de refuerzo requerido. Esta sección presenta una descripción general de las metodologías de diseño más comunes:

- *Bonded Concrete Overlay on Asphalt (BCOA) Thickness Designer* (ACPA 2012) (<http://apps.acpa.org/apps/bcoa.aspx>).
- *BCOA ME* (Vandenbosshe 2013) (www.engineering.pitt.edu/Vandenbosshe/BCOA-ME_DesignGuide).
- *Guide for Design of Pavement Structures*, 4th ed. (AASHTO 1993) (compatible software at www.acpa.org/WinPAS/).
- *Mechanistic-Empirical Design Guide-A Manual of Practice* (AASHTO 2008).
- *StreetPave* (ACPA 2012) (<http://acpa.org/streetpave>).
- *Optipave V2.0*. (TCPavements 2010) (www.tcpavements.com).
- *Flowable Fibrous Concrete for the Thin Pavement Inlays* (Bordelon and Roesler 2011) (ver el Apéndice C).
- Hoja de cálculo del DOT de Illinois para refuerzos incrustados de hormigón adherido/diseño de capas de refuerzo del asfalto (Roesler et al. 2008) (www.dot.state.il.us/desenv/pdp.html).

Adicionalmente, se están realizando esfuerzos para desarrollar una nueva metodología para diseñar capas de refuerzo con hormigón no adherido: Federal Highway Administration Pooled Fund TPF 5-269 *Development of an Improved Design*

Procedure for Unbonded Concrete Overlays (en desarrollo). En www.cptechcenter.org/overlay se pueden encontrar los desarrollos futuros y refinamientos en las metodologías de diseño del espesor de capas de refuerzo con hormigón.

La Tabla 10 entrega un resumen de los métodos de diseño actuales, las variables típicas a considerar y otra información pertinente. Dos de los aspectos más importantes en el diseño de capas de refuerzo con hormigón son: (1) en que forma cada método maneja la adherencia entre el pavimento existente y la capa de refuerzo con hormigón y (2) como supone el método la cooperación del pavimento existente; adicionará capacidad estructural significativa o alternativamente, sólo contribuirá con la calidad de la fundación del pavimento. Con este tipo de información, los proyectistas del pavimento deben ser capaces de tomar una decisión informada sobre que método aplicar al diseñar un determinado tipo de capa de refuerzo con hormigón.

Nota: La Tabla 10 debe utilizarse solamente como una referencia. El diseño del espesor definitivo de la capa de refuerzo debe determinarse basándose en las variables de diseño específicas para el proyecto, utilizando el procedimiento de diseño adecuado

Método ACPA BCOA

La American Concrete Pavement Association (ACPA 1998) desarrolló un procedimiento mecanista para diseñar capas de refuerzo con hormigón, más delgadas (50 a 100 mm, 2 a 4 in.) y de losas más pequeñas, adheridos a pavimentos asfálticos (BCOA), que no pueden calcularse con ninguno de los dos métodos AASHTO descritos antes. El método BCOA es un proceso de diseño iterativo, mediante el cual el proyectista indica tentativamente un espesor de la capa de refuerzo y espaciamiento de las juntas, junto con el tránsito, la resistencia del hormigón (módulo de ruptura), el espesor de la capa de asfalto existente y la rigidez (valor de k) combinada de la subrasante/subbase. El procedimiento determina la cantidad de camiones permisibles mediante iteraciones.

El procedimiento de ACPA calcula el deterioro por fatiga, para las condiciones de carga en la esquina de la losa y limita el daño por fatiga en la cara inferior del pavimento asfáltico existente, en la posición de las juntas transversales (ACPA 1998). También se consideran las tensiones por alabeo térmico en la respuesta crítica del pavimento. Una limitación de este método es que se basa en el modelo de fatigamiento de una viga de la PCA, que arroja estimaciones muy conservadoras. Como resultado, Riley desarrolló en el 2006, un método ACPA modificado que incorpora un nuevo algoritmo probabilístico para la fatiga del hormigón. Este método modificado permite ingresar las propiedades del pavimento asfáltico existente, tener en consideración el tipo y cantidad de fibra estructural y controlar una potencial falla en el plano de adherencia.

Tabla 10. Resumen de los actuales programas computacionales de diseño (desarrollado por Dr. Jeffery R. Roesler, Universidad de Illinois en Urbana-Champaign)

	Tipo de refuerzo	Parámetros Típicos para Diseño y Programas Computacionales							
		Tránsito (Millones de EE)	Espesor Típico de la Losa de Hormigón	Espaciamiento Máximo de las Juntas (m)	Rango de la Condición del Pavimento Existente	Opción de Micro Fibras (en el software)	Barras Traspaso Cargas; Juntas Transversales	*Barras de Amarre en Junta Longitudinal más Importante	Procedimiento de Diseño Recomendado
Refuerzo Adherido	Capa de Refuerzo con Hormigón Adherido al Pavimento Asfáltico	Hasta 15	75–150 mm (3-6 in.)	18 veces el espesor (m)	Regular a bueno	Si	No	No	1, 2, 8
	Capa de Refuerzo con Hormigón Adherido al Pavimento Hormigón	Hasta 15	75–150 mm (3-6 in.)	Deben coincidir con grietas y juntas existentes y cortar juntas intermedias	Regular a bueno	Si	No	No	3, 4, 5
	Capa de Refuerzo con Hormigón Adherido al Pavimento Compuesto	Hasta 15	75–150 mm (3-6 in.)	18 veces el espesor (m)	Regular a bueno	Si	No	No	1, 2, 8
	Capas de Refuerzo Delgadas con Fibras al Pavimento Asfáltico	Hasta 15	50-75 mm (2-3 in.)	1,2- 1,8 m	Regular a bueno	Si	No	No	7
Refuerzo No Adherido	Capa de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento asfáltico	Hasta 100	100-280 mm (4-11 in.)	Losas< 150 mm (6 in.)-use 18 veces el espesor (m) Losas≥150 mm (6 in.)-use 24 veces el espesor (m) Losas>170 mm (7 in.)-use 4,5 m (15 ft)	Deteriorado a regular	Si	Para losas >170 mm (7 in.)	H≥150 mm (6 in.) use normas estándar	3, 4, 5
	Capa de Refuerzo con Hormigón no Adherido al Pavimento Hormigón	Hasta 100	100-280 mm (4-11 in.)	Losas < 127 mm (5 in.)-use losas 1,8 x 1,8 m (6 ft x 6ft) Losas 127-170 mm (5-7 in.) use 24 veces el espesor (m) Losas>170 mm(7 in.)-use 4,5 m (15 ft)	Deteriorado a regular	Si	Para losas >170 mm (7 in.)	H≥150 mm (6 in.) use normas estándar	3, 4, 5
	Capa de Refuerzo con Hormigón no Adherido al Pavimento Compuesto	Hasta 100	100-280 mm (4-11 in.)	Losas < 150 mm (6 in.)-use 18 veces el espesor (m) Losas ≥ 150 mm (6 in.)-use 24 veces el espesor (m) Losas >170 mm(7 in.)-use 4,5 m (15 ft)	Deteriorado a regular	Si	Para losas >170 mm (7 in.)	H≥150 mm (6 in.) use normas estándar	3, 4, 5
	Losas Cortas de Hormigón No Adherido	Hasta 100	>75 mm (>3in.)	1,2 – 2,4 m (4 – 8 ft)	Mala a regular	Si	Para losas >170 mm (7 in.)	Para losas ≥90 mm (3,5 in.) con bermas de hormigón amarradas o para H≥150 mm (6 in.)-use normas estándar	6

*Ver directrices adicionales relacionadas con las barras de amarre para las bermas y ensanches, que comienza en la página 71

Procedimiento de diseño recomendado (ver páginas previas para referencias)

1. *Bonded Concrete Pavement on Asphalt (BCOA) Thickness Designer* (ACPA 2012)
2. *BCOA ME* (Vandenbossche 2013)
3. *Guide for Design of Pavement Structures*. 4th ed. (AASHTO 1993)
4. *Mechanistic - Empirical Design Guide – A Manual of Practice* (no year)
5. *StreetPave* (ACPA 2012)
6. *Optipave V2.0*. (TCPavements 2010)
7. *Flowable Fibrous Concrete for Thin Pavement Inlays* (Bordelon and Roesler 2011) (see Appendix C)
8. Illinois DOT's spreadsheet for bonded concrete inlay/overlay of asphalt design (Roesler et al. 2008)

En Enero de 2011, la ACPA lanzó una aplicación WEB para el diseño de espesores, denominada, *Bonded Concrete Overlay on Asphalt (BCOA) Thickness Design*, (i.e., ACPA, BCOA) que incorpora el trabajo de Riley (2006). El método ACPA BCOA es válido para losas de espesores entre 75 y 150 mm (3 a 6 in.) y losas de dimensiones máximas de 1,8 m (6 ft). Típicamente se utilizan menores espaciamientos de juntas (tanto transversales como longitudinales) en refuerzos adheridos de pavimentos asfálticos, tales como 1,2 m (4 ft) por 1,2 m (4 ft) o 1,8 (6 ft) por 1,8 m (6 ft) en pistas de 3,6 m (12 ft) de ancho. Se debe tener en consideración que la aplicación web de la ACPA BCOA no permite diseñar fuera de estos rangos y advierte con señales de alertas para indicar que el diseño por reiteración debe modificarse o que la capa de refuerzo adherido al asfalto puede no ser la solución apropiada. Es más, cuando los diseños BCOA se aproximan a los 150 mm (6 in.) de espesor y 1,8 (6 ft) de ancho, debe considerarse el procedimiento BCOA-ME, que se describe más abajo.

La actualización del 2012 mejora la incorporación de fibras de refuerzo a los diseños ACPA BCOA, basándose en el trabajo de Bordelon y Roesler (2012), que utiliza la razón de resistencia residual del hormigón reforzado con fibras, medida de acuerdo con ASTM C 1609-10. En 2012, la herramienta de diseño ACPA BCOA fue también actualizada de manera que permitiera realizar diseños estructurales para cualquier zona climática de los Estados Unidos, al incluir gradientes térmicos específicos de aproximadamente 200 ciudades (Vandenbosshe et al. 2012).

Las variables que requiere el diseño ACPA BCOA son las siguientes:

- Ejes equivalente (EE).
- Porcentaje permitido de losas agrietadas.
- Confiabilidad.
- Lugar de la obra (para determinar específicamente el gradiente térmico efectivo del lugar).
- Pavimento asfáltico existente.
 - Espesor y módulo del asfalto remanente.
- Valor del k combinado subrasante/subbase.
- Refuerzo de hormigón.
 - Resistencia, módulo, razón de la resistencia residual del hormigón con fibras y el coeficiente de expansión térmica.
- Dimensiones de las losas y preparación previa de la superficie que se propone.

La implementación reciente del gradiente térmico efectivo para cada ciudad se determinó como el gradiente de temperatura negativa equivalente que genera el mismo daño acumulado que la distribución completa de los diferenciales térmicos para ese lugar en particular y considerando las otras condiciones de ese pavimento (espesor de las losas,

longitud de las losas, espesor del asfalto y resistencia del hormigón). En todos estos lugares, este gradiente térmico efectivo se da el 100 por ciento del tiempo y genera el mismo daño por fatiga que la distribución completa de los diferenciales térmicos.

Método BCOA-ME

En el año 2013 la Universidad de Pittsburg desarrolló un nuevo procedimiento de diseño auspiciado por la FHWA Pooled Fund Study TPF-5 (165) (Vandenbosshe 2013), denominado *BCOA-ME*. Puesto que un número substancial de capas de refuerzo adheridas ha estado en servicio por un largo periodo de tiempo, existía la oportunidad de re-evaluar los modos de falla de estas capas de refuerzo. Esto es crítico porque los procedimientos originales que se han utilizado tradicionalmente para diseñar las capas de refuerzos adheridas de hormigón se basaron en la cantidad limitada de información disponible al momento en que fueron desarrollados. La revisión del comportamiento reveló que el modo de falla está dictado primeramente por la dimensión de la losa y no por el espesor de la capa refuerzo, como previamente se había supuesto.

El procedimiento *BCOA-ME* incorpora el modelo de predicción del comportamiento del ACPA BCOA que predice las grietas de esquina de losas de máximo 1,35 m (4,5 ft) por 1,35 m (4,5 ft), el modelo de predicción de comportamiento de Colorado DOT, que predice el agrietamiento transversal de losas de 3,6 m (12 ft) de ancho (Sheehan et al. 2004) y un modelo de predicción del comportamiento, recientemente desarrollado, que predice el agrietamiento longitudinal de losas de 1,8 (6 ft) por 1,8 m (6ft). Debe señalarse que a veces, se desarrollan grietas diagonales en losas de 1,8 m (6 ft) por 1,8 m (6ft), pero éstas se inician en la intersección de la huella vehicular con la junta transversal, de la misma forma como se desarrolla una grieta longitudinal. En vez de propagarse hacia la junta transversal adyacente, como ocurre con una grieta longitudinal, viran hacia la junta entre la pista y la berma, formando una grieta diagonal. Por lo tanto, las tensiones que inician tanto las grietas longitudinales como las diagonales, son las mismas.

El procedimiento de diseño también controla, basado en el trabajo de Vandenbosshe y Barman (2010), la potencial tendencia a que se desarrollen grietas reflejadas. Este control no afecta el espesor de la capa de refuerzo, solamente señala si antes de colocar la capa de refuerzo, se deben tomar medidas para prevenir la reflexión de grietas.

Las seis mejoras más importantes a las metodologías actuales provistas por el BCOA-ME comprenden lo siguiente:

1. Los modelos de fallas predominantes se redefinen en función de las dimensiones de las losas y al contrario de otros procedimientos, todas las formas se manejan dentro del propio procedimiento.

2. Se consideran las variaciones en la rigidez del asfalto debido a los cambios de temperatura.
3. El gradiente equivalente de temperatura se define por las condiciones locales.
4. El modelo de predicción fue calibrado con información real.
5. Los efectos de las fibras en el comportamiento del refuerzo están mejor cuantificados.
6. Se consideran los efectos de un desprendimiento entre las capas.

El procedimiento *BCOA-ME* entrega el espesor de la capa de refuerzo ingresando a la hoja de cálculo la siguiente información:

- Tránsito.
- Lugar del diseño (de la obra).
 - Longitud, latitud y elevación.
 - Zona climática.
- Pavimentos de concreto asfáltico en caliente, existentes.
 - Espesor del asfalto remanente.
 - Porcentaje aproximado de grietas por fatiga.
 - Grietas térmicas (si/no).
- Valor del k combinado subrasante / subbase.
- Resistencia, módulo elástico, razón de la resistencia residual del hormigón con fibras y coeficiente de expansión térmica del hormigón del refuerzo.
- Dimensiones propuestas para las losas.

Los mejoramientos del (1) al (4) han sido incorporados a la actual versión del procedimiento (Versión Beta 1.3) y está disponible en www.engineering.pitt.edu/Vandenbosshe/BCOA-ME/. El procedimiento de diseño concluirá cuando se incorporen los mejoramientos 5 y 6; estará disponible en la misma página web.

Guía de Diseño Método AASHTO 1993

El método, que se encuentra en la 1993 AASHTO Guide, se basa en un modelo matemático derivado de información empírica recolectada durante la American Association of State Highway Officials (AASHTO) Road Test, llevado a cabo a fines de la década de 1950. Aun cuando no se evaluaron tramos reforzados durante la AASHTO Road Test, la experiencia ha demostrado que; usado correctamente, este procedimiento proporciona diseños, tanto para hormigón adherido como no adherido, adecuados pero conservadores. El programa computacional de AASHTO para implementar la 1993 AASHTO Design Guide se llama DARWin. Adicionalmente, numerosas agencias y DOT estatales, han desarrollado sus propios programas y hojas de cálculo para aplicar este procedimiento. La ACPA desarrolló el software WinPAS, el cual implemente el procedimiento.

La 1993 AASHTO Guide utiliza los conceptos de deficiencia estructural y capacidad estructural efectiva, para evaluar y caracterizar el pavimento existente por ser reforzado.

La capacidad estructural (CE) de un pavimento decae con el tránsito y el tiempo. En este procedimiento, la CE se expresa en términos del número estructural efectivo en el caso de pavimentos asfálticos (NE_e) y del espesor efectivo en el caso de pavimentos de hormigón (H_e). La Figura 47, que es una adaptación de la Figura 5.1 en la Parte III de la 1993 AASHTO Design Guide, ilustra estos conceptos. La Figura muestra como la capacidad estructural de un refuerzo (CE_{ref}) restaura la capacidad estructural del pavimento existente (CE_e), hasta que ésta alcanza los requerimientos para soportar el tránsito previsto (CE_{fut}).

Para diseñar capas de refuerzo de hormigón, la 1993 AASHTO Design Guide presenta tres métodos de evaluación para determinar la capacidad estructural efectiva del pavimento existente (CE_e): prospección visual y ensayos (prospección de las condiciones), ensayos no destructivos de deflexiones y daños por fatigas originados por el tránsito (Vida Remanente). El proyectista debe seleccionar, basado en los recursos disponibles, el método más factible, teniendo en consideración que los tres llevan a estimaciones diferentes.

Aun cuando el método de la Vida Remanente se utiliza a menudo, es importante hacer notar que la 1993 AASHTO Design Guide señala deficiencias importantes asociadas a este método y establece que es mayormente aplicable cuando el pavimento existente presenta muy poco deterioro. La 1993 AASHTO Design Guide explica que el método de la Vida Remanente, se basa en las ecuaciones del AASHO Road Test, por lo que el tránsito que se estima ha pasado (en EE) que puede ser subjetivo y/o incierto. Adicionalmente, este método no tiene en consideración las reparaciones previas. Por estas razones, el proyectista debe utilizar el método de la Prospección de las Condiciones o el Ensayo No Destructivo de Deflexiones, cuando la capacidad estructural estimada por el método de la Vida Remanente arroje estimaciones inconsistentes con lo que se puede observar de las condiciones del pavimento existente.

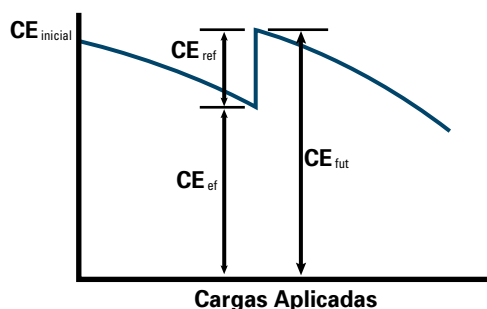


Figura 47. Ilustración de la pérdida de capacidad estructural con el tiempo y el tránsito

Método Guía de Diseño Empírico-Mecanicista de AASHTO

El método de la Guía de Diseño Empírico-Mecanicista de AASHTO fue desarrollado como parte del proyecto NCHRP I-37A, El desarrollo de la 2002 Guide for the Design of New and Rehabilitated Pavements Structures: Fase II (Transportation Research Board 2004) y la guía original y software que lo acompaña, se denominan Guía de Diseño Empírico-Mecanicista de AASHTO (*Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*) (M-E PDG). El procedimiento se implementa con el software de AASHTO llamado *AASHTO Ware Pavement ME Design* (AASHTO (sin año)) disponibles en www.aash-toware.org.

El procedimiento AASHTO M-E PDG aborda el diseño combinando conceptos mecanicistas con información de comportamientos reales, de manera que el proyectista puede con confianza, predecir el comportamiento de sistemas de pavimentos no considerados en la calibración original. Este método adopta un diseño de pavimentos integrado que permite determinar el espesor de la capa de refuerzo basándose en la interacción entre la geometría del pavimento (dimensión de las losas, tipo de bermas, transferencia de cargas, armadura de refuerzo), los factores climáticos locales y las propiedades del hormigón y de las capas de soporte. El procedimiento se encuentra actualmente en evaluación e implementación por los DOT de varios estados.

El Capítulo 7 de la Parte 3 del M-E PDG (NCHRP 2004), Diseño de la Rehabilitación de Pavimentos de Hormigón Existentes, contiene información relacionada con el diseño de capas de refuerzo con hormigón adherido y no adherido. Este procedimiento es un proceso de diseño iterativo que involucra analizar un diseño tentativo, no sólo en términos de espesor, sino que también de otros factores de diseño, tales como el dimensionamiento de las juntas, la transferencia de cargas, las armaduras de refuerzo (si es aplicable) y las propiedades de los materiales del hormigón. La siguiente lista resume las variables por ingresar en el procedimiento AASHTO M-E PDG (NCHRP 2004):

- Tipo de rehabilitación.
- Vida de diseño.
- Criterios de falla del pavimento (agrietamiento, escalonamiento, IRI).
- Confiabilidad.
- Clima local.
- Sección transversal del pavimento y propiedades de las capas.
- Características de diseño del pavimento.
 - Geometría de las losas.
 - Tipo de juntas y bermas.
 - Propiedades del hormigón (resistencia,

dosificación, coeficiente de expansión térmica, etc.).

- Drenaje y propiedades de la superficie.

Están disponibles tres niveles de diseño del pavimento, dependiendo de la calidad de la información que se ingrese. El Nivel 1 corresponde cuando se dispone del tránsito específico para el proyecto y ciertas propiedades de los materiales que conforman el pavimento han sido determinadas. Se utiliza el Nivel 2 cuando la información disponible hace necesaria correlaciones con ensayos estándar para completar el diseño. En el Nivel 3 se adoptan valores por defecto de las variables de diseño. Este documento recomienda con énfasis los Niveles 2 y 3 como punto de partida para utilizar el procedimiento AASHTO M-E PDG.

El método AASHTO M-E PDG predice el comportamiento de indicadores, tales como el IRI, el agrietamiento transversal y el escalonamiento medio, en el transcurso de la vida de diseño de capas de refuerzo con hormigón con juntas y sin armadura (JPCP). Para capas de refuerzo con hormigón continuamente reforzadas, el procedimiento predice el espaciamiento medio del agrietamiento así como el ancho de las grietas, el IRI y el número de reventones en el transcurso de la vida de diseño. Para predecir los diferentes deterioros, el método AASHTO M-E PDG calcula el deterioro incremental durante la vida del pavimento, empleando funciones diferentes para cada daño específico, las que están relacionadas por la correspondiente máxima respuesta del pavimento (deflexiones o tensiones de tracción).

Método ACPA StreetPave

En el año 2012, ACPA lanzó una nueva versión del StreetPave que incluye el diseño de capas de refuerzos adheridas y no adheridas a pavimentos existentes de hormigón, asfalto y compuestos. Este software utiliza nuevos análisis de ingeniería para generar diseños optimizados para vías urbanas, municipales, de los condados y estatales. El StreetPave 12 puede utilizarse para estimar la vida de servicio y/o criterio de falla, de pavimentos y capas de refuerzo de hormigón existentes.

El StreetPaver 12 también ofrece un procedimiento para diseñar secciones de asfalto (basado en el método del Instituto del Asfalto) y crear un diseño equivalente al del asfalto en cuanto a requerimientos de capacidad de soporte de las cargas. El módulo "Análisis del Costo del Ciclo de Vida" permite realizar un análisis detallado del beneficio/costo y tomar decisiones informadas para un proyecto de diseño de pavimentos. Con una sola herramienta, se pueden diseñar secciones equivalentes en asfalto y hormigón y evaluar la mejor solución(es) posible para las necesidades de su pavimento.

Las capas de refuerzo con hormigón de pavimentos de asfalto o compuestos se diseñan utilizando las mismas ecuaciones del método ACPA BCOA. Todos los otros métodos de diseño

de refuerzos con hormigón en el StreetPaver utilizan las mismas ecuaciones para refuerzos que en método de la 1993 AASHTO Design Guide.

Se incluyen las mismas ecuaciones y factores para determinar el Hef para el pavimento de hormigón existente y las mismas ecuaciones para determinar el espesor del refuerzo (e.g. $H_{req} = H_{fut} - H_{ef}$, para refuerzos con hormigón adherido de pavimentos de hormigón). Los únicos factores que diferencian el diseño de refuerzos al StreetPave de la 1993 AASHTO Guide, es que el espesor total (H_{fut}) se calcula con las ecuaciones básicas del StreetPave, utilizando el escalonamiento y el agrietamiento como criterios de falla. El StreetPave permite también utilizar fibras en cualquier diseño.

Losas con Geometría Optimizada y Diseño con el Software Optipave2™

Se ha desarrollado una nueva metodología, llamada TCP (thin concrete pavements) o losas cortas de hormigón con juntas, en la que se diseña el espesor de la losa optimizando sus dimensiones, ajustándolas a la geometría de los ejes de los camiones (Covarrubias y Covarrubias 2008). El principio clave de este método de diseño consiste en seleccionar las dimensiones de la losa de manera que no más de un juego de ruedas esté en un determinado momento sobre una losa cualquiera; esto minimiza las tensiones críticas de tracción en la cara superior. En la Universidad de Illinois se construyeron secciones a escala natural, que se ensayaron bajo condiciones aceleradas de cargas, losas de 90 mm (3,5 in.) y 200 mm (8 in.) de espesor, tanto sobre una base de agregado como una base asfáltica (Cervantes and Roesler 2009; Roesler et al. 2013). Los resultados del comportamiento de estos ensayos a escala natural se utilizaron para desarrollar un software empírico-mecanicista denominado *OptiPave2*™ (Covarrubias et al. 2010; Covarrubias 2011). El software *Optipave2*™ fue específicamente desarrollado para diseñar pavimentos de hormigón con juntas de losas cortas, para cualquier combinación de climas, tránsitos, capas de subrasantes/subbases y materiales, incluyendo la adición de macro fibras.

Los diseños de pavimentos delgados de hormigón incluyen pavimento de hormigón no adheridos sobre bases granulares o estabilizadas. Las dimensiones típicas de las losas de los pavimentos TCP están entre 1,35 m (4,5 ft) y 2,4 m (8 ft) de largo por 1,8 m (6 ft) de ancho, con espesores entre 60 mm (2,4 in.) a 250 mm (10 in), dependiendo del tránsito, el clima y las condiciones del suelo. El software de diseño *OptiPave2*™ predice el nivel de agrietamiento, el escalonamiento y el IRI. En la actualidad el *OptiPave2*™ es el único software de diseño de pavimentos capaz de optimizar los requerimientos de espesor de losas de menos de 3 m (10 ft). Desde el año 2006, en Latino América se han construido múltiples proyectos, en Chile, Perú y Guatemala. La licencia del software *OptiPave2*™ se encuentra disponible en Norte América de

FAQ - ¿Cómo se maneja el espesor de una capa asfáltica en un pavimento compuesto?

En este diseño, se utiliza el mismo modelo de falla, pero se supone que la capa de asfalto tiene un espesor máximo permitido de 150 mm (6 in), que corresponde al límite que acepta el modelo actual. El modelo utiliza las propiedades elásticas del asfalto.

PNA Construction Technologies, Inc. (www.pna-inc.com, número de teléfono 800-542-0214)

Consideraciones para el Diseño de Sistemas de Capas Refuerzo Adheridas

En las capas de refuerzo con hormigón adherido, la adherencia entre la capa de refuerzo y el pavimento subyacente ayuda a transferir los esfuerzos de corte horizontales. Estos esfuerzos de corte horizontales transmiten los esfuerzos a las capas subyacentes, con lo que disminuyen las tensiones de tracción en la capa de refuerzo adherida. Son necesarias algunas consideraciones algo diferentes dependiendo si la capa de refuerzo es adherida a un hormigón existente o a un asfalto existente. Sin embargo, todos los sistemas de hormigón adherido dependen de la integridad del pavimento subyacente.

Capas de Refuerzo Adheridas a Pavimentos Asfálticos y Compuestos

La única consideración para diseñar capas de refuerzo adheridas sobre pavimentos asfálticos o compuestos es el espaciamiento de las juntas para mitigar el alabeo en la capa de refuerzo. El procedimiento original de diseño de ACPA de 1998 para este tipo de capas de refuerzo se basaba en un solo modo de falla; las grietas de esquina. El procedimiento revisado, ACPA 2004, incorpora métodos probabilísticos a los modelos de fatiga del hormigón, pero el procedimiento para este tipo de refuerzos continúa estando basado en grietas de esquina como modo de falla.

El modelo de grietas de esquina como modo de falla ha dado buenos resultados. Sin embargo, en años recientes se ha constatado que los dos más usuales precursores de fallas de refuerzos adheridos a pavimentos asfálticos o compuestos son: el desprendimiento de capas de asfalto, a raíz de fallas en el plano de adherencia y fallas en la capa asfáltica subyacente. Por lo tanto, la última revisión del procedimiento de diseño para este tipo de refuerzo, lo aborda como una “adherencia débil” y luego aplica técnicas probabilísticas a los tres modos de falla.

Primero, se ingresan al modelo los valores de los parámetros de diseño. Entonces, calcula las tensiones por medio del modelo de tensiones en las esquinas. A partir de esa información, calcula en la ubicación del eje neutro del sistema compuesto, las deformaciones en la cara superior e inferior de la capa de asfalto, además de las tensiones generadas en el plano de adherencia.

Luego compara las tensiones en las esquinas con las del modelo de fatigas del hormigón de ACPA 2004. Las deformaciones en el asfalto se comparan con las del modelo de fatigas del Instituto del Asfalto. Las tensiones en el plano de adherencia se evalúan utilizando un modelo de esfuerzos cortantes basado en información obtenida en Iowa, Florida y Colorado. Las tensiones y deformaciones calculadas con cada modo de falla, se comparan llevando a la falla el modelo probabilístico de cada modo, de manera de determinar cuál es el factor que presenta la mayor probabilidad de fallar o cuál es la unión más débil.

La conclusión final es que, entender la interacción entre las tensiones en el plano de adherencia y las tensiones que causan las grietas de esquina, ayuda al proyectista a optimizar el espaciamiento de las juntas y varios otros factores del diseño de refuerzos adheridos a pavimentos asfálticos.

Adicionalmente, a la adaptación probabilística al procedimiento mecanicista, se incluyeron nuevos avances relacionados con los materiales, en particular la inclusión de fibras. El efecto de las fibras en el modelo se basa en su habilidad para mejorar la resistencia a la fatiga del hormigón. El procedimiento de diseño con fibras se encuentra abierto, de manera que a medida que se desarrollen nuevas fibras y se establezcan sus propiedades, ellas puedan incorporarse al procedimiento.

Probablemente uno de los aspectos más desafiantes en el diseño de capas de refuerzo adheridas a pavimentos asfálticos o compuestos, es lo que se refiere a la plataforma donde se apoya. En los diseños de este tipo, el clásico valor de k descrito antes, se localiza en la cara inferior de la capa asfáltica más que en la cara inferior de la capa de hormigón.

La forma en que se disponen las juntas en el terreno es una característica distintiva de los refuerzos adheridos delgados de pavimentos asfálticos. El espaciamiento de las juntas transversales y longitudinales es siempre de 1,8 m (6 ft) o menos, según se determine en el análisis del diseño. Es importante en este tipo de refuerzo cortar las juntas tan pronto como sea posible, de manera de minimizar la posibilidad que las tensiones de alabeo que se desarrollan, provoquen desprendimiento de capas del asfalto en los bordes del pavimento. A menudo se utilizan sierras para ingreso temprano.

Existen numerosos ejemplos de refuerzos adheridos de pavimentos asfálticos y compuestos que se están aproximando a los 20 años de servicio. Cuando se diseñan y construyen apropiadamente, estos refuerzos con hormigón se pueden comportar satisfactoriamente para cualquier vida de diseño deseada.

Capas de Refuerzo Adheridas a Pavimentos de Hormigón

El procedimiento de la AASHTO Design Guide (1993, 1998) para capas de refuerzo adheridas a pavimentos de hormigón aborda el diseño como una “deficiencia de diseño” o por “la vida remanente”. El modo de falla comúnmente utilizado es la serviciabilidad; ello en gran medida al hecho a que actualmente la mayoría de los ingenieros de pavimentos se sienten confortables con este concepto. En estos casos, los pavimentos existentes no han fallado. Sin embargo, se supone que parte de la vida del pavimento se ha consumido ya sea por fatiga o serviciabilidad, dependiendo del procedimiento de diseño que se vaya a utilizar.

Primero, por los métodos de diseño estándar (ver metodologías existentes) se determina el espesor que requiere un pavimento nuevo en función del tránsito previsto, los materiales por utilizar y los otros parámetros que típicamente se incluyen para diseñar pavimentos nuevos. Una vez determinado el espesor total requerido, se estima el espesor equivalente del pavimento existente, en función de la vida consumida. Este espesor corresponde al requerido para que el tránsito lo lleve a fallar completamente, según el concepto de falla total de AASHTO. En la AASHTO Design Guide (1993, 1998) y terminología previa, esto es simplemente el cambio de serviciabilidad que corresponde a la “vida remanente”.

También se hacen ajustes menores adicionales en función con las condiciones observadas del pavimento existente, pero éstas son más bien subjetivas. Después de los ajustes, el valor resultante representa el espesor efectivo del pavimento que aún se encuentra disponible para ser consumido “más adelante” o para utilizar, en conjunto con la nueva capa de refuerzo, como parte del sistema del nuevo pavimento. La diferencia entre el espesor del pavimento nuevo y esta sección efectiva es la “carencia en el diseño” o el espesor requerido por la nueva sección por adherir al pavimento existente. Para más información, ver AASHTO Design Guide (1993, 1998).

El desarrollo de la adherencia entre las dos capas es crítico para el comportamiento de este tipo de capas de refuerzo. Los procedimientos de diseño existentes no asignan un valor específico a la adherencia, tratándola básicamente como un asunto a considerar durante la construcción. Si el pavimento existente se limpia, el refuerzo se construye correctamente y se utilizan métodos de curado adecuados, normalmente lograr adherencia no es un problema. Sin embargo, las variaciones entre la temperatura de día y de noche pueden, en ciertas ocasiones, gatillar fallas por desprendimiento laminar. El pavimento debe protegerse cuando se prevén diferenciales de temperatura mayores que 17 °C (30° F), entre el momento del fraguado del hormigón y las 12 a 18 horas siguientes.

FAQ - ¿Qué es serviciabilidad?

La serviciabilidad o razón de serviciabilidad presente (PSR) se desarrolló durante la prueba AASHTO Road Test. La PSR se define como “el juicio que un observador común tiene sobre la habilidad que presenta un pavimento para servir al tránsito que le corresponde” (AASHTO 1962). La escala del PSR va desde 0 (muy malo) a 5 (muy bueno).

Es especialmente crítico durante los primeros días lograr mantener la adherencia, pues es el periodo durante el cual el refuerzo se encuentra susceptible a los esfuerzos de alabeo, especialmente en los bordes del pavimento. Por lo tanto, la adherencia debe asegurarse mediante prácticas completas de curado, especialmente en los bordes del pavimento, minimizando los diferenciales de humedad relativa y de temperatura entre las dos capas e impidiendo a tempranas edades, que el tránsito se acerque a los bordes antes que las fuerzas de adherencia se hayan desarrollado (normalmente cuando ha alcanzado la resistencia adecuada para ser abierto al tránsito).

Las juntas deben diseñarse de manera que coincidan con las del pavimento existente. Las juntas transversales deben cortarse en toda la profundidad del refuerzo más 13 mm (0,5 in.) y deben ser tan anchas o más, que la grieta del pavimento subyacente; ver la Figura 48. Se debe tener en consideración que este ancho es diferente del ancho de la caja que tiene la junta existente. Las juntas longitudinales deben cortarse al menos hasta H/2.

También es posible diseñar capas de refuerzo de pavimentos de hormigón continuamente reforzados. Sin embargo, en el caso de estos pavimentos no es necesario hacer coincidir las juntas transversales puesto que no existen, con la excepción de las juntas terminales y las de reparaciones en todo el espesor.

En las capas de refuerzos adheridas a pavimentos de hormigón, normalmente no se consideran armaduras de refuerzos, ni barras de traspaso de cargas, a menos que, la capa de refuerzo sea de un espesor superior al usual, las nuevas bermas sean amarradas o se deseé readecuar la transferencia de cargas.

Se puede razonablemente esperar que los refuerzos adheridos bien construidos, proporcionen una vida de servicio mínima de 15 años, antes de requerir mantenimiento. La primera indicación de problemas en estos refuerzos, es usualmente, la desprendimiento

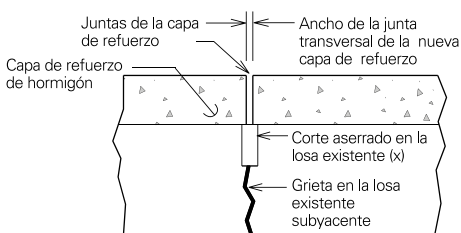
laminar temprano en el plano de adherencia, rápidamente seguida por las clásicas fallas por fatiga en juntas aisladas. Esas pueden repararse por medio de la técnica de reparación de espesor parcial, siempre que la losa subyacente se encuentre en buenas condiciones.

Consideraciones para el Diseño de Sistemas de Capas de Refuerzo No Adheridas

Normalmente los diseños de capas de refuerzo no adheridas no consideran la adherencia, aun cuando de hecho siempre se da alguna adherencia, que es beneficiosa. Esencialmente se diseñan como un pavimento de hormigón nuevo, donde el pavimento que está siendo reforzado actúa como una base. La adaptación de los procedimientos de diseño existente es relativamente sencilla y la construcción relativamente fácil. Los refuerzos no adheridos normalmente se diseñan para servir entre 20 y 30 años.

La selección del coeficiente de transferencia de cargas en el procedimiento AASHTO, debe realizarse teniendo en consideración tanto las características de la capa subyacente, como el sistema de transferencia de cargas previsto para el refuerzo. Debe considerarse que la estructura subyacente proporciona una transferencia de cargas adicional, lo que no es necesariamente cierto en pavimentos de hormigón nuevos. El proyectista no debe arbitrariamente elegir un valor “conservador”, ya esa que no es la intención del procedimiento de diseño. El software *WinPAS* de la ACPA (basado en la AASHTO Design Guide 1993), incluye una sección completa de cómo utilizar en los diseños estos tipos de sistemas.

Durante la construcción debe cuidarse que la profundidad de aserrado del refuerzo no adherido



Nota: El ancho de la junta del refuerzo debe ser igual o mayor que el de la grieta en la losa existente

Si “x” es de 13 mm (0,5 in.) o más, debe medirse el ancho de la grieta en la losa existente. Si la grieta es de 6,4 mm (0,25 in.) o más y el pavimento existente no tiene barras de traspaso de cargas, deben evaluarse las juntas para determinar si se requiere rehabilitar el traspaso de cargas para eliminar el escalonamiento. Si existen numerosas juntas de este tipo, puede que el pavimento existente no sea un buen candidato para un refuerzo adherido.

Figura 48. El ancho de la junta aserrada de la capa de refuerzo debe ser mayor que el ancho de la grieta del pavimento existente

FAQ- ¿Qué pasa si una capa de refuerzo no adherida se adhiere a la capa separadora?

Cuando se utiliza una capa separadora de asfalto como parte del diseño de una capa de refuerzo no adherido, cierta adherencia beneficiosa puede ocurrir. Aun cuando no se considera como una variable en el diseño del espesor, esta adherencia benéfica aumenta efectivamente la capacidad para soportar cargas del sistema de refuerzo no adherido. Esta es una de las razones porque los métodos de desintegración o de trozar y asentar el pavimento no se recomiendan como actividades previas al refuerzo. Al dejar el pavimento existente intacto se preserva su integridad estructural y se maximiza la inversión realizada en el pavimento original.

sea la adecuada, en especial cuando el espesor del refuerzo varía, como es el caso de secciones transversales variables, transiciones, etc.

Capas de Refuerzo No Adheridas a Pavimentos de Hormigón

En muchos casos, un pavimento existente de hormigón, aun cuando se encuentre en malas condiciones, puede servir rentablemente como una base para un refuerzo nuevo.

Aptitud de un Pavimento Existente para Servir como Base

Un pavimento es apto para servir como base de una capa de refuerzo no adherida si cumple los requisitos de una base durante la vida de diseño deseada. El pavimento existente debe encontrarse estable y uniforme; ello es, no experimentar movimientos diferenciales significativos y no deben existir áreas importantes que carezcan del soporte estructural adecuado.

Cuando la totalidad de un pavimento de hormigón comienza a agrietarse, es una buena indicación que existen serios problemas en la subrasante / subbase, que deben evaluarse antes de considerar otras soluciones. Si la subrasante se encuentra inestable, puede que sea el momento para reemplazar el pavimento y corregir la subrasante / subbase.

Áreas aisladas con deterioros en todo el espesor no son un problema, siempre que puedan ser económicamente reparadas antes de colocar el refuerzo. Por otra parte, deben evaluarse cuidadosamente las áreas que presenten deterioro relacionado con los materiales (MRD), ya que éste origina movimientos por expansión y/o contracción del pavimento existente.

Los movimientos relacionados con el deterioro tipo MRD se limitan básicamente a las juntas (por ej. agrietamiento por durabilidad) de manera que si se puede justificar la reparación en todo el espesor, desde el punto de vista

FAQ - ¿Por qué es mejor utilizar hormigón como el material para hacer correcciones en la rasante?

Hay muchas razones para utilizar un espesor nominal de asfalto como capa separadora y realizar las correcciones de la rasante con hormigón.

- El costo por volumen de ambos materiales, es muy similar.
- Cuando se utiliza el metro cúbico como medida de pago para la colocación del hormigón, el riesgo de pérdidas de la producción es nula, en consecuencia, la agencia paga sólo por la cantidad real de material utilizado.
- Es muy difícil colocar capas de asfalto de espesores variables ajustándolas a la rasante debido a que experimentan falta de uniformidad en la compactación; cuando la nivelación se aborda por este sistema, perdurarán variaciones significativas de espesores.
- Siendo los costos prácticamente iguales, un aumento en el espesor del hormigón adicionará significativamente más vida que una capa separadora asfáltica de mayor espesor.
- Cuando en el refuerzo se utilizan canastos para las barras de transferencia de cargas, se ha comprobado que resulta difícil anclarlos firmemente a una capa asfáltica de espesor variable.

de los costos, el pavimento aún puede ser un buen candidato para una capa de refuerzo con hormigón no adherida. Pavimentos reparados estructuralmente en todo el espesor y/o reparadas las juntas, han tenido comportamientos record como bases efectivas de capas de refuerzo de hormigón no adheridas. Algunas agencias han tenido éxito aun resellando las juntas deterioradas con materiales estables tales como mortero fluido.

Cuando la totalidad del pavimento se encuentra deteriorado severamente debido a movimientos, es probable que haya llegado el momento de reconstruirlo completamente. Es una buena opción, siempre que la subrasante existente sea adecuada y el pavimento se recicle en el mismo lugar para utilizarlo como subbase no estabilizada (granular) para el nuevo pavimento (ver el Apéndice B para un análisis de las opciones de reciclado).

Capa Separadora

Todas las capas de refuerzo con hormigón no adherido de pavimentos de hormigón deben separarse mediante una capa que alivie tensiones o capa separadora, que previene la reflexión de grietas generadas por movimientos del pavimento existente. La capa separadora tiene múltiples propósitos:

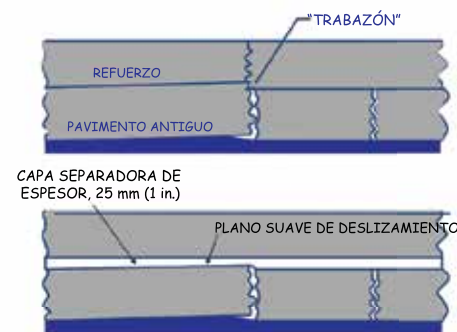
- Proporciona un plano de corte que alivia las tensiones y ayuda a prevenir que las grietas del pavimento existente se reflejen hacia la nueva capa.
- Puede impedir la adherencia entre el pavimento nuevo y el existente, de manera que ambos se muevan en forma independiente.
- Debe existir drenaje que canalice el agua infiltrada en la sección hacia los bordes de donde debe evacuarse.
- Es una zona de contacto que actúa como un colchón que impide que el refuerzo se trabe en el escalonamiento existente en las juntas.

El diseño debe considerar la importancia relativa de cada uno de estos requerimientos basándose en las condiciones específicas del proyecto y el estado del pavimento existente.

A lo largo de los años, se han utilizado con éxito muchos métodos para aliviar las tensiones. Lo más común para aliviar tensiones es una capa delgada de material asfáltico. El espesor no es crítico, pero normalmente 25 mm (1 in.) es adecuado para eliminar potenciales problemas de "trabazón" con losas con escalonamiento (ver la Figura 49), reparaciones localizadas, etc. Texas, en ciertas ocasiones ha aumentado el espesor de la capa separadora a más de 25 mm (1 in.), cuando ha construido capas de refuerzo continuamente reforzadas no adheridas, tanto de pavimentos continuamente reforzados con juntas y sin armaduras (JPCP).

Es importante que la capa asfáltica separadora no se utilice para nivelar. Todas las correcciones de la rasante, incluyendo nivelaciones, deben realizarse con el propio hormigón del refuerzo.

El geotextil debe extenderse hasta sobresalir fuera de los bordes de las bermas o conectarse a un dren longitudinal que proporcione un drenaje efectivo. Los traslapes deben ser como mínimo de 200 mm (8 in.) y el geotextil debe anclarse firmemente mediante clavos y arandelas



una capa de refuerzo de hormigón trabada con el pavimento antiguo (trabazón) y el esquema inferior, muestra la capa que separa el refuerzo del pavimento existente

(golillas) cada 1,8 m (6 ft) en cada dirección. Debe evaluarse cuidadosamente la condición estructural del pavimento de hormigón existente antes de elegir un geotextil en reemplazo de una capa separadora de asfalto.

Se ha documentado un caso en que era posible escuchar el sonido que producían las losas al entrechocarse. El proyecto consistió de un refuerzo no adherido de 100 mm (4 in.) de espesor apoyado sobre un geotextil relativamente grueso (3 mm+).

No se han realizado estudios formales del proyecto, pero en base a observaciones informales, la hipótesis general es que la compresión de la tela con las cargas del tránsito genera deflexiones en las losas, las que causan el ruido. El ruido es menor durante periodos de altas temperaturas, cuando las losas se encuentran apretadas unas con otras y eventualmente, hundiéndose completamente. En el año 2013, el DOT de Minnesota comenzó a ensayar diferentes espesores de telas geotextiles no tejidas, colocadas entre un refuerzo con hormigón con fibras, de 75 mm (3 in.) de espesor y un pavimento de hormigón. Los tramos de prueba se encuentran en la pista de ensayos de pavimentos del DOT de Minnesota; los resultados finales estarán disponibles en el año 2014. Las primeras observaciones indican que existe una diferencia tanto en el comportamiento físico como auditivo de los refuerzos, dependiendo del espesor de la tela.

La tela para capa separadora se especifica por peso y espesor (mm) (mils) y color; ver las Figuras 50 y 51. La Tabla 11 proporciona reglas generales

para pesos y espesores. El peso del metro cuadrado (yarda cuadrada) y el espesor deben darse al especificar una capa separadora de geotextil. Para detalles adicionales, ver el Capítulo 5, Materiales para Capas Separadoras.

Cuando el escalonamiento de las juntas sea mayor que 10 mm (3/8 in.) y se proyecte colocar una capa separadora de asfalto mayor que 6 mm (0,25 in.), si se prevé un geotextil, las juntas deberán fresarse de manera de eliminar el desnivel vertical o se deberá utilizar una capa separadora de asfalto.

En refuerzos no adheridos de pavimentos de hormigón, algunas agencias, tienen en consideración la posición de las juntas del pavimento subyacente e intencionalmente colocan las juntas del nuevo refuerzo lejos de ellas de manera que no coincidan. La racionalidad de esto es que se mejora la transferencia de cargas. Otras agencias descartan esta idea en busca de una construcción más amistosa. En este caso, las juntas simplemente se colocan donde normalmente deberían estar de acuerdo con el tipo de diseño que está construyendo. Ambas estrategias han dado buenos resultados. Se exceptúan las juntas de expansión; las del refuerzo no adherido deben coincidir con las existentes en el pavimento subyacente; ver la Figura 52.

Drenaje de la Capa Separadora

La presencia de agua en la interface a menudo acelera el deterioro en el refuerzo. El agua puede penetrar al sistema del pavimento desde la superficie hacia abajo o desde subrasante

hacia arriba, debido a alguna de las siguientes situaciones:

- Agua atrapada por la junta longitudinal.
- Subrasante de arcilla densa que no drena.
- Subbase de graduación densa que no drena.
- Acción capilar debido a napa muy superficial.
- No hay subdrenes o los existentes no funcionan.

Siendo todos estos factores de la misma índole, el mejoramiento del drenaje puede permitir diseñar un refuerzo de menor espesor. Este tipo de mejoramiento proporciona como beneficio adicional, facilitar la salida del agua desde el sistema del pavimento, factor que a menudo es clave en el deterioro de las juntas, proceso que se está mitigando con el refuerzo.

Por ejemplo, puede modificarse el alzado o la sección transversal del refuerzo, con el propósito de evacuar el agua más fácilmente desde la superficie del pavimento. Las juntas del refuerzo pueden diseñarse de manera de evitar un excesivo ingreso de agua. Esto se realiza construyéndolas mediante un solo corte con sierra delgada y/o rellenándolas o sellándolas en forma apropiada. Si se toman medidas para reparar los drenes de borde, también debe mejorarse el subdrenaje.

En capas de refuerzo no adheridas pueden utilizarse como capa separadora que facilite el drenaje, ya sea un geotextil no tejido que cumpla



Figura 50. Capa separadora de tela geotextil (fuente: Missouri DOT)



Figura 51. Capa separadora de tela geotextil blanca (fuente: Larry Engbrecht, South Dakota Chapter, ACPA)

Tabla 11. Pesos y espesores típicos de telas geotextil para capa separadora

Tela Separadora		
Refuerzo $\leq$ 100 mm (4 in.)- 440 gr/m ² (13 oz/yd ²) y espesor típico 3,3 mm (130 mils)	Refuerzo $\geq$ 125 mm (5 in.) - 500 gr/m ² (15 oz/yd ²) y espesor típico 4,3 mm (170 mils)	Resistencia al clima > 60%
2 kPa - 3 - 3,8 mm (120-150 mils)	2 kPa-3,9-4,7 mm (155-185 mils)	Ensayar resistencia a la tensión después de 500 h en acelerador UV
20 kPa-2,8 mm (80-110 mils)	20 kPa-2,8 -3,6 mm (110-140 mils)	La resistencia a la tensión después del ensayo debe ser al menos 60% de la resistencia inicial
200 kPa-0,5-1,3 mm (20-50 mils)	200 kPa-1,8 mm (40-70 mils)	



Figura 52. Reventón en una capa de refuerzo donde debió cortarse una junta de expansión sobre la junta de expansión del pavimento de hormigón existente (fuente: Dan DeGraaf, Michigan Concrete Paving Association)

con ciertos requisitos de permeabilidad (ver la Tabla 11) o una mezcla de asfalto en caliente de graduación abierta, siempre que exista una descarga. Las capas separadoras de telas geotextil no tejidas ayudan al drenaje (guían el agua) pero también deben tener una descarga apropiada. Ver los detalles misceláneos de descargas de drenaje que comienzan en la página 72.

Las capas asfálticas han servido por muchos años como separadoras de las capas de hormigón. Sin embargo, ocasionalmente se han detectado problemas por desprendimiento del asfalto de la capa separadora debido a la repetición de las cargas, originándose pérdidas de soporte para el refuerzo no adherido; ver la Figura 53. Esto puede ocasionalmente, ocurrir con altos volúmenes de tránsito con presencia de agua en la capa separadora. Las mejores soluciones preventivas son las siguientes:

- Dotar a la capa asfáltica de un buen drenaje. Con tránsito pesado se debe considerar utilizar una mezcla asfáltica drenante o con la granulometría utilizada por la DOT de Michigan (ver Capítulo 5, página 78, Tabla 18). La capa separadora debe extenderse hasta los bordes de las bermas o debe instalarse un sistema de subdrenaje.
- Incorporar aditivos anti desprendimiento del asfalto tales como la cal. Se ha encontrado que la cal es más efectiva que los aditivos líquidos que mejoran la adherencia entre el asfalto y el agregado.



Figura 53. Desprendimiento del asfalto de una capa separadora (fuente: Dan DeGraaf, Michigan Concrete Paving Association)



Figura 54. Canastos con placas de transferencia de cargas ahusadas en juntas transversales y placas ovaladas en juntas de construcción longitudinales formadas con molde deslizante

- Sellar las juntas del hormigón del refuerzo y la de las bermas.
- Utilizar un geotextil como separador provisto de un buen drenaje.

Diseño de las Juntas

Debido a la gran rigidez de la plataforma subyacente (el pavimento de hormigón existente), en los refuerzos de hormigón no adherido es necesario acortar la distancia entre las juntas del refuerzo, en comparación con un diseño normal. La menor distancia es necesaria para reducir el riesgo de agrietamiento temprano debido a alabeos por temperatura y deformaciones por tensiones por diferenciales de humedad, combinadas con las tensiones que generan las cargas. Se debe tener en consideración que los métodos AASHTO existentes no incluyen en el diseño consideración alguna respecto a este factor. Las reglas generales para diseñar la disposición de las juntas en refuerzos no adheridos, utilizando esos métodos, se basan en gran medida en la experiencia (ver la Tabla 21, que comienza en la página 99, para información sobre la distancia máxima entre juntas).

En un refuerzo adherido las juntas transversales pueden ser simples (sin un sistema mecánico de transmisión de cargas), con barras de traspaso de cargas o no existir en absoluto como es el caso de refuerzos de hormigón continuamente reforzados (CRCP). Para espesores menores que 175 mm (7 in.), lo más común son las juntas simples (sin barras de traspaso de cargas). Sin embargo, existen situaciones en que debe incluirse un sistema mecánico de transferencia de cargas como una forma de ajustar los criterios de cargas con ciertas restricciones en el espesor, debido ya sea a los costos o a limitaciones para elevar la rasante. Antes de optar por barras de traspaso de cargas, debe analizarse acortar la distancia entre juntas pero utilizando fibras sintéticas, que ayudan a mantener las juntas cerradas. Si ello no es posible, debe analizarse utilizar barras redondas o placas para la transferencia de cargas. Se han construido capas de refuerzo de hormigón no adherido delgadas (menos de 125 mm (5 in.)) bajo condiciones apropiadas de cargas, utilizando losas cortas, normalmente de 1,8 (6 ft) o menos y sin un sistema mecánico de transferencia de cargas.

El propósito de un sistema mecánico para la transferencia de cargas en las juntas transversales es ayudar a transmitir las cargas a través de la junta. Las barras de transferencia típicamente se utilizan cuando se prevé tránsito pesado, lo que normalmente lleva a espesores de diseño de 175 mm (7 in.) o más. Las barras se colocan a una profundidad igual a $H/2$, excepto en las áreas de transición (para más información, ver diseño de detalle de misceláneos). La profundidad de aserrado transversal sobre las barras de transferencia de cargas debe ser igual a $H/3$ o $H/4$.

Se presentan algunos problemas constructivos (básicamente el espesor de recubrimiento de las barras redondas para traspaso de cargas) cuando se utilizan para transferencia de carga en capas de refuerzos delgadas (≤ 175 mm (7 in.)) que necesitan barras de diámetros pequeños (25 mm (1 in.) o menos). Las barras de menor diámetro tienen un área soportante también menor, de manera que las tensiones en la pequeña zona de hormigón bajo la barra, son mayores; a veces, esto genera un ensanche prematuro del hormigón alrededor de la barra, lo que atenta con el propósito de las barras que es traspasar las cargas. Como respuesta a la necesidad de disponer de pavimentos más delgados y que sin embargo, soporten altas solicitaciones, con mayor espaciado de juntas, la industria de pavimentos de hormigón está comenzando a utilizar placas de transferencia de cargas, especialmente en estacionamientos industriales: ver la Figura 54. Las placas de transferencia de cargas resuelven el problema de recubrimiento, proporcionando transferencia de cargas en las juntas transversales. Debido a la mayor área horizontal de la placa versus las barras redondas, se reduce la presión de soporte (MPa, psi) en el hormigón. Las menores restricciones y tensiones de la placa de transferencia también minimizan el agrietamiento aleatorio de secciones más delgadas. En la actualidad, existe un número limitado de placas de transferencia de cargas que se utilizan en proyectos carreteros. Sin embargo, en los casos en que se desea que un refuerzo no adherido delgado se ajuste a las restricciones verticales y solicitaciones proyectadas, resulta adecuado combinar fibras sintéticas con losas más cortas y placas de transferencia de cargas en las juntas de construcción.

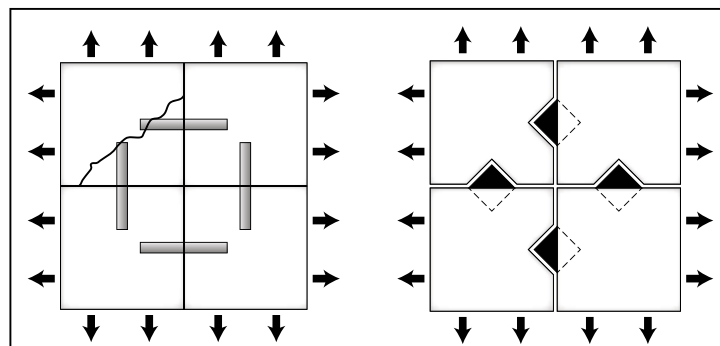


Figura 55. Existe una mayor restricción a la retracción en la intersección de juntas con barras redondas de traspaso de cargas (izquierda) que en la intersección de juntas con placas de transferencia (derecha)

Los fabricantes ofrecen una variedad de geometrías para placas para transferencia de cargas, incluyendo los elementos de instalación asociados. Los efectos de la retracción se reducen con las de forma ahusada, las fundas para preformar agujeros o con las que tienen un material compresible en las caras verticales con un anti adherente delgado en la parte superior e inferior de la superficie, ACI 360R-10. La forma ahusada, conjuntamente con un anti adhesivo delgado en todas las caras, permite el desarrollo de un espacio en los lados verticales del elemento, el que elimina las restricciones cuando la losa se contrae en la junta: ver la Figura 55.

En comparación con las barras redondas de traspaso, las placas de transferencia permiten que las losas adyacentes se muevan libremente, sin restricciones y por lo tanto puedan colocarse dentro de los 150 mm (6 in.) en torno a la junta, donde los esfuerzos de alabeo son mayores. De igual manera, una funda que preforma un agujero o un material compresible, pueden también eliminar las restricciones cuando la losa se retrae desde la junta.

Debido a las variadas formas geométricas y procedimientos de instalación de los elementos de traspaso de cargas disponibles, deben consultarse las publicaciones propias de cada fabricante para determinar las dimensiones óptimas y distanciamiento para un proyecto específico. Las placas como elementos de transferencia de carga son también útiles en otras aplicaciones del pavimento, donde las juntas deben tener la capacidad de transferir cargas, pudiendo transmitir las en dos direcciones para losas de formas no convencionales: ver ACI 302-IR-04 (ACT 2010). El uso de placas de transferencia de cargas que van a quedar expuestas a la sal contra el hielo es limitado. Cuando van a quedar expuestas a la sal para el hielo, se recomienda aplicar a la superficie de esas placas un revestimiento anti-corrosivo probado y ensayado. Para más análisis sobre placas de traspaso de cargas ver el Capítulo Diseño de Detalles Misceláneos.

Capas de Refuerzo No Adheridas a Pavimentos Asfálticos

Las capas de refuerzo no adheridas a pavimentos asfálticos están orientadas a pavimentos que tienen deformaciones o huellas en la superficie. La colocación del hormigón directamente sobre la superficie implica que los mayores espesores del hormigón se encontrarán en los lugares más solicitados de la estructura y es, por lo tanto, el diseño más eficiente. Si el ahuellamiento es extremo (mayor que 50 mm (2 in.)) o la modificación de la sección transversal, debido a las deformaciones, es significativa, debe cuidarse que la profundidad de aserrado de las juntas en esos lugares sea la adecuada.

Debido a la variabilidad de los espesores que resultan en la sección transversal al colocarlo directamente sobre el asfalto, los documentos del contrato deben considerar pago separado por los materiales y por la colocación. Se recomiendan las llamadas partidas “metro cuadrado - metro cúbico” para todos los proyectos de refuerzos con hormigón pues son

importantes al reducir los riesgos del contratista al licitar los proyectos.

Capas de Refuerzo No Adheridas a Pavimentos Compuestos

Los refuerzos con hormigón no adherido de pavimentos compuestos siguen los mismos lineamientos de diseño que los refuerzos con hormigón de pavimentos de hormigón. La diferencia primordial es que la capa separadora ya existe; es la capa asfáltica del pavimento compuesto. En algunos casos, el asfalto existente puede no ser apto como capa separadora y debe retirarse por fresado, para luego colocar una nueva capa separadora. Esto generalmente ocurre cuando la capa asfáltica tiende a perder estabilidad (resultando una pérdida de soporte para el refuerzo) debido al desprendimiento del asfalto.

Programación

Para los DOT que no tienen experiencia en el diseño de capas de refuerzo con hormigón, éste debe abordarse de manera similar que el diseño de un refuerzo de asfalto. No es necesario agregar complejidad a los procesos de planificación e ingeniería simplemente porque el tipo de refuerzo es otro. En el programa el nivel de detalle requerido por el diseño, queda definido por la ubicación, la geometría y los requisitos para mantener el tránsito.

Por décadas, se han diseñado y construido exitosamente proyectos rurales de refuerzo con asfalto a partir de un conjunto de planos que comprenden una página con títulos, secciones transversales típicas, cantidades para pago, notas, planos de planta y obras tipo. Para condiciones similares, esta forma es enteramente aceptable para capas de refuerzo con hormigón. Para proyectos urbanos o suburbanos, los planos deben incluir los detalles apropiados y la información de cómo se tratará la capa de refuerzo con hormigón para ajustarse a ciertas condicionantes, especialmente restricciones verticales (gálibo de puentes, descargas del drenaje, etc.) y horizontales (barreras, cunetas, etc.).

Un ejemplo de un índice de los planos para un refuerzo con hormigón, ya sea en una ruta estatal o camino vecinal, incluiría lo siguiente:

- Hoja con los títulos incluyendo un mapa de ubicación.
- Secciones típicas; anotar los límites de cualquier corrección de peralte.
- Cantidades estimadas y partidas de pago.
- Resumen de cantidades estimadas.
 - Reparaciones previas.
 - Instalación de subdrenes.
 - Capa separadora (si se utiliza una).
 - Refuerzo de hormigón; metros (yardas) cúbicos y metros (yardas) cuadrados.
 - Bermas.

- Control de la erosión; temporal y permanente.
- Tablas con la información topográfica; puntos de referencia, antecedentes de las curvas, rasante del pavimento existente y rasante de proyecto.
- Secuencia de construcción, mantenimiento del tránsito.
- Planos de planta.
- Diseño de detalles.
 - Transiciones del refuerzo en accesos a puentes, pasos bajo nivel, B.O.P., y E.O.P.
 - Disposición de las juntas.
- Obras tipo.

Levantamiento de Información

La definición sobre si es o no es necesario hacer un levantamiento de las condiciones existentes durante la fase de diseño de un proyecto, dependerá básicamente de la presencia de restricciones verticales y/o horizontales y de la propia condición del camino. No es necesario un levantamiento cuando existen pocas restricciones y es aceptable copiar los desniveles. Para este tipo de proyectos, las necesidades de los planos no incluyen una rasante de proyecto; la superficie existente proporciona suficiente información para el control. La rasante final se determina durante la construcción mediante una combinación entre el espesor mínimo de diseño y el(los) bombeo(s) proyectados.

Sin embargo, si el camino existente presenta deterioro significativo, problemas en la calidad de la rodadura, problemas de drenaje o correcciones de rasante y de la sección transversal, se recomienda un levantamiento topográfico. Ello permitirá proyectar un perfil longitudinal optimizado y determinar con precisión los volúmenes de hormigón necesarios para construir el refuerzo. Para proyectos complejos, con múltiples restricciones en planta y/o alzado, el levantamiento debe realizarse durante la fase de diseño y proporcionarse al contratista el proyecto definitivo para la elevación, como una manera de asegurarse que no se presentarán diferencias entre el proyecto del refuerzo y las condiciones existentes. A todo lo largo de la carretera, a intervalos de 300 m (1.000 ft), debe establecerse un sistema para el control en alzado que sirva para preparar los planos y proporcione al constructor la base para el replanteo del perfil longitudinal.

Métodos de Levantamientos

Cualquiera sea la tecnología utilizada, GPS, estación total, nivel o escaneo con láser, se deben aplicar los principios de los levantamientos topográficos y de recopilación de información. A todo lo largo de la faja del proyecto se deben materializar puntos de control (PR, puntos de referencia) en planta y alzado, de manera que los modelos en elevación de lo existente y proyectado,

se relacionen entre sí y puedan verificarse en todas las fases. Los puntos de control deben ser lo suficientemente numerosos como para facilitar los trabajos topográficos, así como estar disponibles para la construcción del proyecto. Normalmente, los controles en planta se realizan con estación total y/o GPS, en tanto que los controles en alzado, normalmente se ejecutan con estación total o nivel. Las estaciones totales presentan limitaciones para el control en alzado, las que deben ser consideradas por los topógrafos. Por lo tanto, se sugiere usar un nivel geométrico (de preferencia un nivel digital) de manera de lograr la precisión requerida. Deben levantarse secciones transversales del camino a intervalos de 7,5 m (25 ft), a todo lo largo del proyecto.

La decisión sobre cual tecnología utilizar depende del topógrafo/ingeniero y de la tecnología disponible. La topografía convencional requiere más personal en comparación con tecnologías como LiDAR de escaneo con láser estático y móvil.

Escaneo Laser

En la última década la industria de levantamientos topográficos ha experimentado un mejoramiento constante y muy rápido. La eficiencia y precisión en la recopilación de datos de elevación ha mejorado drásticamente respecto del método de la cinta (huincha), la mira y el nivel. El método más simple de control es realizar un fresado mínimo controlado con una regla móvil y un sistema que mide los bombeos. El advenimiento del escáner de rayo láser ha abierto una nueva forma de mapear la superficie del pavimento, antes de construir el refuerzo, de manera de eliminar fresados excesivos. El escáner de rayo láser (ver la Figura 56) permite reducir los costos del levantamiento, ahorrar tiempo y disminuir las interferencias con los usuarios.

Este aumento de eficiencia hace rentable realizar levantamientos detallados. En base a antecedentes de un proyecto construido en la US-18, en Iowa en el año 2012 (Cable 2012), se determinó que un levantamiento de 9 líneas, a intervalos de 15 m (50 ft), proporcionaba los antecedentes necesarios para ajustar con confianza el perfil del refuerzo con hormigón, evitando una sobre cubicación potencial del 20% en el volumen de hormigón colocado.

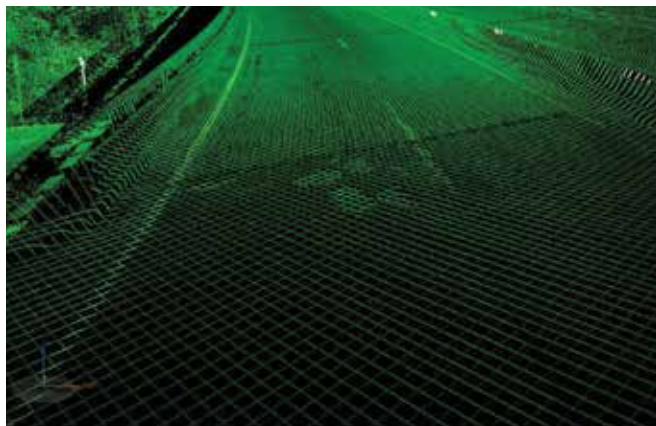


Figura 56. Modelo digital del terreno obtenido mediante escaneo con láser

El desarrollo más reciente de escaneo con rayo láser consiste básicamente en combinar varias tecnologías existentes en una sola unidad o proceso. El corazón de la unidad es el escáner detector de luz y alcance (LIDAR), que mide el tiempo que demora un rayo de luz, lo que le permite calcular la distancia a objetos al realizar incrementos angulares predeterminados; el resultado es una gran cantidad de información a la que se suele referir como una “nube de puntos”. El LIDAR o escáner de rayo láser, realiza mediciones a los objetos, mientras se utiliza una cámara fotográfica de 360°, que ayuda a identificar los objetos escaneados. La unidad también incluye un sistema de posicionamiento global (GPS) que registra en todo momento, la posición en la superficie de la tierra y la posición relativa, de los objetos que están siendo escaneados. Una unidad de medidas inercial (IMU) se utiliza para considerar los movimientos (cabeceros, traslados y giros) del vehículo con el escáner. Asimismo, un instrumento que mide distancias (DMI) calcula la rotación de las ruedas y las mediciones para ayudar en el proceso. El sistema es capaz de medir repetidamente con una precisión de entre 1 (0,04 in.) y (0,12 in.) 3 mm. El Apéndice D entrega más información sobre levantamientos con escáner móvil y estático.

Partidas de Medición y Pago de Capas de Refuerzo con Hormigón

Se sugiere con énfasis que los refuerzos con hormigón se midan y paguen por metro cuadrado (yarda cuadrada) por la colocación y por metro cúbico (yarda cúbica) por la provisión de los materiales del hormigón. Este procedimiento se ha utilizado con éxito por muchos años por los Departamentos de Transporte (DOT's) que rutinariamente diseñan y construyen refuerzos con hormigón. El propósito de tener una partida de pago por metro cúbico (yarda cúbica) es minimizar el riesgo tanto del propietario como del contratista. Los fundamentos de porqué utilizar una partida por metro cúbico (yarda cúbica) se encuentra en el hecho que la superficie subyacente es más irregular que una subrasante o subbase bien preparada.

Considerando que los DOTs actúan en representación de los contribuyentes y los contratistas en el negocio de tomar riesgos calculados, no parece inapropiado que las DOTs limiten su riesgo en algún grado. Suponiendo que el volumen de hormigón ha sido correctamente calculado como se recomendó más arriba, puede considerarse razonable limitar el mayor volumen de hormigón a 102 ó 106 por ciento. La agencia debe regularmente verificar el espesor del refuerzo durante la construcción, tanto en los bordes, el centro de la pista como en el eje, para comprobar que sea igual a mayor que el espesor de diseño.

Planilla de Cantidades de Obras para Refuerzos con Hormigón

Hay dos opciones por considerar:

1. Para trabajos preliminares y costos, mínimos.
 - No realizar trabajo topográfico alguno, salvo medir la profundidad del ahuellamiento y la sección transversal del pavimento a intervalos de 150 m (500 ft).
 - Proyectar el perfil longitudinal del eje y de los bordes del pavimento.
 - Estimar las cantidades de hormigón requerido para ajustarse a los perfiles con un espesor mínimo en el eje y bordes del pavimento.
 - Agregar a la cantidad de hormigón un porcentaje razonable para tener en cuenta tolerancias de colocación, pérdidas en la construcción y las irregularidades de la superficie y sección transversal y establecer la cantidad “teórica nueva”. Algunos estados utilizan 15 a 20 por ciento, dependiendo del espesor del refuerzo y de la magnitud de las correcciones deseadas para la sección transversal. Entre más delgado es el refuerzo y mayores las correcciones de la sección transversal, mayor será el porcentaje a adicionar; ver la Tabla 12.
2. Para la optimización de las cantidades de hormigón.
 - Mapear la superficie existente levantando nueve

Tabla 12. Factores de ajuste típicos para estimar mayores cantidades en metros cúbicos que los calculados para la capa de refuerzo

Espesor del Refuerzo de Hormigón	12 mm (0,5 in.) Tolerancia en la Colocación Como un % del Espesor de Diseño	Ajuste Adicional en % Debido a Irregularidades Superficiales Grandes en la Superficie Existente*	Factor de Ajuste Total por Aplicar al Volumen Teórico
100 mm (4 in.)	12,5 %	5 %	17,5 %
150 mm (6 in.)	8,3 %	5 %	13,3 %
200 mm (8 in.)	6,3 %	5 %	11,3 %
250 mm (10 in.)	5,0 %	5 %	10,0 %
300 mm (12 in.)	4,2 %	5 %	9,2 %

* Las grandes irregularidades superficiales no se ven afectadas por el espesor del refuerzo; es una constante completamente independiente de las condiciones superficiales y de cualquier otro cambio deseado, tales como correcciones de bombeo y ajustes del perfil para tener un pavimento más suave. La Tabla 12, indica 5% solamente como un ejemplo. Un porcentaje apropiado para las grandes irregularidades debe calcularse a partir de las mediciones de la profundidad del ahuellamiento y de la sección transversal del pavimento, a intervalos de 150 m (500ft).

puntos en la sección transversal a intervalos de 15 m (50 ft).

- Proyectar el perfil longitudinal por el eje y bordes, optimizando la suavidad, manteniendo un espesor mínimo de refuerzo en todo el ancho del pavimento y optimizando las cantidades de hormigón.
- Limitar al contratista a un porcentaje adicional sobre la cantidad identificada según la sección transversal y perfil diseñado. Algunos estados utilizan 2 a 6 por ciento, dependiendo del espesor del refuerzo.

Costos Típicos de Refuerzos de Hormigón

Desde que comenzó el Programa Aplicaciones en Terreno de Refuerzos con Hormigón (Concrete Overlay Field Application Program) en el año 2009, personal de los DOT de los estados, sin experiencia en refuerzos con hormigón, normalmente pregunta por los costos de construcción. Para contestar esta pregunta, se revisaron y tabularon resultados de propuestas de seis DOTs que actualmente están utilizando los refuerzos con hormigón como parte integral

de sus estrategias para rehabilitar pavimentos, La Figura 57 muestra la información de costos de 33 proyectos con fechas de licitación entre Agosto 2008 y Septiembre 2009 (Fick 2010). Los costos de estos refuerzos incluyen la provisión del hormigón, colocación del refuerzo y todos los costos asociados con las juntas. No están incluidas las reparaciones previas, la preparación de la superficie y la capa separadora, pero se debe tener presente que la cantidad de trabajos previos requeridos por un refuerzo con hormigón es significativamente menor que para un típico refuerzo con concreto asfáltico.

Diseño de Detalle de Misceláneos

Siguen diseños de detalle relacionados con cunetas y soleras, cambios de rasante y otras consideraciones especiales.

Detalles de Soleras y Cunetas

Al diseñar deben considerarse potenciales restricciones tales como del drenaje superficial. Las secciones con soleras y cunetas pueden plantear desafíos de como proyectar los refuerzos con hormigón. Los proyectos pueden considerar remover y reemplazar las

soleras y cunetas existentes, la construcción de una incrustación de manera que las cotas del pavimento coincidan con las soleras y cunetas existentes o aún envolver las soleras y cunetas existentes con un nuevo sistema.

Las secciones con solera y cuneta requieren de detalles adicionales puesto que deben decidirse sobre la disposición de las juntas (las Figuras 58 a la 60 muestran tres posibles opciones de diseño). Es posible incluir una solera - cuneta integral, pero ello debe analizarse estableciendo la extensión que tendría este tipo de sección y los equipos disponibles para construirla.

Manteniendo las Cunetas Existentes en su Lugar

Cuando se deja la cuneta existente en su lugar, la operación de fresado se detiene en la base de la cuneta, de manera de crear un espacio igual al espesor del refuerzo; ver la Figura 58.

Dejar la cuneta existente en el lugar genera un ahorro, puesto que no es necesario levantar los accesos, las aceras y los elementos de utilidad pública. Sin embargo, debe evaluarse la condición de la cuneta, ya que si el hormigón presenta signos de deterioro debe removerse y reemplazarse.

Por otra parte, al dejar la cuneta en el lugar cuando existen postes y otras obstrucciones en las proximidades, podría impedir la operación de pavimentadoras de molde deslizante convencionales.

Remoción de Soleras y Cunetas

Cuando las obstrucciones existentes detrás de la cuneta impiden utilizar pavimentadoras

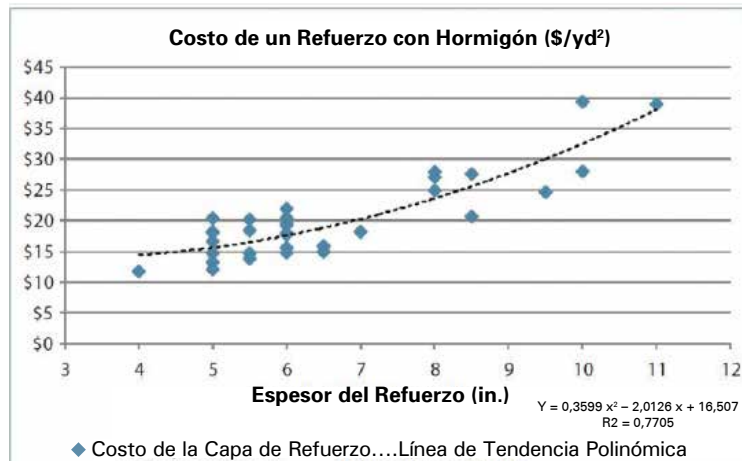


Figura 57. Costo del refuerzo con hormigón según espesor (fuente: Fick 2010)

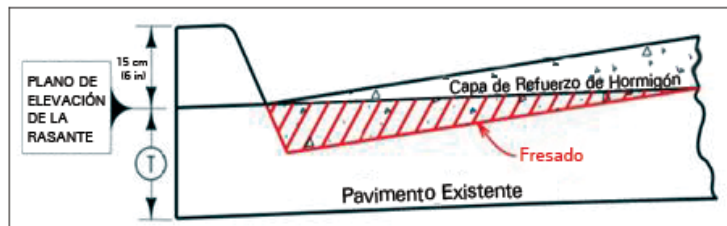


Figura 58. Detalle del fresado cuando se deja la cuneta existente en su lugar (fuente: Snyder & Associates, Inc.)

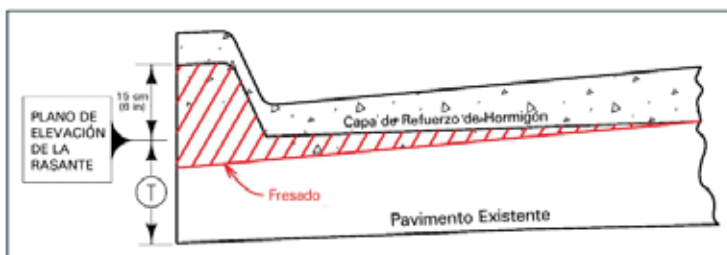


Figura 59. Detalle del fresado cuando se remueve y repone la cuneta (fuente: Snyder & Associates, Inc.)

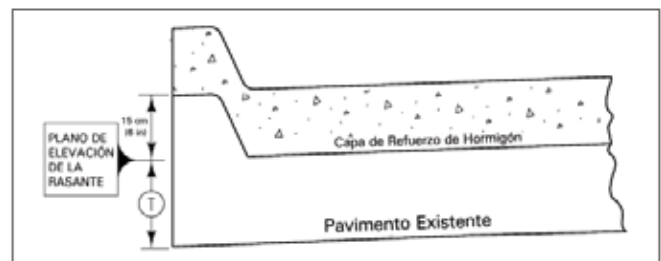


Figura 60. Detalle de cuneta recubierta (fuente: Snyder & Associates, Inc.)



Figura 61. Hormigonado de cuneta recubierta (fuente: Jim Amundsen, Grace Construction Products)

de molde deslizante convencionales, puede resultar ventajoso remover completamente la solera y parte de la cuneta para permitir la colocación del hormigón del refuerzo hasta unos pocos centímetros por arriba de la cuneta existente; ver la Figura 59.

Se puede fresar la sección completa de la solera y cuneta. Sin embargo, cuando existen obstrucciones detrás, es preferible cortar con sierra en todo el espesor y utilizar los métodos tradicionales de excavación para minimizar la alteración de los materiales de los bordes del camino. En este caso, una vez colocado el refuerzo, se puede construir una nueva solera-cuneta con un equipo para construir cunetas.

Recubriendo la Cuneta

Es posible colocar una capa de refuerzo que cubra la cuneta existente; ver las Figuras 60 y 61.

Cambios en la Rasante

Dependiendo de la magnitud del cambio de la rasante, hay numerosas restricciones que deben considerarse en el proceso de proyectar el refuerzo.

Gálibo Vertical

Según donde se localice el proyecto, serán aplicables diferentes regulaciones para el gálibo vertical mínimo. La existencia de obstáculos que impiden disponer del gálibo vertical requerido, puede limitar el diseño final de la rasante del pavimento y el espesor del refuerzo o deberán considerarse medidas para eliminarlos. Como alternativa, pudiera ser preferible proyectar una reconstrucción de todo el espesor en todo el proyecto o diseñar secciones diferente en los lugares restrictivos (por ej. fresar y colocar un refuerzo más delgado pero de hormigón de mayor resistencia).

Barreras y Defensas

Dependiendo de los cambios que se introduzcan a la rasante y de la distancia horizontal entre el borde del pavimento y los elementos de seguridad, podría ser necesario levantar o reconstruir las barreras de seguridad, las barreras metálicas y las de cables.

Seguridad Lateral

Cuando se levanta la rasante, es necesario verificar si los nuevos taludes de seguridad pueden o no ajustarse a los fosos existentes y cumplir con los criterios de seguridad apropiados. En algunos casos, puede ser necesario reconstruir los fosos para que se ajusten al talud de seguridad. El borde de seguridad consiste en biselar el borde del pavimento, de manera de ayudar a disminuir la severidad de los daños cuando un vehículo abandona accidentalmente la carretera; ver la Figura 62. Cuando un conductor abandona accidentalmente la pista

pavimentada, el borde de seguridad facilita el reingreso a la carretera y reduce los riesgos de maniobras bruscas y pérdidas de control del vehículo.

Normalmente, los proyectos en carreteras rurales de dos pistas y sin bermas pavimentadas, requieren del borde de seguridad. La mayoría de estos proyectos consisten en colocar una sobre capa. El ángulo del biselado es importante para que el borde de seguridad funcione adecuadamente. Medido desde la rasante, el biselado debe formar un ángulo de 30° con un equivalente H:V de 10,5 a 6.

Se debe tomar nota que el ángulo de 30° tiene en cuenta el bombeo o peralte de la sección. Los bombeos de secciones existentes varían entre 2 y 8 por ciento, lo que agrega entre 1,1 a 4,6 grados al ángulo del biselado cuando se mide desde la horizontal. El ángulo resultante está dentro de la recomendación de la FHWA de 30 a 35 grados. Todo borde de seguridad debe ajustarse a los requerimientos de la agencia estatal.

Estructuras para el Drenaje Transversal

Cuando se reperfilan los taludes de seguridad de manera que cumplan con los criterios de seguridad apropiados, puede resultar necesario alargar las alcantarillas para ajustarlas a los nuevos taludes de seguridad.

Bombeos y Peraltes

Los cambios en los bombeos y peraltes pueden obligar a refuerzos con hormigón de mayor espesor. Por razones de costo, los proyectistas deberían considerar mantener los bombeos

en tanto sea posible. Cuando se requieren correcciones de bombeos o peraltes, también es necesario disponer de información sobre los espesores requeridos para ajustarse al bombeo final. Debe seleccionarse el tipo de material por utilizar (hormigón, asfalto, relleno fluido, base tratada con cemento, etc.) basándose en el espesor del relleno, instalación y elementos para construirlo, costo inicial y costos de futuras remociones. Algunos proyectos combinan los refuerzos con reconstrucción en todo el espesor para manejar correcciones extremas en los peraltes.

Normalmente no se obtienen los resultados deseados cuando la capa separadora de asfalto se utiliza para corregir deficiencias en la sección transversal y la rasante (suavidad). Esto es porque cuando se compactan espesores variables de asfalto, se originan desplazamientos, resultando una superficie no uniforme que debe corregirse aumentando el espesor del hormigón. La manera más efectiva y económica de hacer correcciones es realizar los ajustes de bombeo y de rasante con el propio refuerzo de hormigón; ver la Figura 63. Sin embargo, cuando se corrigen bombeos y rasantes por medio de espesores variables del refuerzo, hay algunas consideraciones que hacer.

- La profundidad del aserrado de las juntas de contracción debe ajustarse en las áreas de mayor espesor.
- Deben colocarse barras de transferencia de cargas (canastos o insertadas mecánicamente) de manera de mantener un recubrimiento de hormigón de mínimo 50 mm (2 in.) alrededor de las barras de transferencia de cargas (ver Snyder 2011 para información adicional).

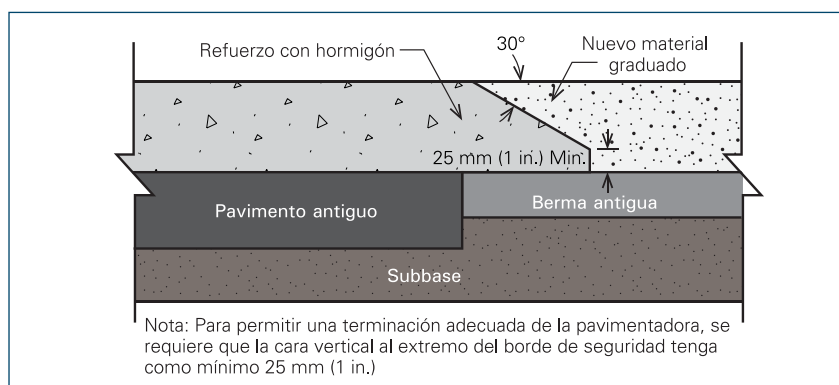


Figura 62. Borde de seguridad típico para refuerzos con hormigón sin berna pavimentada

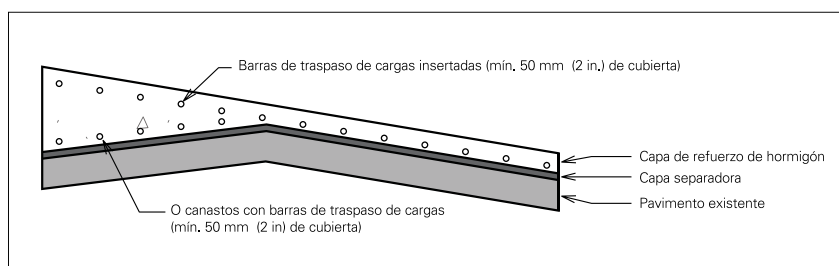


Figura 63. Opciones para barras de transferencia de cargas para zonas con peralte

Estructuras dentro del Pavimento

Las cámaras de inspección, descargas de aguas y otros servicios públicos deben levantarse para ajustarlos a la nueva rasante. La Figura 64 muestra un detalle típico para levantar una cámara de inspección.

Detalle de Placas para Transferencia de Cargas

Las capas de refuerzo no adheridas pueden construirse con diferentes prácticas de construcción, procedimientos de instalación y tipos de juntas, por lo que requieren de procedimientos de instalación y placas de geometría diferentes; ver la Figura 65.

Ver Tabla 13 para las dimensiones para placas de transferencia de carga y espaciamiento de juntas de construcción y Tabla 14 para las dimensiones de barras de traspaso y espaciamiento de las juntas de contracción.

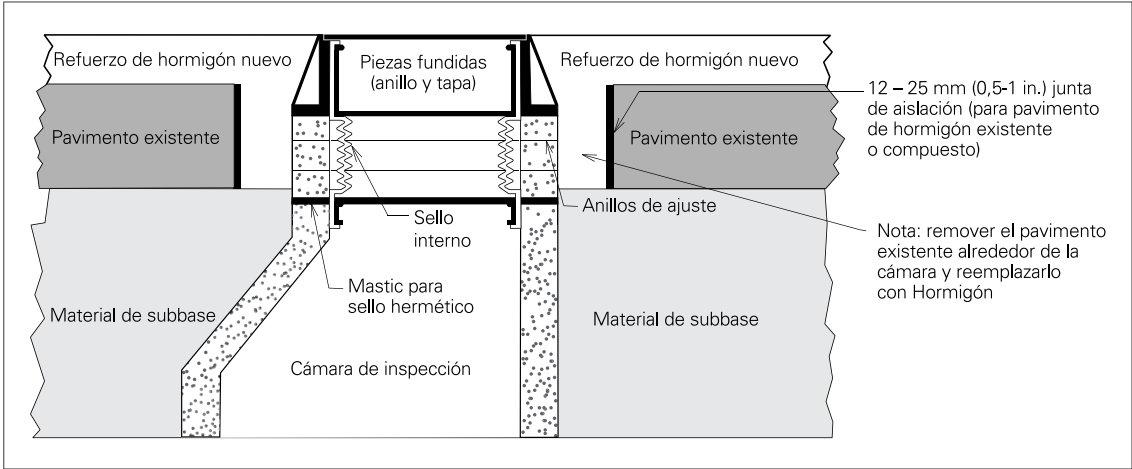


Figura 64. Capa de Refuerzo con hormigón con cámara de inspección estándar



Figura 65. Placas de transferencia de cargas en forma de diamante para construcción con molde fijo (lado derecho) y placas de transferencia de cargas ovaladas para molde deslizante

Tabla 13. Tamaño y espaciamiento de placas para transferencia de cargas para juntas de construcción

Espesor del Pavimento	Espesor de la Placa y Ancho en la Junta	Espaciamiento de las Placas para Tránsito Pesado, Juntas con Abertura Ancha o Ambas	Espaciamiento de las Placas para Tránsito Liviano o Juntas de Abertura Angosta
125 a 174 mm	6 mm x 160 mm	450 mm	600 mm
175 a 224 mm	10 mm x 160 mm	450 mm	600 mm
225 mm+	20 mm x 160 mm	450 mm	600 mm

Tabla 14. Tamaño y espaciamiento de placas para transferencia de cargas para juntas de contracción

Espesor del Pavimento	Espesor de la Placa y Ancho en el Eje de la Placa	Espaciamiento de las Placas para Tránsito Pesado, Juntas de Abertura Ancha o Ambas	Espaciamiento de las Placas para Tránsito Liviano o Juntas de Abertura Angosta
125 a 174 mm	100 mm x 50 mm	450 mm	600 mm
175 a 224 mm	13 mm x 65 mm	450 mm	600 mm
225 mm+	20 mm x 65 mm	450 mm	600 mm

Resistencia a la Corrosión

Cuando es necesario que las placas de transferencia de cargas resistan la corrosión, generalmente deben ser galvanizadas o electro enchapadas con zinc, pero también pueden ser apropiados otros tipos tales como los recubrimientos con epóxicos.

Instalación de Placas de Transferencia de Cargas en Juntas de Construcción Formadas con Moldaje

Para asegurar que las placas de transferencia de cargas queden centradas en la junta, horizontales respecto a la superficie del pavimento y perpendiculares a las juntas, deben incorporarse al moldaje dispositivos para la instalación o alineación; ver las Figuras 66 y 67.

Los dispositivos para instalar un sistema de transferencia de cargas que permanecerá

dentro del pavimento y que transfieren cargas al hormigón por soporte, deben estar confeccionados de un material delgado y rígido, que minimice las deflexiones verticales. Los dispositivos para instalar sistemas de transferencia de cargas que no quedan ajustados o confeccionados de materiales blandos, suelen ocasionar deflexiones verticales significativas que llevan tempranamente al deterioro de la junta (Walker y Holland 2007).

Instalación de Placas de Transferencia de Cargas con Molde Deslizante o Juntas de Construcción Aserradas en Todo el Espesor

Con molde deslizante o con juntas de construcción aserradas en todo el espesor (como se encontraría en la remoción y reemplazo de un área con una sobre capa), los proyectistas deben tener en consideración que cuando una

nueva sobre capa de hormigón, con tendencia inherente a contraerse, se adhiere a una sobre capa de hormigón previamente colocada que ya ha pasado por el proceso de retracción, se desarrollarán tensiones que pueden ocasionar agrietamientos; ver las Figuras 68 y 69.

La transferencia de cargas entre la sección colocada previamente y el hormigón nuevo, puede lograrse mediante placas de traspaso de cargas de forma ovalada. En esta aplicación deben formarse ranuras en la losa existente donde se colocan las placas ovaladas. Se debe utilizar una resina epóxica u otro material similar para empotrar rígidamente la placa dentro de la ranura y asegurarse que se ajuste firmemente.

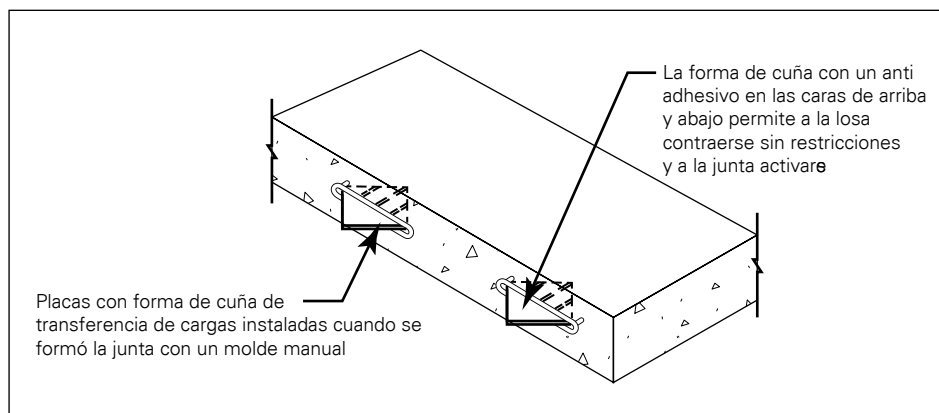


Figura 66. Detalle de construcción de una placa de transferencia de carga para pavimentación con molde fijo



Figura 67. Junta de construcción con placa de transferencia en forma de cuñas utilizando molde fijo (fuente: Nigel Parkes, PNA Construction Technology)

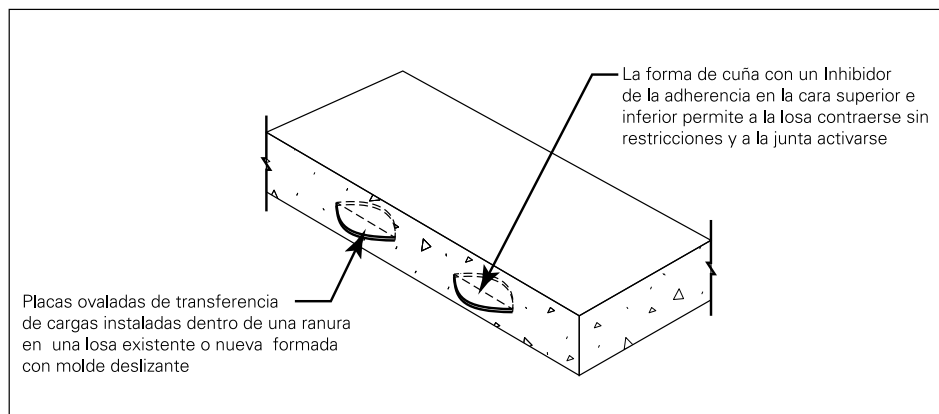


Figura 68. Detalle de junta de construcción con placa de transferencia de carga para pavimentación con molde deslizante



Figura 69. Formación de ranuras para instalar placas transferencia de cargas ovaladas (fuente: Nigel Parkes, PNA Construction Technology)

Instalación de Sistemas de Transferencia de Cargas en Juntas de Contracción

Para mantener alineadas las placas de transferencia de cargas en forma de cuña en las juntas de contracción aserradas, deben utilizarse canastos o equipos para insertarlas

mecánicamente. En esta aplicación, las placas de transferencia de cargas en forma de cuña pueden estar horizontalmente desalineadas sin que traben las juntas, inducir restricciones o agrietamientos en la capa del refuerzo de hormigón; ver las Figuras 70 y 71.

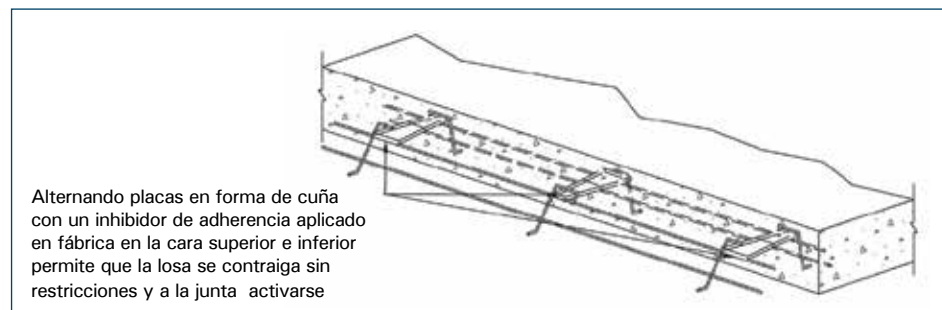


Figura 70. Detalle de placa de transferencia de cargas para junta de contracción

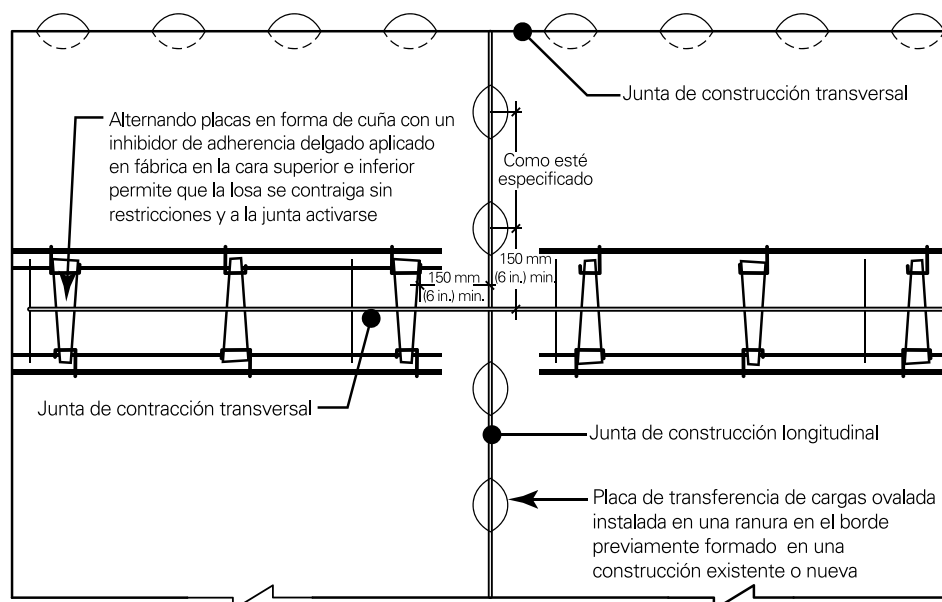


Figura 71. Vista en planta de una pista con placas de transferencia de cargas

Transiciones

El diseño de una capa de refuerzo con hormigón a menudo requiere detallar la transición que conecta el refuerzo con hormigón con la estructura del pavimento adyacente en sentido longitudinal. Estas zonas están a menudo expuestas a tensiones

adicionales, por lo que incluyen secciones con hormigón de mayor espesor, armaduras de refuerzo convencionales o mallas de acero y macro fibras estructurales. Las transiciones deben diseñarse y construirse para conectar el nuevo pavimento con el refuerzo con (1) pavimentos existentes, (2) estructuras existentes y (3) accesos.

Las Figuras 72 a la 79 muestran detalles de varias transiciones que se utilizan en la construcción de refuerzos. En general, la longitud de la transición debe basarse en la velocidad de diseño – 40:1 para calzadas para 72 km/h (45 mph) o más y 25:1 para velocidades menores que 72 km/h (45 mph).

Transiciones Mediante Fresado y Relleno para Refuerzos con Hormigón Adherido

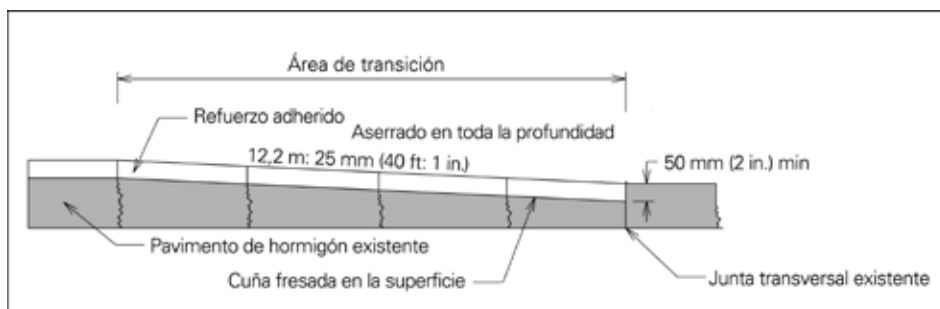


Figura 72. Transición mediante fresado y relleno para capas de refuerzo con hormigón de un pavimento de hormigón (adaptado de ACPA 1998)

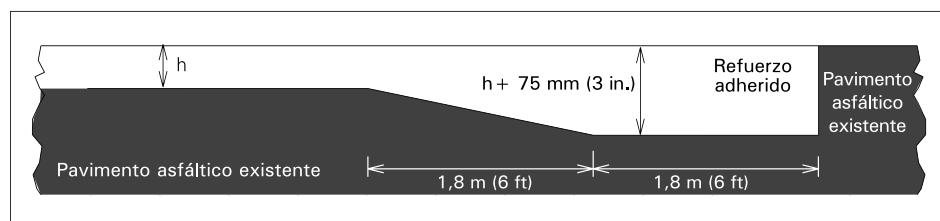


Figura 73. Transición mediante fresado y relleno para capas de refuerzo con hormigón de un pavimento asfáltico o compuesto (adaptado de ACPA 1998)

Detalles de Transición para Capas de Refuerzo con Hormigón Adherido

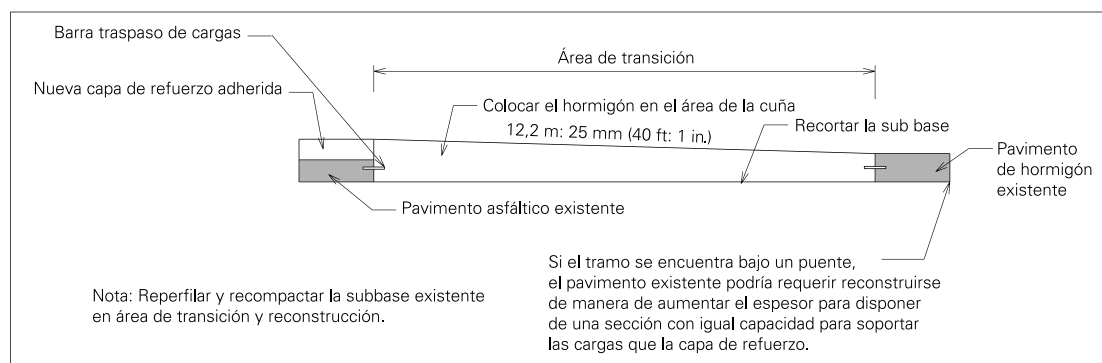


Figura 74. Nueva cuña de transición utilizada para ajustarse a losas de aproximación de un puente o mantener el gálibo bajo puentes con capas de refuerzo adheridas al pavimento de hormigón (adaptado de ACPA 1990b)

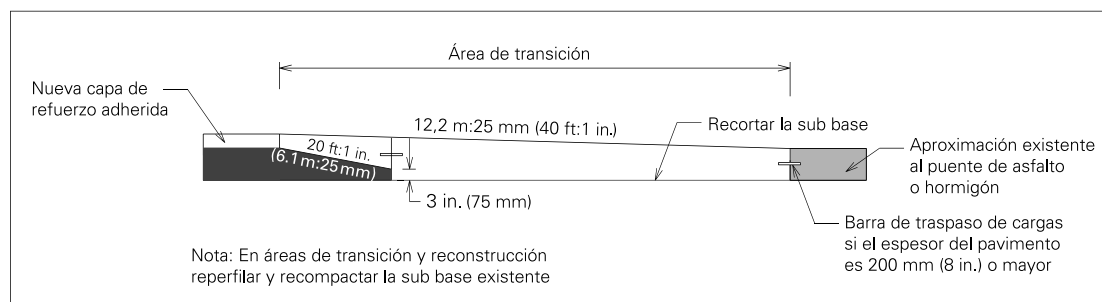


Figura 75. Nueva cuña de transición utilizada para ajustarse a losas de aproximación de un puente o mantener el gálibo bajo puentes con capas de refuerzo adheridas al pavimento asfáltico (adaptado de ACPA 1991)

Detalles de Transición para Capas de Refuerzo con Hormigón No Adherido

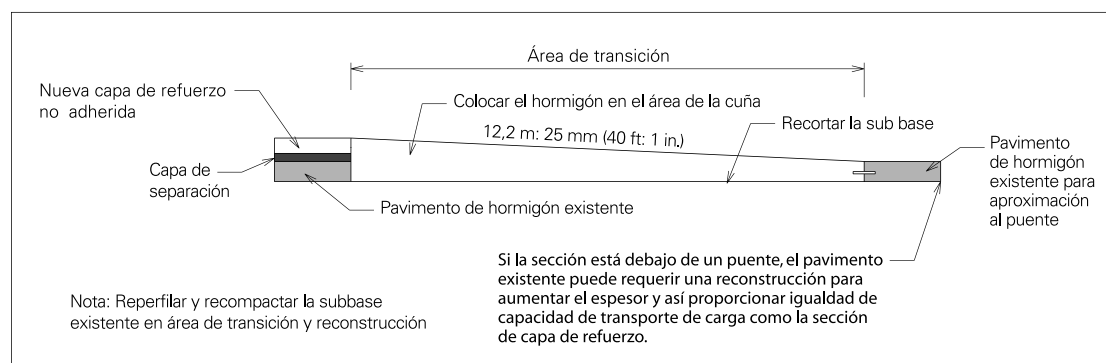


Figura 76. Nueva cuña de transición utilizada para ajustarse a losas de aproximación de un puente o mantener el gálibo bajo puentes con capas de refuerzo no adheridas al pavimento de hormigón (adaptado de ACPA 1991)

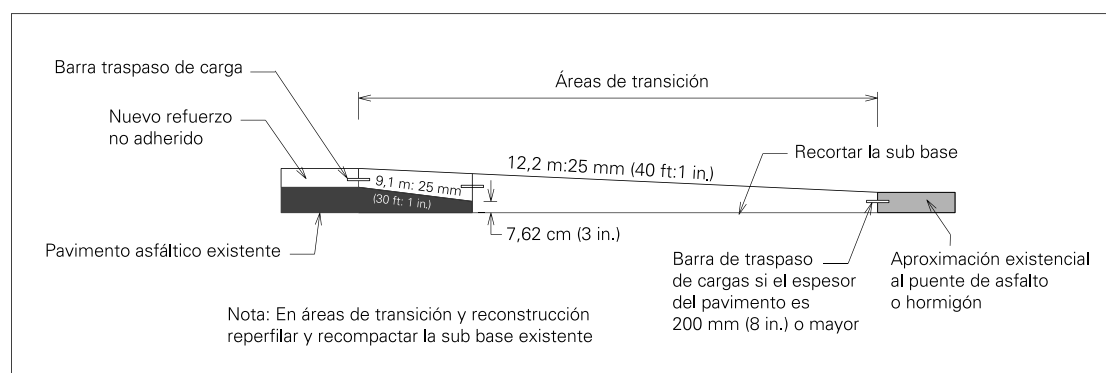


Figura 77. Nueva cuña de transición utilizada para ajustarse a losas de aproximación de un puente o mantener el gálibo bajo puentes con capas de refuerzo no adheridas al pavimento asfáltico (adaptado de ACPA 1991)

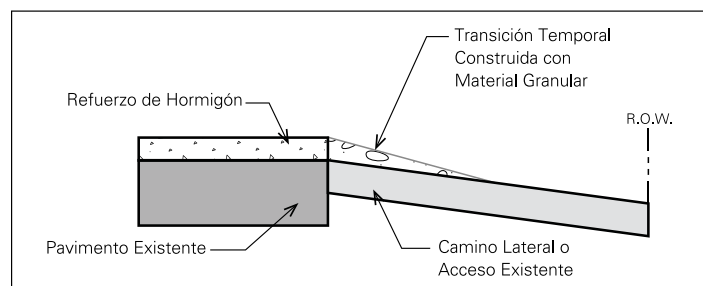


Figura 78. Transición temporal granular a camino lateral o acceso existente

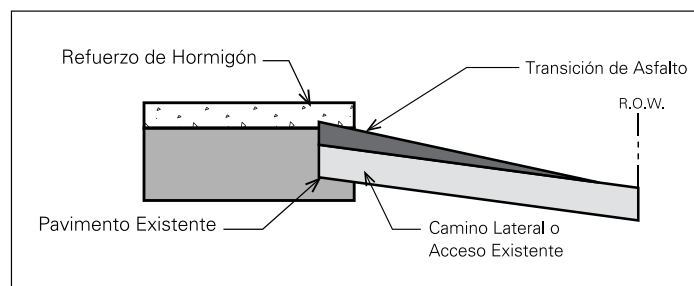


Figura 79. Cuña de transición de asfalto a un camino lateral o acceso existente

Ensanches y Adición de Pistas

La incorporación de nuevas pistas o bermas puede presentar condiciones únicas al diseño de pavimentos de hormigón, especialmente si existe un cambio en el soporte subyacente del refuerzo o si el refuerzo a conectar un pavimento de todo el espesor. En estos casos, frecuentemente se utilizan sistemas de traspaso de cargas en las juntas. Las barras de amarre se utilizan para ayudar a asegurar el traspaso de cargas por roce entre las caras de las juntas. El diseño debe considerar medidas adicionales para minimizar asentamientos diferenciales o infiltración de agua en esos lugares. Por las mismas razones, debe entenderse como deben aislarse las intersecciones con servicios públicos, y desarrollarse soluciones tipo para la disposición de las juntas que minimicen el agrietamiento descontrolado.

Los proyectos de capas de refuerzo con hormigón ofrecen una buena oportunidad para ensanchar un pavimento antiguo con pistas angostas, agregar nuevas pistas o alargar accesos. Adecuadamente diseñados y construidos, los ensanches pueden mejorar el comportamiento en lo relativo tanto a escalonamientos como agrietamientos del pavimento.

El ensanche de losas debe cuidarse cuando se diseñan capas de refuerzo con hormigón sobre fundaciones rígidas (tales como sobre pavimentos de hormigón) debido al aumento del riesgo de grietas longitudinales.

Las Figuras 80 a la 84 ilustran ensanches entre 0,9 a 1,8 m (3 a 6 ft). El objetivo de las barras de amarre que se muestran en las Figuras 80 a la 82, es amarrar el ensanche al pavimento existente. En la Figura 82 tener presente que debe tenerse cuidado para que los camiones de la construcción no vayan a soltar las barras de transferencia previamente instaladas; si existen restricciones horizontales que obligarían a circular sobre barras ya fijas, es mejor optar por equipos que insertan las barras.

Las siguientes son algunas reglas generales para ensanchar pavimentos:

- De ser posible, mantener las juntas fuera de la huella vehicular, en especial para refuerzos adheridos sobre pavimentos asfálticos y compuestos.
- En refuerzos con hormigón de 125 mm (5 in.) de espesor o mayor y secciones sin confinamiento lateral (con bermas), amarrar las juntas longitudinales con barras de amarre del n° 4 de 13 mm (0,5 in.) de diámetro, para evitar que el pavimento se separe.
- El ancho del ensanche, más que el espesor, tiene un efecto positivo para reducir tensiones en la capa de refuerzo.

No todos los detalles que se muestran se ajustarán a un proyecto específico. Aplicar los principios ilustrados en los detalles para definir elementos específicos de cada proyecto.

Los detalles del diseño de pistas por adicionar se ilustran en la Figura 85, en la página siguiente. Para prevenir agrietamiento relacionado con la expansión y contracción entre un refuerzo de hormigón y una pista de hormigón de todo el espesor adicional adyacente, usar juntas de tope sin barras de amarre.

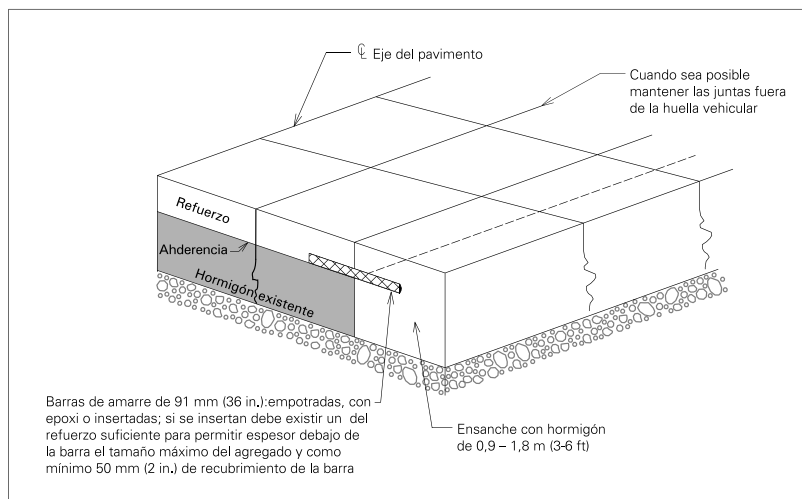


Figura 80. Capa de refuerzo adherida al pavimento de hormigón con ensanche

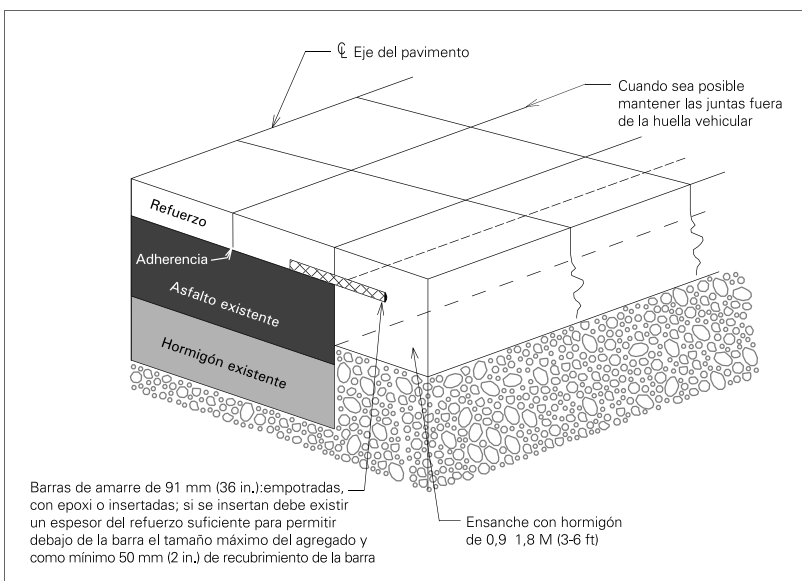


Figura 81. Capa de refuerzo adherida al pavimento de asfalto o compuesto con ensanche



Figura 82. Vista de barras de amarre para una capa de refuerzo con hormigón con ensanche

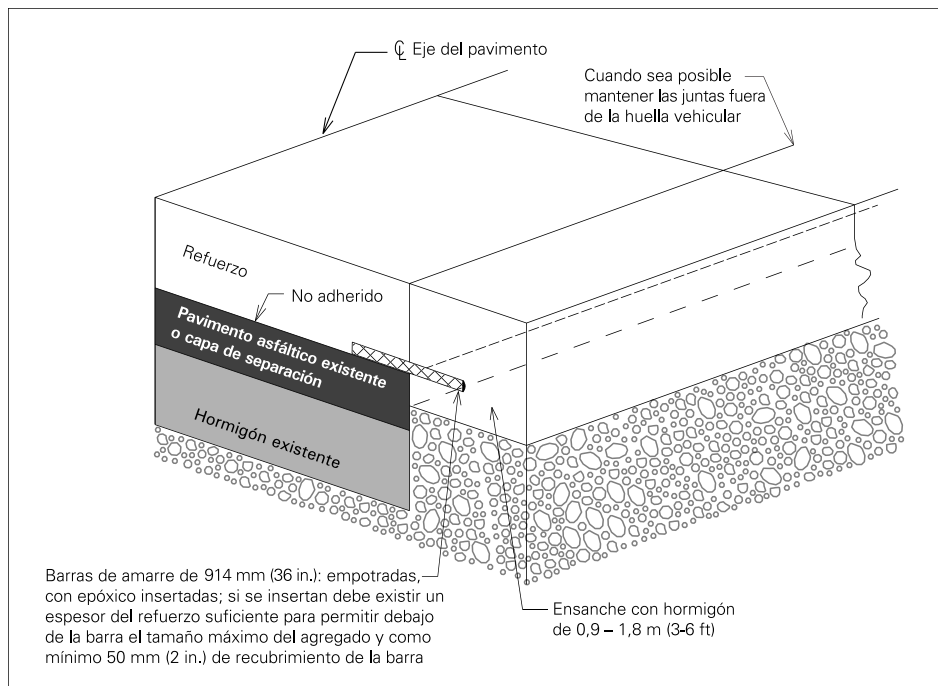


Figura 83. Capa de refuerzo no adherido de pavimento de hormigón, asfalto o compuesto con ensanche

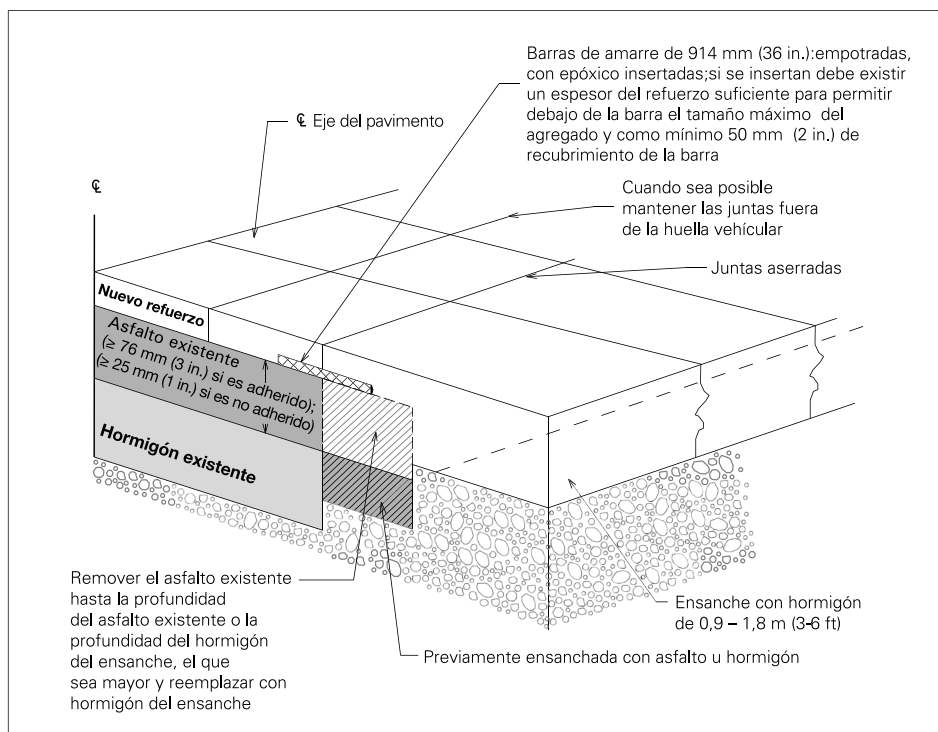


Figura 84. Refuerzo adherido o no adherido de pavimento asfáltico o compuesto (previamente ensanchado con asfalto u hormigón, a ser nuevamente ensanchado con un nuevo refuerzo de hormigón)

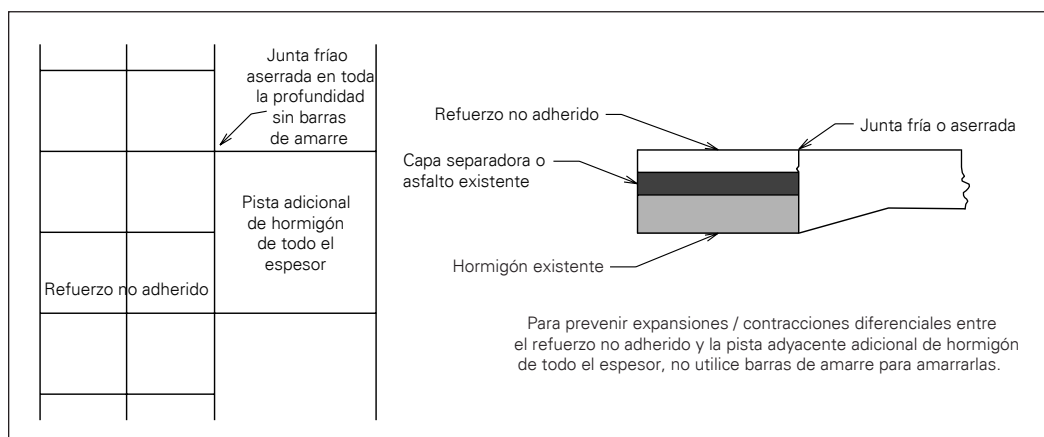


Figura 85. Refuerzo no adherido de pavimento de hormigón, asfalto o compuesto con una pista adicional de hormigón

Descargas Típicas para el Drenaje de la Capa Separadora

Las Figura 86 a la 90 ilustran varias descargas para drenar la capa separadora.

Condiciones Rurales

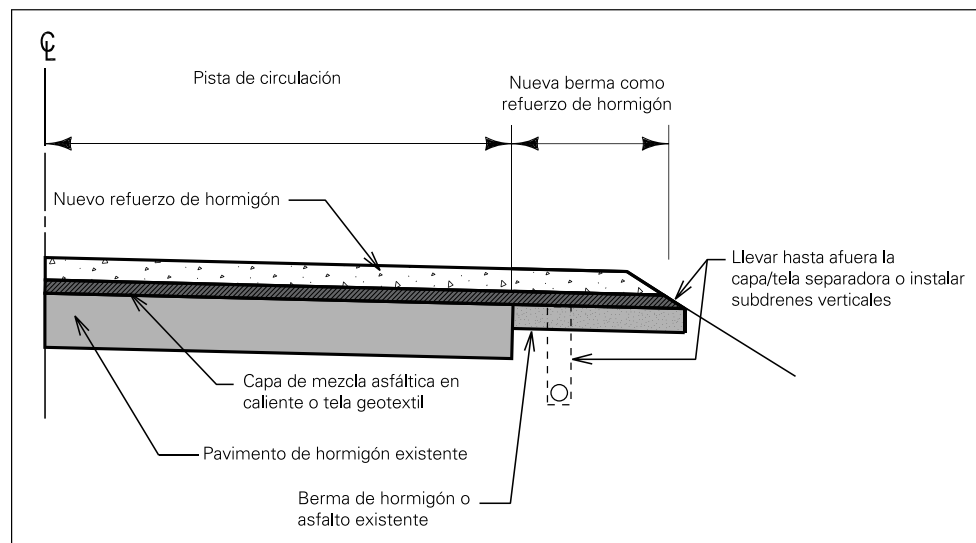


Figura 86. Descarga de capa separadora para berma reforzada con hormigón

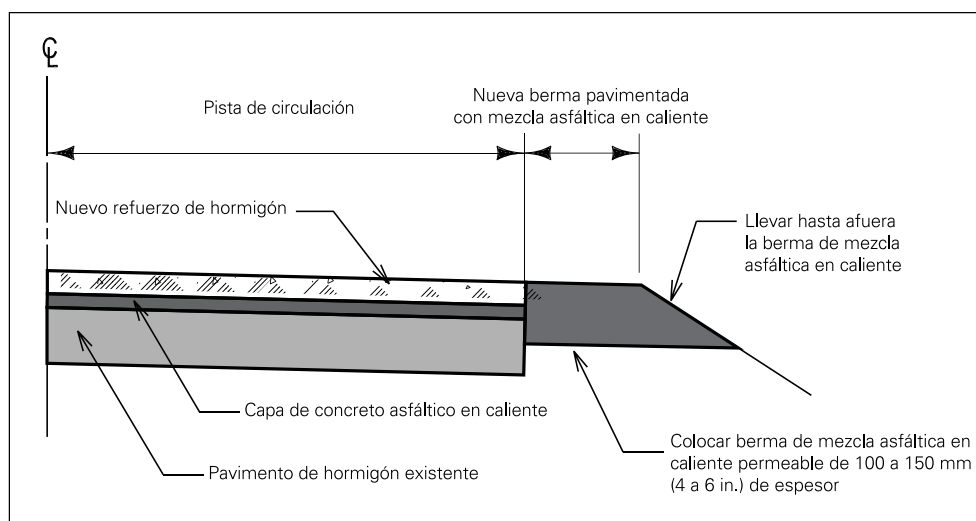


Figura 87. Descarga de capa separadora de mezcla asfáltica en caliente para berma de asfalto

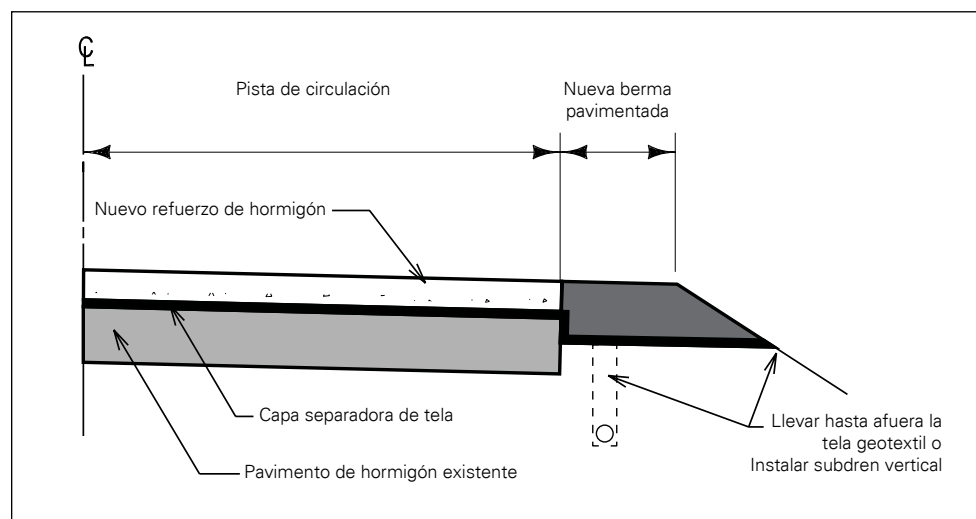


Figura 88. Descarga de capa separadora de geotextil con berma con nuevo pavimento (hormigón o asfalto)

Condiciones Urbanas

Las Cunetas se Remueven y Reponen

Se puede reducir la presión del agua en una capa separadora de geotextil drenando la tela hacia el sistema de evacuación de aguas lluvias. Si la cuneta existente se remueve y reemplaza conjuntamente con el refuerzo, la tela geotextil se puede llevar al exterior hacia un sistema de subdrenaje, nuevo o existente: ver la Figura 89.

Las Cunetas Permanecen

Si para la construcción de una capa de refuerzo no adherida la cuneta no se remueve, la tela geotextil que separa el pavimento subyacente del refuerzo, puede drenarse hacia una descarga de aguas. La tela deberá amarrarse a la pared de la descarga; ver la Figura 90.

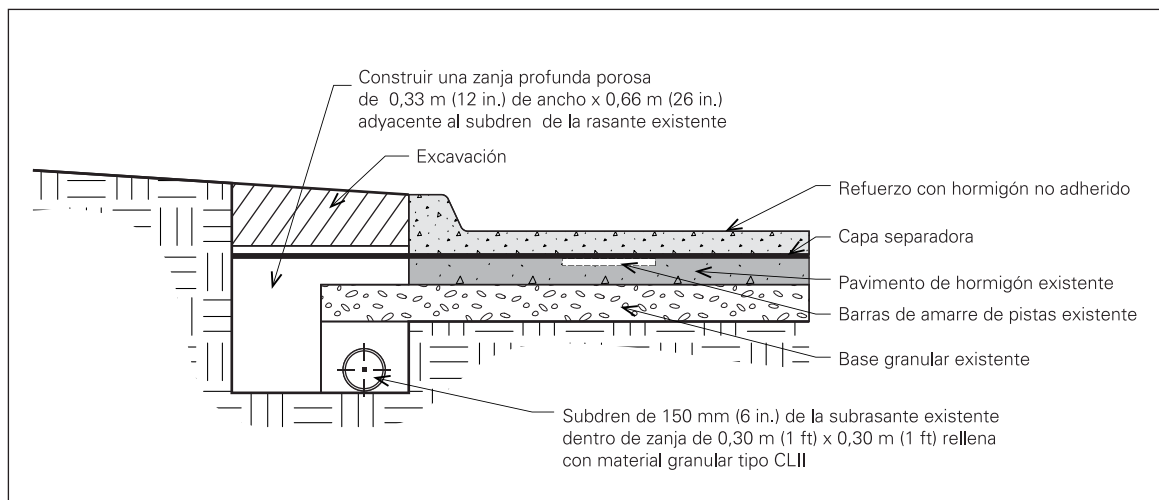


Figura 89. Drenaje de la capa separadora hacia un sistema de subdrenaje existente cuando la cuneta existente se remueve y reemplaza (fuente: Dan DeGraaf, Michigan Concrete Association)

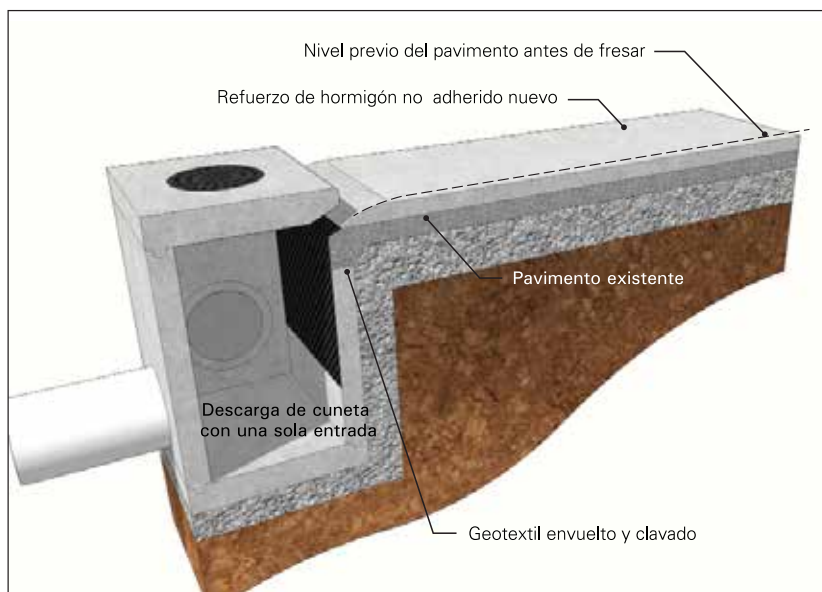


Figura 90. Drenaje de la capa separadora de tela hacia la descarga cuando la cuneta no se remueve (fuente: Snyder & Associates, Inc.)

Capítulo 5

MATERIALES Y MEZCLAS PARA CAPAS DE REFUERZOS CON HORMIGÓN

La mayoría de las mezclas para refuerzos con hormigón se diseñan y construyen con materiales estándar. Estos materiales son cemento, materiales finos complementarios (Supplementary Cementitious Materials, SCMs), agregados, agua y aditivos.

Las mezclas de hormigón pueden ser convencionales o de fraguado rápido, para circunstancias especiales; ambos tipos de mezclas pueden contener fibras. Otros materiales asociados con los refuerzos con hormigón son: barras de traspaso de cargas, barras de amarre, compuestos de curado, sellantes de juntas y capas separadoras.

Esta guía clasifica las mezclas para hormigones como convencionales o de fraguado rápido. La diferencia básica es que las mezclas de fraguado rápido se diseñan para que tengan una mayor tasa de aumento de la resistencia, permitiendo entregar el hormigón a edades más tempranas al tránsito público (ver la página 105 para instrucciones completas sobre técnicas de construcción acelerada). Independientemente si la mezcla es convencional o de fraguado rápido, el objetivo básico debe ser producir una mezcla de hormigón durable. Esta guía entrega recomendaciones generales para diseñar mezclas de hormigón durables para usar en capas de refuerzo con hormigón. La dosificación y producción de mezclas de hormigón para refuerzos deben ceñirse a las mejores prácticas, ajustándolas a las condiciones locales (ej., durabilidad, agregados, contenido de aire, etc.).

Materiales Básicos para el Hormigón

Los materiales básicos para hormigón son el cemento, agua, agregados y aditivos.

Cemento y Materiales Finos Complementarios

Normalmente, en la práctica norteamericana se utilizan mezclas para capas de refuerzos con hormigón con cementos ASTM C-150 del Tipo I y Tipo II. Cuando se desean altas resistencias a edad temprana, se puede utilizar una mayor cantidad de cemento Tipo I.

Puesto que los cementos convencionales Tipos I y II, normalmente son adecuados, no se recomienda usar cementos Tipo III en capas de refuerzo, debido al aumento de la retracción térmica y al potencial shock térmico. Tal como ocurre con un pavimento convencional, los materiales finos complementarios (SCMs) normalmente aumentan la durabilidad y facilitan la construcción. En el caso de Chile la práctica ha sido utilizar cementos que ya incorporan adiciones, tanto puzolánicas como siderúrgicas.

El uso de adiciones en el cemento presenta múltiples beneficios que van desde una mejor trabajabilidad hasta reducir la permeabilidad del hormigón endurecido, pero siempre que se curen bien. Las tasas típicas de adiciones en el cemento están entre 15 y 35 por ciento, dependiendo de la química del sistema. Las adiciones comúnmente utilizadas son las puzolanas, las cenizas volantes y la escoria de alto horno granular molida.

En la práctica norteamericana se ha visto que, cuando se utilizan materiales finos complementarios, el tiempo de fraguado del hormigón suele retardarse, especialmente con clima frío, lo que pudiera dificultar el aserrado de las juntas, antes que ocurra un agrietamiento aleatorio. Por lo tanto, para períodos extensos con clima frío, se recomienda calentar el hormigón y/o utilizar aditivos aceleradores de fraguado. Se debe verificar que el aumento de resistencia de la mezcla sea compatible con el programa de aserrado (HIPERPAV puede ayudar a determinar el riesgo de agrietamiento aleatorio). Más información se encuentra disponible en el *Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement* (Taylor 2006).

Puesto que los materiales finos complementarios pueden retardar el tiempo de fraguado con clima frío, algunas agencias restringen su uso en las estaciones frías del año. Los materiales finos complementarios pueden, sin embargo, ayudar a la construcción con clima cálido, extendiendo el tiempo disponible para la colocación. Típicamente mejoran la trabajabilidad de la mezcla; también pueden aumentar la resistencia a largo plazo del hormigón, aun cuando la resistencia a corto plazo puede disminuir. Adicionalmente, las cenizas volantes y las escorias de alto horno granular molidas, reducen efectivamente las reacciones álcali-sílice (ASR) (la disminución de la reacción álcali-sílice debe confirmarse mediante el ensayo ASTM 1567).

Agregados

Los agregados que se utilizan en las mezclas de hormigón van desde piedra triturada a grava fluvial y depósitos glaciales. Para asegurar la longevidad del pavimento, el agregado no sólo debe poseer la tenacidad adecuada sino que también ser física y químicamente estable dentro de la mezcla de hormigón. Las agencias generalmente exigen que el agregado cumpla con la norma ASTM C 33 en cuanto a propiedades físicas; se debe especificar un agregado bien graduado. A menudo se requieren extensos ensayos de laboratorio o resultados de comportamiento en el terreno para seleccionar con seguridad un agregado durable.

Los agregados bien graduados ayudan a mejorar la condición de permeabilidad deseada de varias

maneras, ver la Tabla 15. Primero, las mezclas confeccionadas con agregados bien graduados tienden a ser más trabajables, lo que implica que requieren menos agua para alcanzar la misma trabajabilidad y por lo tanto se puede utilizar una menor razón agua/cemento (A/C). Segundo, los agregados bien graduados permiten utilizar más agregados y menos pasta. Debido a que la pasta es más permeable que el agregado, al reducir su contenido, se mantiene la trabajabilidad, mientras se reduce la permeabilidad (Yurdakul 2010). Tercero, una mejor trabajabilidad lleva a una mejor consolidación de la mezcla, también mejora (reduce) la permeabilidad (Tayabji et al 2007) y reduce el riesgo de una sobre vibración y sus problemas asociados. Finalmente, la trabajabilidad mejorada de las mezclas de hormigones bien graduadas permiten una colocación más eficiente, especialmente para el trabajo manual, por lo que el pavimento puede terminarse antes, mientras la mezcla se encuentra aún fresca.

El tamaño máximo del agregado utilizado para mezclas de hormigón para capas de refuerzo está en función del espesor del refuerzo. En los refuerzos con hormigón más delgados puede ser necesario reducir el tamaño estándar del agregado por utilizar en el hormigón para el pavimento. Se recomienda que se utilice para el agregado grueso el máximo tamaño práctico, de manera de minimizar la necesidad de pasta, reducir la contracción, minimizar costos y mejorar las propiedades del traspaso mecánico de cargas por roce en las juntas y grietas.

Tabla 15. Efectos de la granulometría del agregado en las propiedades de la mezcla

Agregados Bien Graduados
Las mezclas de hormigones preparadas con agregados de matriz bien graduada y densa, tienden a:
• Reducir la demanda de agua • Reducir la demanda de materiales cementantes • Reducir la retracción potencial • Mejoran la trabajabilidad • Requieren de un mínimo de terminaciones • Se consolidan sin segregarse • Mejoran la resistencia y el comportamiento a largo plazo
Agregados con Granulometría Discontinua
Las mezclas de hormigones preparadas con agregados de granulometría discontinua, pueden:
• Segregarse fácilmente • Contener una mayor cantidad de finos • Requerir más agua • Requerir más materiales cementantes para cumplir con los requisitos de resistencia • Aumentar la susceptibilidad a la retracción • Tener un comportamiento limitado a largo plazo

Aun cuando ha sido común en las dos últimas décadas utilizar tamaños máximos para el agregado grueso entre 19 y 25 mm (0,75 a 1 in.), ciertas sobre capas pudieran requerir tamaños máximos menores.

Para estructuras de pavimentos no reforzados, se recomienda que el tamaño máximo del agregado sea igual a un tercio del espesor de la losa.

El coeficiente de expansión térmica (CTE) es un parámetro particularmente importante al momento de seleccionar el agregado para un refuerzo con hormigón adherido de un pavimento de hormigón existente. Debido a que el agregado conforma la mayor parte de la masa de un hormigón, el coeficiente de expansión térmica es un buen indicador de los movimientos que experimentará debido a expansiones y contracciones térmicas. Al utilizar en la mezcla para el refuerzo un agregado con un coeficiente de expansión térmica similar a la del pavimento existente, se asegura que las dos capas se muevan en conjunto, minimizando en el plano de adherencia las tensiones generadas por movimientos diferenciales, lo que ayuda a mantener la adherencia entre las capas. El coeficiente de expansión térmica se puede determinar con el ensayo provisional AASHTO TP-60 (coeficiente de expansión térmica del hormigón de cemento hidráulico).

Si el coeficiente de expansión térmica de la capa de refuerzo, no puede ser similar al del pavimento de hormigón subyacente, debe ser menor que aquel. La superficie del refuerzo está expuesta a mayores variaciones térmicas que el pavimento subyacente, por lo tanto, entre menor es el coeficiente de expansión térmica del refuerzo, menores serán los movimientos diferenciales entre el refuerzo y el pavimento subyacente.

Aditivos

Comúnmente se agregan varios aditivos y adiciones a las mezclas de hormigón. Estos incluyen lo siguiente:

- El aire incorporado protege el hormigón endurecido de los daños por congelamiento-deshielo y desprendimientos por descongelamiento. Sin embargo, el aire incorporado también ayuda a mejorar la trabajabilidad del hormigón fresco, reduciendo significativamente la segregación y la exudación. El rango típico de aire incorporado para hormigones para refuerzo es entre 5 y 7 por ciento.
- Los reductores de agua se adicionan a las mezclas de hormigón para reducir la cantidad de agua necesaria para un hormigón de una determinada consistencia. Esto permite una menor razón agua-cementantes (A/C) manteniendo la docilidad deseada y por lo tanto, tiene el efecto benéfico de aumentar la resistencia y reducir la permeabilidad.

Mezclas Convencionales de Hormigón

En la construcción de capas de refuerzo con hormigón típicamente se utilizan mezclas convencionales para pavimentación. Igual que con pavimentos de hormigón convencionales, es esencial diseñar una mezcla adecuada para el buen comportamiento del refuerzo de hormigón. Cada uno de sus componentes debe seleccionarse cuidadosamente de manera que resulte una mezcla densa, relativamente impermeable y resistente, tanto a los efectos medioambientales como las nocivas reacciones químicas que se producen a lo largo de la vida de servicio.

Existen numerosas referencias para preparar mezclas durables de hormigón; la siguientes sección es una adaptación de la *Guide for Optimum Joint Performance of Concrete Pavements* (Taylor et al. 2012) que proporciona recomendaciones para diseñar y construir pavimentos de hormigón.

La permeabilidad de una mezcla de hormigón determina cuán fácilmente la humedad puede infiltrarse en la estructura pastosa del hormigón. Es deseable una permeabilidad baja para disminuir la tasa a la que el hormigón se saturará. Un trabajo reciente, dirigido por el DOT de Dakota del Sur, incluye recomendaciones para lograr hormigones durables, densos e impermeables, que resistan el dañino efecto de los químicos para descongelar (Sutte et al. 2008) y prevengan o reduzcan el deterioro de las juntas causado por su saturación con agua. Las recomendaciones incluyen el diseño de mezclas con baja razón agua-cemento (A/C), sistemas de aire incorporado adecuados, uso apropiado de materiales finos complementarios y agregados bien graduados.

La permeabilidad a los 56 días debe ser inferior que 1.500 Coulombs cuando se ensaya en conformidad con el ensayo de permeabilidad acelerada con cloruro (ASTM C 1202) o 25 k Ω - cm cuando se ensaya utilizando la resistividad superficial medida de acuerdo con AASHTO TP 95.

Baja Razón Agua-Cemento (A/C)

La permeabilidad de la mezcla de hormigón está básicamente dada por la cantidad de agua en el hormigón al momento del mezclado. Al utilizar menos agua la permeabilidad decrece. La razón agua-cemento (A/C) no debe exceder de 0,45; idealmente, la razón A/C debe estar entre 0,38 y 0,42 (especialmente para ambientes con ciclos de hielo-deshielo).

Existen varias formas para lograr sistemáticamente bajas razones A/C manteniendo una trabajabilidad satisfactoria; entre ellas una combinación de las siguientes:

- Utilizar materiales finos complementarios en dosis apropiadas.

- Utilizar aditivos reductores de agua.
- Utilizar agregados con una granulometría combinada que reduzca el volumen de pasta y mejore la trabajabilidad.
- Controlar la temperatura del hormigón.
- No agregar agua al camión betonera (camión mezclador) en el lugar de la entrega que exceda la correspondiente a la razón A/C de diseño.

Sistema de Aire Incorporado Adecuado

La durabilidad al hielo-deshielo depende fundamentalmente del ambiente (condiciones de helada con humedad) y del sistema de aire incorporado del hormigón. El medio habitual para proteger el hormigón contra los daños causados por los ciclos hielo-deshielo, es que cuente con un sistema de aire incorporado, consistente de una cantidad importante de huecos muy cercanos unos de los otros. Es vital que el hormigón in-situ cuente con un sistema de aire incorporado adecuado. Los sistemas de aire incorporado son afectados por factores como variaciones en la composición de los constituyentes del hormigón, las técnicas utilizadas en la colocación y las actividades de terminación. Para hormigones expuestos a productos químicos para contrarrestar el hielo o la alta saturación de agua (que se considera como una “exposición severa”), se recomienda un factor de espaciamiento de los huecos igual o menor que 0,2 mm (0,008 in.), junto con una área superficial específica de los vacíos con aire igual o mayor que 24 mm²/mm (600 in²/in.). Para evitar daños, el PCA Bulletin EB001.15, recomienda un mínimo entre 5 y 8 por ciento de aire incorporado para hormigones in-situ (Kosmatka and Wilson 2011). Adicionalmente, basándose en trabajos recientes de laboratorio, Sutter y Ley han informado que estos valores son apropiados (Ley et al. 2012).

Los ensayos para determinar el contenido de aire en el hormigón fresco son el método por presión (ASTM C 231/AASHTO T 152), el método volumétrico (ASTM C 173/AASHTO T 196) y el método gravimétrico (ASTM C 138/AASHTO T 121). El contenido de aire debe controlarse mediante muestras extraídas frente a la pavimentadora y periódicamente, de detrás de ella, de manera de medir cuanto del contenido de aire se pierde en la colocación. Comparando periódicamente las diferencias en el contenido de aire de muestras del mismo lote, tanto de adelante como de atrás de la pavimentadora, se puede estimar la estabilidad o calidad del sistema de aire incorporado. Cuando la diferencia entre los dos ensayos resulta menor del 2 por ciento, el factor de espaciamiento de los huecos en el hormigón endurecido es normalmente aceptable. Si la diferencia es mayor que el 2 por ciento, debe ajustarse la dosificación y/o modificarse el procedimiento de colocación de manera de

FAQ- ¿Cómo determino la resistencia adecuada para entregar al tránsito?

La resistencia para entregar al tránsito debe determinarse basándose en una estimación de las cargas del tránsito inicial, el espesor de la capa de refuerzo de hormigón y la posibilidad de disminuir las cargas en los bordes utilizando elementos para controlar el tránsito. La Tabla 16 proporciona directrices generales relacionadas con la resistencia y espesor del hormigón para entregarlo al tránsito.

Tabla 16. Espesor de la losa y resistencia de apertura al tránsito

Espesor de la Losa	Resistencia de Apertura al Tránsito	
	Compresión	Flexotracción
150 mm (6 in.)	24 MPa (3.600 psi)	3,7 MPa (540 psi)
175 mm (7 in.)	19 MPa (2.700 psi)	2,8 MPa (410 psi)
200 mm (8 in.)	15 MPa (2.150 psi)	2,3 MPa (340 psi)
230 mm (9 in.)	14 MPa (2.000 psi)	2,0 MPa (300 psi)
250 mm (10 in.) +	14 MPa (2.000 psi)	2,0 MPa (300 psi)

asegurar la protección del sistema in-situ. El comportamiento del hormigón puede estimarse en el laboratorio (durante la etapa de diseño) mediante ASTM C 666/AASHTO T 161.

Mezclas de Fraguado Rápido

Aun cuando las mezclas de fraguado rápido y las prácticas de pavimentación expeditas, se utilizan normalmente en proyectos de refuerzos con hormigón, existe cierta preocupación respecto a los potenciales efectos perjudiciales en hormigones de fraguado rápido y construcción en plazos reducidos, en la durabilidad a largo plazo del hormigón debido a las retracciones excesivas, generación de calor y pobre micro estructura.

Algunas agencias utilizan mezclas de hormigón de alta resistencia inicial con un alto contenido de material cementante, baja razón agua-cemento (A/C) y menor tamaño máximo del agregado (típicamente 19 mm (0,75 in.).

Estas mezclas pueden utilizarse incorporando aditivos aceleradores del fraguado para obtener altas resistencias iniciales que permitan entregar el refuerzo al tránsito dentro de un periodo corto. Se utilizan aditivos reductores de agua para disminuir la razón agua-cemento logrando las propiedades de trabajabilidad deseadas.

Otros Materiales

Otros materiales que se pueden agregar a la mezcla o utilizarse como parte del proceso de construcción son las fibras, las capas separadoras, las barras de traspaso de cargas y de amarre, los sellantes para las juntas y los compuestos de curado.

FAQ- ¿De qué preocuparse cuando se utilizan mezclas de fraguado rápido?

Se han presentado algunos problemas de comportamiento en mezclas de alta resistencia inicial y alto calor de hidratación. Existe un compromiso entre una apertura temprana y la durabilidad a largo plazo, que debe evaluarse antes de decidir si se utiliza una mezcla de fraguado rápido. La apertura temprana puede a menudo lograrse mediante una buena programación y coordinación de la construcción y evitar la necesidad de mezclas de fraguado rápido. En consecuencia, durabilidad y velocidad de construcción son factores que deben sopesarse en conjunto durante la fase de diseño. En general, siempre que sea posible, deben preferirse las mezclas convencionales.

FAQ-¿Por qué algunas mezclas de fraguado rápido han fallado prematuramente?

Típicamente, comparadas con las mezclas convencionales, las mezclas de fraguado rápido tienen un potencial más alto para contraerse y alabearse, debido al mayor contenido de pasta. La mayor contracción y alabeo, que se genera en etapas tempranas, puede ocasionar agrietamiento prematuro que va en detrimento del desarrollo de la adherencia, de donde derivan deterioros prematuros en la capa de refuerzo.

Fibras Estructurales para Capas de Refuerzos con Hormigón

En general, la mayoría de las capas de refuerzo con hormigón no requieren refuerzos con fibras. Sin embargo, se justifica el uso de fibras, en ciertas situaciones donde, por ejemplo, existen restricciones verticales que limitan el espesor del refuerzo, se prevé tránsito con cargas muy pesadas, es deseable aumentar el espaciamiento entre las juntas o no se pueden utilizar barras de traspaso de cargas convencionales.

En las últimas décadas ha resurgido utilizar fibras para reforzar el hormigón; ver la Figura 91. Eso en razón que utilizadas adecuadamente, las nuevas tecnologías de refuerzo con fibras mejoran el comportamiento de las capas de refuerzo delgadas de hormigón. Para determinar si se justifica incorporar macro fibras en un refuerzo con hormigón deben analizarse basándose en factores como, la condición y

espesor de la base del pavimento existente, la terminación deseada por el propietario, la vida de diseño esperada, el espesor del refuerzo y los costos. Dosificadas apropiadamente, las fibras pueden realizar las siguientes funciones dentro de la mezcla de hormigón:

- Ayudar a incrementar la resistencia del hormigón (permitiendo losas más delgadas).
- Ayudar a controlar los movimientos diferenciales de las losas causados por alabeos, cargas pesadas, temperaturas, etc. (permitiendo juntas más espaciadas).
- Aumentar la resistencia del hormigón al agrietamiento por retracción plástica (mejorando la estética y el comportamiento del hormigón).
- Mantener las grietas firmemente juntas (mejorando la estética y el comportamiento del hormigón).



Figura 91. Fibras sintéticas 38,1 mm (1,5 in.) a 57,25 mm (2,25 in.)

Aún cuando las fibras de acero tienen una larga y exitosa historia en aplicaciones para pavimentos, en las últimas dos décadas han predominado las fibras sintéticas debido a la facilidad de manejo, mejores características de dispersión (es decir menos “erizos”) y mayor resistencia a daños por oxidación. Normalmente las macro fibras estructurales (ASTM C 116 Tipo III, Sección 4.1.3) se dosifican a razón de 1,8 a 2,4 kg/m³ (3 a 4 lb/yd³).

Con la actual tecnología de diseño, la incorporación de fibras, sean sintéticas, de acero o una combinación de ambas, se especifica para producir ciertas características del comportamiento del hormigón endurecido. Estas características se correlacionan con pronósticos de un mejor desempeño de la resistencia a la flexotracción y en consecuencia, de una mayor capacidad para soportar el fatigamiento. Debe considerarse, que en el mejor de los casos, con la tecnología actual, la resistencia real del hormigón sólo aumenta ligeramente. Asimismo, el hormigón, se agrietará de igual manera si una carga excede lo que puede mecánicamente soportar, según el límite superior de resistencia y las propiedades geométricas de la sección; sin embargo, soportará un mayor número de cargas menores hasta ese punto y continuará soportándolas pasado él. Una simple analogía es pensar que el hormigón efectivamente tiene una resistencia mayor de lo que arroja el ensayo de la viga; este efecto varía en función de la dosificación, no en peso, sino que en el volumen de fibras dentro de la mezcla de hormigón.

Tabla 17. Resumen de tipos de fibras

Tipo de Fibra	Tamaño (D = diámetro) (L = longitud)	Años Usada en U.S	U Volumen Típico de Fibra, kg/m ³ (lb/yd ³)	Comentarios
Micro Fibras Sintéticas	D < 0,3 mm (0,012 in.) L= 13 a 57 mm (0,5 a 2,25 in.)	35	0,59 a 2,4 kg/m ³ (1,0 a 3,0 lb/yd ³)	Para reducir el agrietamiento por retracción plástica; efectos limitados en el comportamiento general del refuerzo; más problemas de trabajabilidad al usar las tasas más altas
Macro Fibras Sintéticas	D > 0,3 mm (0,012 in.) L= 38 a 57 mm (1,5 a 2,25 in.)	15	2,4 a 4,4 kg/m ³ (3,0 a 7,5 lb/yd ³)	Mejora el comportamiento a la flexión pos-agrietamiento, la resistencia a las fatigas por impactos; menores espesores de hormigón; mayor espaciado de las juntas, juntas y grietas más cerradas; mejores propiedades de manejo y características de dispersión que las fibras de acero; no expuestas a corrosión
Macro Fibras Metálicas	L= 19 a 64 mm (0,75 a 2,5 in.)	40	19 a 59 kg/m ³ (33 a 100 lb/yd ³)	Aumenta la resistencia a la deformación, resistencia al impacto, mejor comportamiento a la flexión pos agrietamiento, mejora la resistencia a la fatiga, control de grietas pos ACI 544.4R
Mezclas		15	Varios	Mezclas de pequeñas dosis de fibras micro sintéticas y grandes dosis ya sea de macro fibras sintéticas o macro fibras metálicas

- Fibras de material (polímero) sintético
- Polipropileno
 - Monofilamentos (cilíndricos)-Fibras del mismo largo
 - Multifilamentos-Fibras de monofilamentos de diferentes largos
 - Fibrilados (rectangulares)-Fibras con forma de red
 - Poliéster
 - Nylon

La Tabla 17 entrega un resumen de las actuales categorías de fibras, con una descripción general y las tasas de aplicación. Para un análisis más detallado sobre las fibras, ver el Apéndice C, Capas de Refuerzo con Fibras.

Materiales para Capas Separadoras

La capa separadora (o interface) es un elemento importante en las capas de refuerzo con hormigón no adherido a pavimentos de hormigón existentes. El comportamiento de estos refuerzos depende en gran medida en utilizar una capa separadora para aislar las dos capas de hormigón. Todas las capas de refuerzo con hormigón no adherido a pavimentos de hormigón, deben separarse del pavimento de hormigón existente mediante una capa relajadora de tensiones o capa separadora para prevenir las grietas reflejadas por los movimientos del pavimento existente. La capa separadora proporciona un plano de corte que alivia las tensiones y ayuda a prevenir que las grietas del pavimento existente se reflejen hacia el nuevo refuerzo.

Las capas separadoras tienen tres propósitos:

1. Aislar los movimientos del pavimento subyacente - es un plano de corte que alivia tensiones, mitiga la reflexión de grietas y puede evitar la adherencia con el pavimento existente.
2. Drenaje - la capa separadora debe ser impermeable de manera de impedir que el agua penetre bajo el refuerzo o el agua

infiltrada en la sección transversal debe canalizarse hacia los bordes del pavimento.

3. Acolchonar - es para el refuerzo un colchón que reduce las cargas por soportar y los efectos dinámicos de las cargas del tránsito y que impide la trabazón en el escalonamiento existente.

Capa Separadora de Asfalto

Hasta el año 2010, las capas separadoras más comúnmente utilizadas en los Estados Unidos eran las mezclas convencionales de asfalto. Para la mayoría de los proyectos, una capa de espesor nominal 25 mm (1 in.) cubre adecuadamente las irregularidades del pavimento existente. Puede aumentarse ligeramente el espesor si existen irregularidades suficientemente grandes como para entorpecer las operaciones de colocación. Durante las operaciones de pavimentación, mezclas asfálticas que contienen altos porcentajes de aceite ligante conjuntamente con un menor tamaño máximo del agregado, contribuyen a que se produzcan desplazamientos de los canastillos con las barras de traspaso de cargas, debido a que el hormigón resbala sobre la capa separadora. Este problema puede aliviarse utilizando mezclas convencionales, con bajos contenidos de ligante, que no se sellan completamente y que proporcionan fricción adicional durante la operación de pavimentación.

La capa separadora no proporciona un mejoramiento estructural significativo; por lo tanto, debe evitarse colocar capas excesivamente gruesas.

Una capa de refuerzo con hormigón no adherido con mal drenaje y que además, debe soportar tránsito pesado de camiones, es proclive a que las capas separadoras confeccionadas de mezclas de asfalto convencionales experimenten desprendimientos del asfalto. Con el propósito de reducir el efecto succión por presión de poros e incrementar la estabilidad, algunos estados modifican las mezclas asfálticas de manera hacerlas más porosas. Para ello, se reduce el contenido de arena y se aumenta el volumen de gravilla de 10 mm (0,38 in.) del agregado. La mezcla así modificada tiene menor peso unitario

Tabla 18. Granulometría para capa separadora de asfalto; DOT de Michigan

Tamiz	Porcentaje que pasa
12 mm (ASTM 1 ½ in.)	100
10 mm (ASTM 3/8 in.)	85–100
5 mm (ASTM N° 4)	22–38
2,5 mm (ASTM N° 8)	19–32
1,18 mm (ASTM N° 16)	15–24
0,63 mm (ASTM N° 30)	11–18
0,315 mm (ASTM N° 50)	8–14
0,160 mm (ASTM N° 100)	5–10
0,08 mm (ASTM N° 200)	4–7

y menor contenido de asfalto y su costo es comparable con una mezcla de superficie típica. El DOT de Michigan ha diseñado una mezcla con un agregado de granulometría modificada para controlar el desprendimiento de asfalto en capas separadoras: ver la Tabla 18.

Se han utilizado otros materiales para capa separadora; sin embargo, el comportamiento de estos materiales ha sido inconsistente (para detalles sobre otras capas separadoras, ver Smith et al. (2002) y Rasmussen and Garber (2009)).

Capas Separadoras de Geotextil no Tejido

Una alternativa a la capa separadora de asfalto, son los geotextiles no tejidos; ver la Figura 92 (ver también detalles del diseño en las Figuras 88 – 90 en páginas 73 – 74). Las telas geotextiles no tejidas han tenido un uso creciente a partir del año 2010. Sin embargo, antes de optar como capa separadora, por un geotextil delgado a cambio de una capa más gruesa de asfalto, debe evaluarse cuidadosamente la condición estructural del pavimento existente, en especial, cuando el pavimento por reforzar presenta un escalonamiento severo.

De acuerdo con Leykauf and Birman (2006) de la Munich University of Technology, los geotextiles proporcionan un soporte uniforme y elástico a las losas de hormigón y consecuentemente, reducen las tensiones debidas a gradientes de temperatura y humedad. También reducen los procesos de emergencia de finos y previenen la reflexión de la junta de la base adherida sin necesidad de chaflán (notching).

Leykauf and Birman (2006) también señalan que “los pavimentos de hormigón con capas separadoras de geotextil se recomiendan especialmente para capas de refuerzo con hormigón de antiguos pavimentos de hormigón en túneles y sobre bases rígidas”.

En climas fríos (primavera y otoño) las capas separadoras de geotextil de color negro ayudan a mantener una temperatura más elevada durante la colocación de la capa de refuerzo, debido a que poseen moléculas de carbón que absorben la energía ultravioleta. Sin embargo, esto no es deseable en condiciones de clima cálido, particularmente cuando el tejido alcanza 43° C (110°F) o más. En esa situación, se debe enfriar

la tela rociándola con agua. Para minimizar la absorción de calor, recientemente se han desarrollado telas blancas, que ayudan a reflejar la energía ultravioleta en tiempo cálido y soleado; ver la Figura 93. Sin embargo, durante el otoño y la primavera, la tela blanca no es la mejor opción para evitar la transferencia de calor desde el refuerzo de hormigón hacia la tela.

La Tabla 19, muestra especificaciones de geotextiles por utilizar como capa separadora en refuerzos no adheridos. Al especificar capas separadoras de geotextil, debe señalarse el peso por metro cuadrado (yarda cuadrada) y el espesor. Siguen dos ejemplos:



Figura 92. Capa separadora de geotextil (The Transtec Group (sin fecha))

Tabla 19. Propiedades de geotextiles para capa separadora (The Transtec Group (sin fecha))

Propiedad	Requerimientos	Ensayo
Tipo de geotextil	No tejido, punzonado, sin tratamiento térmico con rodillos †	EN 13249, Annex F (Certification)
Color	Uniforme/nominalmente fibras del mismo color	(Inspección Visual)
Masa por unidad de área	$\geq 450 \text{ g/m}^2$ (13,3 oz/yd ²)* $\geq 500 \text{ g/m}^2$ (14,37oz/yd ²) $\leq 550 \text{ g/m}^2$ (16,2 oz/yd ²)	ISO 9864 (ASTM D 5261)
Espesor bajo carga (presión)	[a] a 2 kPa (0,29 psi) $\geq 3,0 \text{ mm}$ (0,12 in.) [b] a 20 kPa (2,9 psi) $\geq 2,5 \text{ mm}$ (0,10 in.) [c] a 200 kPa (29 psi) $\geq 0,10 \text{ mm}$ (0,04 in.)	ISO 9863-1 (ASTM D 5199)
Resistencia a la tracción, método tira ancha	$\geq 10 \text{ kN/m}$ (685 lb/ft)	ISO 10319 (ASTM D 4595)
Máxima elongación, método tira ancha	≤ 130 por ciento	ISO 10319 (ASTM D 4595)
Permeabilidad del agua en dirección normal bajo carga (presión)	$\geq 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ($3.3 \times 10^{-4} \text{ ft/s}$) a 20 kPa (2.9 psi)	DIN 60500-4 (ASTM D 5493 modificada)
Permeabilidad del agua en el plano (trasmisividad) bajo carga (presión)	[a] $\geq 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ($1.6 \times 10^{-3} \text{ ft/s}$) a 20 kPa (2.9 psi) [b] $\geq 2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ($6.6 \times 10^{-4} \text{ ft/s}$) a 200 kPa (2.9 psi)	ISO 12858 (ASTM D 6574)* o ISO 12958 (ASTM D 4716 modificada)
Resistencia al desgaste	Resistencia residual ≥ 60 por ciento	EN 12224 (ASTM D 4355 @ 500 h de exposición sólo para material gris, blanco o negro)
Resistencia al álcali	≥ 96 por ciento polipropileno/polietileno	EN 13249, Anexo B (Certificación)

* Agregado a especificación de material para refuerzos (The Transtec Group (sin fecha))

† Llamado “calendering” es un proceso por el que se hace pasar el geotextil entre uno o más rodillos calientes, durante la fabricación; este proceso modifica la superficie del geotextil. El Calendering puede reducir las propiedades de absorción del geotextil por el lado tratado.



Figura 93. Tela geotextil de color claro utilizada como capa separadora para un refuerzo no adherido

- ≤ 100 mm (4 in.) – 440 gr/m² (13 oz/yd²) @ 3,3 mm (130 mils).
- ≥ 125 mm (5 in.) – 510 gr/m² (15 oz/yd²) @ 4,3 mm (170 mils).

Se recomienda que cada agencia de carreteras, basándose en su experiencia y condiciones medio ambientales, desarrolle sus propios criterios sobre el peso y espesor que deben tener los geotextiles para capas separadoras.

Barras de Traspaso de Cargas y de Amarre

Cuando se requieren para tránsito pesado (típicamente para pavimentos de 175 mm (7 in) o mayor espesor), las barras de traspaso de cargas son barras de acero grado 60 que cumplen con ASTM A615 o AASHTO M31. Las dimensiones de las barras de traspaso de cargas, su disposición y revestimiento deben seleccionarse según la localización específica del proyecto y del nivel de tránsito.

- Las barras de traspaso de carga deben colocarse nominalmente en el tercio central del espesor de la losa. Debido al espesor variable de los refuerzos con hormigón, no es siempre posible colocar las barras de traspaso de cargas a la mitad del espesor (recomendaciones de Snyder (2011) indican que la eficiencia en la transmisión de las cargas es adecuada con un recubrimiento mínimo de 50 mm (2 in.)). Especificar una sola altura de canastillo que proporcione un recubrimiento adecuado, para cada espesor nominal de refuerzo.
- En algunos casos, debido al soporte que proporciona el antiguo pavimento, no se utilizan barras de traspaso en las capas de refuerzo, o sus tamaños y cantidad fueron reducidos.
- Típicamente las barras de amarre son barras de acero, grado 40, que cumplen con las especificaciones de ASTM A615 o AASHTO M31. Barras de amarre de acero deformado del N° 4 o N° 5 (utilizadas para espesores de losas ≥ 250 mm (10 in.)) típicamente se colocan espaciadas a 76 cm (30 in.), pero en algunos casos se utilizan espaciamientos mayores.

Sellantes para Juntas

Para sellar las juntas se utilizan materiales con contenido de caucho, colocados en caliente que cumplen con ASTM D6690; AASHTO M301 o para diseños normales, materiales con silicona que cumplan las especificaciones estatales, o sellos de material compresible que cumplan con ASTM D2628, AASHTO M220 o las especificaciones del estado. La necesidad de sellar depende si el diseño permite que el agua evacue por el sistema de juntas.

Compuestos de Curado

Para curar se recomiendan compuestos de curado conformados por membranas líquidas con pigmentos blancos (ASTM C309 o AASHTO M148). La tasa de colocación para todos los refuerzos con hormigón de espesor 150 mm (6 in.) o menos, debe ser igual al doble de la que recomienda el fabricante.

Algunas agencias han implementado el uso de compuestos de curado que contienen resina poli-alfa-metilestireno (AMS). Su uso se basa en estudios que han demostrado que tienden a tener mejores propiedades de retención de la humedad. Los métodos de aplicación y tasas de recubrimiento son similares a las de los compuestos de curado normales con pigmentos blancos. Una especificación típica para un compuesto de curado tipo AMS se puede encontrar en www.dot.state.mn.us/products/concrete/pdf/curing_compound_specifications_3753_3754_3755.pdf.

Capítulo 6.

ESTRATEGIAS PARA ZONAS DE TRABAJO DE CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN

En esta sección se discuten varios aspectos relacionados con el manejo de zonas con trabajos, incluyendo necesidades de espacio, control del tránsito y puesta en servicio. Por naturaleza, los refuerzos con hormigón son proyectos de ejecución acelerada debido a que no requieren de demoliciones, excavaciones, ni trabajo en las bases. En resumen, los refuerzos con hormigón

pueden ejecutarse de la misma forma que otros proyectos de sobre capas que se han estado construyendo por décadas. Esta sección entrega directrices sobre detalles específicos para optimizar la constructabilidad de refuerzos con hormigón y manejo del tránsito. Para más información sobre cómo construir capas de refuerzo con hormigón con tránsito, ver el Apéndice E.

Objetivos del Manejo de Zonas del Trabajo

La Tabla 20 entrega un listado de las consideraciones a tener presente para la zona donde se realicen trabajos de refuerzos.

Tabla 20. Consideraciones sobre el manejo de zonas de trabajos de capas de refuerzo con hormigón

Áreas de Consideración	Aspecto a Considerar	
Manejo del tránsito	1. Análisis de la capacidad – pistas necesarias, longitud prevista para las colas 2. Restricciones de tiempo – horas de punta, puntas estacionales 3. Límites de las zonas de trabajo 4. Capacidad de los desvíos 5. Accesos para los vehículos de faena y estacionamientos para los trabajadores 6. Tránsito peatonal y de bicicletas	7. Localización de las señales de advertencia, retorno, longitud de las colas, intersecciones 8. Cruces ferroviarios y horarios del tren 9. Demarcación nocturna e iluminación 10. Señalización, parada de buses y retorno 11. Servicio al tránsito-residencial y de negocios 12. Futuras rehabilitaciones
Requerimientos de la construcción de pavimentos de hormigón	1. Construcción acelerada – planificación, materiales para el hormigón, requerimientos de construcción, curado, juntas 2. Entrega al tránsito – madurez, ensayo de velocidad pulsante, requerimientos de resistencia, tiempo de curado 3. Consideraciones sobre la rehabilitación 4. Tiempos fuera de horas punta para incrementar la producción 5. Etapas del trabajo – longitud de las zonas de trabajo, límites del proyecto 6. Condiciones especiales tales como: descargas de agua, instalación de señales de puentes, etc.	7. Pre-pavimentación - restricciones a la pavimentación 8. Provisiones especiales del contrato 9. Programa de interrupciones de corta duración 10. Drenaje provisorio 11. Iluminación para trabajo nocturno 12. Iluminación provisorio del camino
Seguridad	1. Tasa de accidentes en la zona de trabajos 2. Estrategias de manejo del tránsito 3. Sistema interestatal 4. Congestión 5. Periodo nocturno	6. Camiones 7. Trabajadores que se movilizan a pie 8. Peatones 9. Experiencia local
Constructabilidad	1. Capacidad estructural de puentes, bermas y pavimentos 2. Programación de las etapas vs la fecha probable de comienzo 3. Estrategia que permita al constructor terminar el proyecto 4. Estado de los elementos de control del tránsito existentes- señales, cruces de ferrocarril, etc. 5. Restricciones en invierno – remoción de la nieve, etc.	
Planes para emergencias	1. Planes de manejo de incidentes 2. Asistencia médica de emergencia 3. Accidentes, desperfectos, camiones grúa 4. Grandes tormentas y drenaje del agua	5. Cierres por emergencias 6. Interrupciones de servicios públicos 7. Policía estatal 8. Aplicación de leyes locales
Coordinación de la información al público	1. Información al público – audiencias públicas, medios, agencias de servicios motorizados, residentes, negocios locales, transportadores 2. Autoridades locales – policía, bomberos, hospitales, colegios, agencias ambientales, servicios públicos, peajes, trasbordadores, ferrocarriles, aeropuertos 3. Eventos especiales 4. Coordinación entre agencias – cuadrillas de mantenimiento, sección de permisos, proyectos adyacentes 5. Tránsito	

El manejo de zonas donde se realizan trabajos de refuerzos con hormigón no es más desafiante que cualquier otro proyecto de pavimentación con tránsito, siempre que se sigan integralmente ciertas prácticas.

El manejo efectivo de toda zona a pavimentar con hormigón, incluyendo refuerzos con hormigón para mantenimiento y rehabilitación, implica desarrollar un plan de acción completo que equilibre varias igualmente importantes prioridades; ver la Figura 94.

- Garantizar la seguridad de los trabajadores y conductores.
- Minimizar los inconvenientes al público usuario.
- Mantener o mejorar la rentabilidad del proyecto.
- Equilibrar la preocupación por mantener el tránsito, con el comportamiento del pavimento.

Los elementos básicos de estas prioridades se analizan más adelante. La Tabla 20 entrega una lista de consideraciones para el manejo de zonas con trabajos de refuerzos.



Figura 94. Un efectivo manejo de las zonas de trabajo implica equilibrar varias prioridades

Seguridad

Promover la seguridad de los trabajadores y usuarios debe ser un elemento integral de alta prioridad de todo proyecto, desde la planificación hasta la construcción. Los usuarios de la carretera (vehículos, bicicletas, peatones, etc.), deben ser claramente orientados mediante elementos de control del tránsito y demarcaciones, en los accesos, mientras circulan dentro de la obra y al abandonar zonas con tránsito controlado temporalmente. Los elementos de control del tránsito deben inspeccionarse regularmente. Todo el personal involucrado en seleccionar, colocar y mantener las zonas de trabajo debe haber sido entrenado sobre las prácticas de seguridad vial.

Los riesgos por el tránsito a que se ven expuestos los trabajadores y usuarios pueden minimizarse reduciendo la frecuencia con que se establecen zonas de trabajo, reduciendo el tiempo en que se trabaja en cada zona y cuando sea posible, disminuyendo los volúmenes de tránsito que circulan por la zona de trabajo. Cuando se comparan con opciones de reconstrucción, los refuerzos con hormigón presentan un tiempo de construcción significativamente más corto, lo que reduce el tiempo de exposición del público y los trabajadores.

Debe mantenerse en la obra un plan detallado para responder a emergencias derivadas de cualquier accidente que ocurra en la zona de trabajo. El plan debe incluir protocolos para servicios médicos de emergencia.

Flujos de Tránsito

Minimizar las interrupciones al tránsito en las zonas de trabajo requiere de una colaboración proactiva de manejo de la zona. Involucrando a las autoridades y al público, desde el comienzo de la planificación del proyecto, el proyectista y el constructor pueden comprender mejor los problemas del tránsito relacionados con la obra. Como resultado, podrán desarrollar mejores soluciones y más coordinadas. Adicionalmente, publicitar ampliamente bastante tiempo antes del inicio de las obras, ayuda a que los conductores tengan todas las oportunidades de planificar rutas y tiempos de viaje.

Rentabilidad

Las estrategias que se utilicen para manejar el tránsito en las zonas de trabajo pueden afectar significativamente los costos del proyecto. Por lo tanto, es importante, evaluar cuidadosamente las necesidades del camino y seleccionar las estrategias más rentables que se adapten a esas necesidades. Deben equilibrarse los costos de controlar los vehículos y los costos de construcción versus el impacto en el público, especialmente en los comercios y residentes de las inmediaciones. En muchos casos, una interrupción total pero de corta duración, tiene mucho menos impacto que mantener el tránsito por un largo periodo cruzando una zona en construcción.

Muchas intersecciones urbanas han sido reforzadas con hormigón trabajando solamente en horario de fin de semana, lo que ha mitigado el impacto en el comercio de los alrededores.

El cierre parcial o total de una zona de trabajo puede ayudar a minimizar los costos de manejo del tránsito. Revisiones informales realizadas a proyectos en que el refuerzo con hormigón fue construido utilizando un auto piloto, indican que si el camino se hubiese cerrado al tránsito, se habrían producido economías de aproximadamente 20 a 30 por ciento en costos y ahorros de tiempo. Si resulta ser una opción viable cerrar el camino al tránsito, los documentos de licitación deben claramente indicar que el contratista es el responsable de mantener los accesos locales para los residentes y el comercio. Más que explicitar detalles relacionados de cómo y cuándo un acceso debe mantenerse, la estrategia preferida debe ser traspasar la responsabilidad al contratista, pero permitiendo flexibilidad a los métodos para contar con esos accesos locales. Probablemente se pueden justificar mayores costos, cuando el tránsito en una carretera no puede interrumpirse. Potencialmente, las formas de manejar costos, cuando es posible, comprenden reducir el volumen del tránsito en las zonas de trabajo, reducir la frecuencia y tiempos de construcción de las zonas de trabajo y minimizar los desvíos y elementos para que el tránsito se cambie de calzada o pista. En proyectos de refuerzo de carreteras de dos pistas y gran longitud (> 10 km, 7 millas), permitir trabajar simultáneamente en varias zonas, puede mejorar la eficiencia de las operaciones de construcción y la rentabilidad.

Consideraciones sobre las Zonas de Trabajo

La construcción de cualquier refuerzo obliga a ocupar parte de la calzada de la carretera para acomodar los trabajos y disponer de controles para el tránsito y otros elementos de seguridad para los trabajadores y conductores. Esto afecta la capacidad de la carretera en la zona de trabajo durante el tiempo que demore la construcción. En algunos casos, consideraciones relativas a la seguridad en la carretera, pudieran obligar a interrumpir parcial o totalmente la circulación.

Cuando los refuerzos se construyen bajo tránsito, las consideraciones respecto a los espacios disponibles y capacidad de la vía, impactan en tres elementos primordiales de la estrategia de manejo de la zona de trabajo: espacios disponibles para la construcción, control del tránsito y etapas del proyecto.

Espacios Necesarios para Pavimentar con Equipos Convencionales

Al definir las zonas de trabajo con tránsito, deben dejarse espacios laterales adecuados para dar cabida al chasis y orugas de la pavimentadora, así como para la línea guía. Para la operación con pavimentadoras estándar, el espacio lateral típico es de 1,2 m (4 ft) a cada lado de la pavimentadora (0,9 m (3 ft) para las orugas y 0,3 m (1 ft) para la línea guía); ver la Figura 95. Los espacios laterales para la pavimentadora no incluyen lo necesario para instalar los elementos de control del tránsito, de los trabajadores ni el espacio para los usuarios de la carretera (vehículos, peatones, bicicletas, etc.). Estos espacios adicionales deben determinarse según las necesidades específicas de cada proyecto.



Figura 95. Pavimentadora con línea guía

Reducción de Espacios para Trabajar

En ciertas situaciones – caminos angostos, bermas mínimas o inexistentes, tránsito en la pista adyacente, obstáculos como muros de contención, o defensas de contención – resulta necesario reducir los espacios laterales para la operación de los equipos. Estas situaciones son bastante comunes en todos los proyectos de mantenimiento y rehabilitación. Con una planificación adecuada, es posible ajustarse a necesidades específicas de un proyecto, tal como una pavimentación próxima a la defensa de la mediana, reduciendo los espacios laterales a 0; ver la Figura 96. (Al igual que para la pavimentación con asfalto, los equipos de pavimentación con hormigón que no requieren un espacio lateral, no incluyen los 150 – 200 mm (6 – 8 in.) del molde de borde del equipo).

Los caminos de dos pistas con bermas granulares o estabilizadas de 2,4 a 3,0 m (8 – 10 ft) de ancho permiten disponer del espacio necesario para el tránsito público guiado por un auto piloto y de dos pistas para el tránsito de

construcción. La tecnología de pavimentación sin línea guía, reduce el espacio lateral requerido para la pavimentadora a 0,9 m (3 ft). También permite colocar los conos para el tránsito al borde de la nueva pista, directamente detrás de las operaciones para dar la textura y curar el pavimento, lo que maximiza el ancho de la pista existente para los efectos de la operación del auto guía.

Los fabricantes de equipos pavimentadores han desarrollado máquinas especiales diseñadas para ejecutar proyectos con un mínimo de espacio lateral. Adicionalmente, muchos contratistas a lo largo del país han introducido varias modificaciones a los equipos estándar para que operen sin necesidad de un espacio lateral; ver la Figura 97.

En vez de especificar un equipo de un determinado fabricante, se recomienda a las agencias propietarias, establecer el máximo espacio lateral disponible y dejar que el contratista seleccione o modifique el equipo y la operación para ajustarse a las necesidades del proyecto.



Figura 96. Pavimentadora de tres orugas, sin espacios laterales, colocando hormigón junto a la barrera de la mediana (fuente: Kevin Klein, Gomaco)



Figura 97. Pavimentadora típica de cuatro orugas, modificada a tres orugas permitiendo un espacio lateral cero en una situación con cuneta y solera (fuente: Jim Duit, Duit Construction Co, Inc.)

Métodos Mecánicos

Se pueden utilizar métodos de pavimentación alternativos para reducir los espacios laterales, en tanto se cumpla con los criterios de suavidad. Por ejemplo, en áreas estrechas se pueden utilizar una línea guía móvil, o un patín, apoyados sobre la pista adyacente; sin embargo, en estos casos la suavidad del nuevo pavimento dependerá de la suavidad de la pista existente; ver las Figuras 98 y 99.

Métodos sin Línea Guía

Varias compañías han desarrollado pavimentadoras que no se controlan mediante una línea guía, sino que utilizan sistemas de orientación con tecnologías como GPS, estación total robótica y posicionamiento mediante rayo láser. La tecnología sin línea guía reemplaza la tradicional línea guía por un proceso de orientación electrónico que controla la operación vertical y horizontal de la pavimentadora de molde deslizante. La industria de la construcción ha estado utilizando desde hace varios años, la tecnología sin línea guía para controlar la altitud y el rumbo de los equipos. Sin embargo, está ahora surgiendo la tecnología de pavimentación con hormigón sin línea guía porque a los contratistas y propietarios/agencias, están percibiendo los beneficios de su producción (ej., menores costos

en topografía, menos horas de construcción) manteniendo los requisitos de suavidad. En el Apéndice F, se entregan detalles respecto a varios sistema de pavimentación sin línea guía.

La pavimentación sin línea guía es una tecnología que elimina la instalación y mantenimiento de las líneas guía y que tienen el potencial de disminuir los requerimientos de topografía y aumentar la suavidad del perfil del pavimento; ver las Figuras 100 y 101. Sin embargo, pueden surgir problemas tecnológicos y el aprendizaje puede tomar tiempo y causar retrasos. La investigación en terreno sobre pavimentación sin línea guía comenzó el año 2003 por la National Concrete Pavement Technology Center en la Iowa State University (Cable et al 2004).

Los beneficios que pueden resultar de la pavimentación sin línea guía son los siguientes:

- Reducción de los costos de construcción. El sistema sin línea guía elimina la necesidad de una cuadrilla que instale, mantenga y remueva las líneas guías. El sistema sin línea guía requiere de una cuadrilla de topografía para instalar puntos de referencia del proyecto, pero elimina la necesidad de colocar estacas de referencia para la pavimentación a intervalos entre 3,6 y 15 m (12 a 50 ft). Actualmente
- Reducción del tiempo y la mano de obra. El levantamiento de la superficie y la colocación de los puntos de referencia, se hace ahora en menos tiempo y con menos mano de obra. Muchas agencias de carreteras no disponen del personal y el tiempo para realizar las operaciones que requieren las líneas guía, pero puede prepararse para controlar la operación sin ellas.
- Accesos a la construcción. La remoción de la línea guía abre el lugar tanto al contratista como al público de las inmediaciones. El contratista no debe preocuparse más por daños a la línea guía durante la construcción o los trabajadores despreocuparse de ella. Los vehículos de construcción pueden entrar y salir de la obra por cualquier lugar, sin temor de dañar la línea guía.
- Accesos públicos. Los residentes a lo largo de la obra en construcción pueden entrar y salir de sus residencias o negocios en cualquier momento, excepto durante la colocación y



Figura 98. Control del perfil de pavimentación mediante una línea guía móvil sobre la pista adyacente (fuente: Kevin Klein, Gomaco)



Figura 100. Pavimentadora sin línea guía (fuente: Jim Cable, Iowa State University)



Figura 99. Control del perfil de pavimentación mediante un patín sobre la pista adyacente (fuente: Wouter Gulder, Southeast Chapter, ACPA)



Figura 101. Pavimentadora sin línea guía y sin espacio lateral (fuente: Gomaco)

curado del pavimento, sin preocuparse de la interferencia de la línea guía.

- Aplicaciones urbanas y rurales. La existencia de plataformas angostas, de vegetación a nivel superficial o de movimientos de tierras, que limitan la ubicación de la línea guía o la operación tanto de ella como de la pavimentadora, dejan de ser una preocupación tanto para el contratista como para la agencia de caminos.

Otros Gálibos

Además de los espacios que requieren todos los equipos de construcción, deben dejarse espacios para los elementos de control del tránsito y para los trabajadores de la construcción. El ancho de esta zona libre varía dependiendo del volumen del tránsito adyacente, la velocidad y de los requerimientos de la agencia. Adicionalmente, los trabajadores con herramientas de mangos largos deben restringirse al costado del pavimento contrario al tránsito.

Control del Tránsito de Construcción

Todos los controles del tránsito de construcción, incluyendo las restricciones de velocidad, deben ajustarse a los requerimientos de la jurisdicción y al último *Manual of Uniform Traffic Control Devices* (FHWA 2009). Los principios fundamentales del control del tránsito en la zona de trabajo se entregan en la Parte 6. Adicionalmente, el *Traffic Management Handbook for Concrete Pavements Reconstruction and Rehabilitation* (ACPA 2000) es un buen referente para estrategias de control del tránsito en las categorías comunes de rehabilitación de pavimentos, incluyendo los refuerzos. Ver, en particular, el Capítulo 4 sobre estrategias de control del tránsito para pavimentos de hormigón.

El manual de ACPA señala que “a medida que el tránsito aumenta, la “ventana” de tiempo dentro de la cual la demanda del tránsito está por debajo de la capacidad de la zona de trabajo se hace más pequeña. Cuando el tiempo es demasiado corto como para permitir el trabajo diurno, normalmente el trabajo se realiza de noche. En algunos casos, aún el trabajo nocturno debe restringirse”.

En situaciones tales como en rutas recreacionales, las horas de punta del tránsito suelen ser los viernes y domingos en la tarde. En este caso, la ventana de tiempo admisible para construir sería entre el mediodía del lunes y las 6:00 p.m. del jueves.

En carreteras de alto tránsito, se debe realizar un análisis del tránsito para identificar que partes del camino pueden ocuparse para la construcción y el tránsito público, en determinados momentos del periodo de construcción. El objetivo es identificar puntos de congestión que pudieran

afectar la capacidad y la seguridad, así como la productividad de la construcción.

El análisis debe responder algunas preguntas específicas:

- ¿Tiene el camino existente la capacidad adecuada para los niveles de tránsito existente?
- ¿Cómo se verá afectada la capacidad si se cierran algunas pistas mientras otras se mantienen abiertas?
- ¿Existe una deficiencia de capacidad al comparar los niveles existentes de tránsito con la capacidad que tendrá la carretera durante los trabajos?

El análisis debe considerar tanto los espacios laterales (disponibilidad y necesidades) como la longitud de carretera necesaria para lograr una producción rentable de pavimentación. Deben también considerarse los flujos de tránsito en horas punta y fuera de ellas.

El plan de manejo para la zona de trabajo, debe orientarse de manera que si ocurren deficiencias evite la congestión e incrementos de costos del proyecto. Por ejemplo, el plan puede incluir horas de trabajo variables (ej. fuera de horas de punta, en la noche) o una secuencia constructiva que cumpla con los requerimientos de la construcción y la seguridad.

Una alternativa cada vez más popular es cerrar completamente la ruta por un corto periodo para completar el proyecto o la fase crítica de él. En algunos casos, esta alternativa ha reducido significativamente el tiempo total del proyecto.

Etapas para Construir Capas de Refuerzo con Hormigón

Existen muchas aproximaciones sencillas, para casi cualquier situación, para dividir en etapas los proyectos de refuerzos con hormigón. Para la construcción rápida y rentable de refuerzos con hormigón, deben utilizarse sistemas que consideren la seguridad en la zona de trabajo, las necesidades del tránsito y los elementos claves de la construcción. Cuando se desea una construcción acelerada, se debe comenzar en la etapa de diseño con un análisis de esquemas alternativos para mantener el tránsito, una planificación avanzada y con proyectos de detalles específicos para la obra, de manera de acortar el tiempo de construcción. Los planos y especificaciones deberían proporcionar al contratista criterios claros para mantener los requerimientos del tránsito (ej. dos pistas abiertas en cada dirección en todo momento, las colas guiadas por autos piloto no deben durar más de 10 minutos, etc.). Una vez proporcionados los requerimientos para mantener el tránsito, debe darse al contratista la responsabilidad para planificar y llevar a cabo un proyecto que cumpla con los objetivos de una

construcción acelerada, manteniendo el tránsito. El sistema de permitir al contratista innovar y planificar el proyecto para ajustarlo a sus recursos da como resultado un trabajo más fluido, menores tiempos y un menor impacto en los usuarios del camino.

Más abajo se describen algunos escenarios comunes con diferentes etapas.

Carretera de Dos Pistas con Tránsito

Cuando se va a construir con tránsito y algunas pistas van a soportar tránsito adicional, deben considerarse varias opciones relacionadas con los trabajos puntuales previos al refuerzo. Por ejemplo, si las reparaciones puntuales pueden ejecutarse rápidamente (y si es apropiado, colocar la capa separadora inmediatamente después de las reparaciones), entonces normalmente se acepta que el tránsito circule temporalmente sobre el pavimento existente, en tanto se construye el refuerzo. Otra opción es esperar y hacer las reparaciones puntuales hasta después que el tránsito adicional se hubiere retirado del pavimento existente. Este procedimiento debe utilizarse solamente cuando se tiene completamente claro la extensión de las reparaciones adicionales requeridas, el espesor adicional requerido para el refuerzo y los costos involucrados. Alternativamente, es posible cerrar la carretera temporalmente (de preferencia fuera de las horas punta), realizar las reparaciones críticas y completar el refuerzo de al menos una pista, para entregarla al tránsito tan pronto como sea posible.

Al programar las etapas de un proyecto de refuerzo en una carretera de dos pistas bajo tránsito, debe tenerse en cuenta el ancho de las pistas para la circulación de los vehículos y la por construir. Normalmente, el ancho mínimo deseable para la pista de los vehículos es de 3,4 m (11 ft). Algunas jurisdicciones pueden permitir tan poco como 3,1 m (10 ft) bajo ciertas circunstancias – por ejemplo, en tramos muy cortos (menores que 30 m (100 ft)).

El ancho necesario para construir una pista depende de varios factores, tales como el espesor del refuerzo, el desnivel máximo permitido en el borde, la existencia de cuñas de seguridad, la inclinación de las cuñas de seguridad, el tipo de elementos para el control del tránsito, el tipo de pavimentadora y del tránsito de automóviles y camiones.

Las capas de refuerzo con hormigón pueden construirse exitosamente con tránsito con pavimentadoras convencionales; en algunos casos, donde se dispone de un espacio lateral mínimo, pueden ser necesarios algunos ajustes.

Otro factor importante es la longitud de la zona con tránsito controlado temporalmente. Típicamente, cuando la longitud de la zona con

tránsito controlado es menor que 0,4 km (0,25 mi), no se utilizan autos piloto. Sin embargo, en áreas rurales, puede ser más factible pavimentar tramos de mayor longitud. En tales situaciones, a menudo se utilizan bandereros y autos piloto; la longitud máxima de la zona con control del tránsito la establece la jurisdicción.

Según sean los requerimientos de la jurisdicción, podrían requerirse otras medidas de control del tránsito, tales como bandereros y señalización.

Cuando se dispone de bermas granulares de ancho adecuado para adaptar una pavimentadora convencional, se recomienda que se traten con cloruro de calcio en 0,9 m (3 ft) de ancho, antes de abrir el camino al tránsito vehicular. El tratamiento con cloruro de calcio es una forma exitosa de estabilizar las bermas para el caso de vehículos que pierden el control y abandonan el pavimento. También, para indicar el borde del pavimento, se pueden utilizar delineadores verticales de control o soleras permanentes; ver la Figura 102.

Si la pavimentación de la berma es parte del proyecto, el rebaje para ensanchar la berma debe completarse en una primera etapa conjuntamente

con la preparación de la primera pista a ser reforzada. Una vez que esto está terminado, la pista puede entregarse al tránsito e iniciar la preparación para pavimentar la pista adyacente.

En la segunda etapa, se pavimenta la segunda pista. Si el ensanche del pavimento es parte del proyecto, puede pavimentarse el borde de espesor adicional.

La tercera etapa incluye abrir al tránsito el nuevo refuerzo y trasladar los elementos de control hacia la pista opuesta. La etapa final incluye la demarcación del pavimento, las bandas alertadoras si la berma es pavimentada y las terminaciones finales de las bermas.

Cuñas de Seguridad Provisorias

Si se desea permitir circular en ambas direcciones, después de curada la primera pista y los criterios de la agencia requieren mitigar los desniveles, una opción es construir un eje central temporal y cuñas de seguridad; ver la Figura 103. Se deben considerar cuñas de seguridad cuando las bermas no se van a completar antes de la apertura del camino al tránsito.

Autos Pilotos para una Producción Continua

Se pueden utilizar autos pilotos para mantener una pista con tránsito adyacente a donde se realizan operaciones de pavimentación. Para minimizar demoras a los conductores, muchas jurisdicciones limitan la longitud de esas zonas de trabajo. Los contratistas deben contrapesar esas limitantes con su objetivo de mantener una producción continua, de manera que las cuadrillas no deban detener el trabajo.

Las siguientes son algunas consideraciones que permiten definir etapas de un proyecto en el que se utilizan autos pilotos en forma rentable.

- Normalmente un contratista puede preparar y pavimentar 1.900 m³ (2.500 yd³) de una pista por día de trabajo. Para refuerzos delgados, el avance de las operaciones de aserrado puede ser el factor que limite la producción.
- La construcción de una cuña de seguridad permite abrir una pista al tránsito antes de terminar el relleno de las bermas.
- Un refuerzo nuevo puede entregarse al tránsito a las 24 hr o menos.
- Una manera de utilizar las cuadrillas y los equipos en forma más eficiente, es crear etapas que consideren dejar tramos intermedios sin pavimentar o hacer una construcción escalonada (ello es, saltándose tramos del pavimento).
- El trabajo escalonado puede resultar más eficiente utilizando múltiples pavimentadoras.
- La dirección hacia donde se vierte la primera descarga de hormigón es importante para asegurar que la pavimentadora terminará cada descarga en la posición óptima para continuar con la siguiente



Figura 102. Delineadores verticales para control del tránsito que se pueden utilizar para marcar el desnivel al borde del pavimento

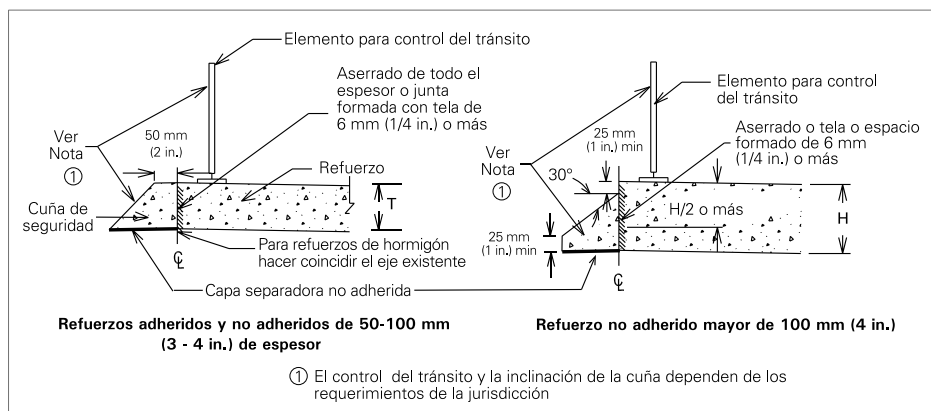


Figura 103. Cuñas de seguridad para refuerzos de 50 mm (3 in.) o más

Ejemplos de Etapas Sucesivas

Las Figuras 104 – 108 en páginas 88 – 97 ilustran una variedad de potenciales etapas sucesivas. Tomar nota que cada mitad de una carretera de 4 pistas con mediana se trata como una calzada de 2 pistas.

Carretera de Dos Pistas Ensanchada a Tres Pistas Manteniendo el Tránsito

Cuando se construye un refuerzo con hormigón conjuntamente con ensanchar la calzada de dos a tres pistas, algunos estados especifican que las bermas que quedan después de ejecutado el ensanche, deben tener al menos 1,2 m (4 ft) de ancho. Por lo tanto, utilizar

las bermas existentes tanto para el trabajo escalonado como para el ensanche, presenta distintas ventajas.

Primero, se ensancha la berma existente de una mitad del camino. El refuerzo se construye por mitades tal como el ejemplo de las etapas para dos pistas. La berma existente se rebaja y compacta adecuadamente. Luego se coloca la primera sección del refuerzo de hormigón incluyendo la parte de mayor espesor correspondiente al pavimento nuevo (no refuerzo). La otra mitad del refuerzo se puede colocar directamente sobre la berma existente previamente ensanchada.

Una posible secuencia de etapas para este tipo de administración de la construcción se muestra en la Figura 107.

Carretera de Cuatro Pistas Separadas por una Mediana Manteniendo el Tránsito y sin Cambiarlo de Calzada

Las etapas para una capa de refuerzo de hormigón en una carretera de cuatro pistas separadas por una mediana, es similar a la de dos pistas. Ambas calzadas pueden construirse en forma simultánea, sin necesidad de traspasar el tránsito de una a otra. Al eliminar estos traspasos, se reducen los costos y se

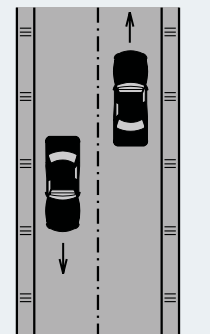
incrementa la seguridad. Las bermas existentes normalmente proporcionan espacio suficiente para la oruga de la pavimentadora, la línea guía y disponer de una distancia adecuada entre los trabajadores y el tránsito.

La posible secuencia de etapas para este tipo de construcción se muestra en la Figura 108. Debido a que cada una de las dos calzadas se trata como una calzada de dos pistas, cualquiera de las secuencias para las etapas indicadas en las Figuras 104 – 107 puede aplicarse indistintamente a una de las calzadas.

CAPA DE REFUERZO TERMINADA (Carretera de dos pistas con bermas pavimentadas, pavimentadora convencional)

Se aplica a:

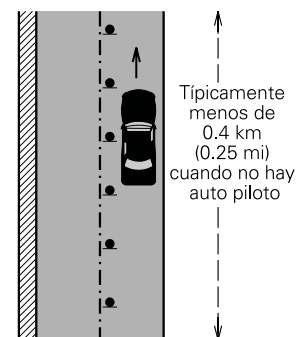
- | | |
|---|---|
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón. | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento de hormigón |
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento asfáltico | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento asfáltico |
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento compuesto | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento compuesto |



ETAPA 1.

Reparar la superficie, preparación para la capa de refuerzo y construcción del ensanche de la berma y la capa separadora

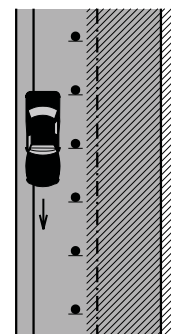
- Instalar los controles para el tránsito y cerrar la pista izquierda. Ajustar los controles del tránsito a los requerimientos de la jurisdicción. Verificar con la jurisdicción la longitud admisible de pista por cerrar. Si las reparaciones superficiales y preparación para el refuerzo son mínimas, entonces puede ser apropiado controlar el tránsito para que circule lentamente. Cerrar la pista pudiera requerir controles adicionales del tránsito (ej., señales, bandereros y/o autos piloto).
- Reparar la superficie como se requiere. Preparar la superficie para el refuerzo (o, en el caso de refuerzos con hormigón de hormigón, la capa separadora) como se describe en los documentos del contrato.
- Preparar el ensanche de bermas rebajando la berma existente y recortándola al ancho especificado. El rebaje debe rodillarse y compactarse lo necesario para obtener una plataforma firme y estable como se especifica en los documentos del contrato. Se recomienda un proceso continuo de rebaje de la berma con una zanjadora y colocación del material para el ensanche de la berma base.
- Construir la capa separadora (solamente para refuerzos no adheridos de hormigón).



ETAPA 2.

Construir la berma derecha y el refuerzo con hormigón

- Cambiar los controles del tránsito hacia la pista izquierda y cerrar al tránsito la pista derecha. La longitud cerrada dependerá de la longitud máxima con auto piloto que permita la jurisdicción. El control del tránsito y las señales de tránsito deben basarse en los requerimientos de la jurisdicción.
- Reparar y preparar la superficie para el refuerzo o la capa separadora y el subsecuente refuerzo, como se describe en los documentos del contrato. Construir la capa separadora (para refuerzos no adheridos).
- El espacio normal para la línea guía de la pavimentadora es de 0,30-0,46 m (1-1,5 ft) y el ancho mínimo de la oruga es de 0,75-0,9 m (2,5-3 ft). Además, es común una reducción incremental del galibo de 0,3 m (1 ft) hasta 0,6 m (2 ft) por medio de ajustes típicos al equipo. La velocidad de circulación debe restringirse más en la zona adyacente a la pavimentadora cuando la separación entre la pavimentadora y los vehículos es pequeña.
- Construir el refuerzo de hormigón sobre el pavimento existente. Completar el ensanche de la berma derecha con el refuerzo. El trabajo de alisamiento debe operar desde la berma externa solamente.
- La distancia "X" entre el eje del camino y los delineadores verticales está destinada a la oruga de la máquina y para la línea guía.



ETAPA 3.

Construir el refuerzo con hormigón de la pista izquierda

- Cerrar al tránsito la pista opuesta y colocar el refuerzo de hormigón de acuerdo a los documentos del contrato, utilizando el mismo procedimiento descrito para la Etapa 2. Tomar nota que pudiera no ser necesaria la línea guía para el borde derecho del pavimento cuando el refuerzo construido en el Etapa 2 se utiliza, en esta Etapa, para controlar la pavimentadora. Si no se utiliza la línea guía derecha, la distancia "X" puede posiblemente reducirse a 0,9 m (3 ft).
- Si el desnivel exterior en el borde de la berma excede lo admisible para la jurisdicción con una cuña de seguridad 1:1, se deben construir bermas granulares en esta etapa.
- Completar las bermas. Instalar (fresar) bandas alertadoras en las bermas pavimentadas y completar la demarcación del pavimento y señales regulatorias de acuerdo con los documentos del contrato.

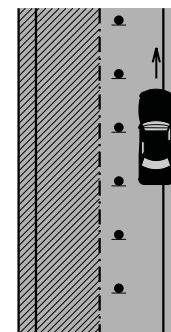
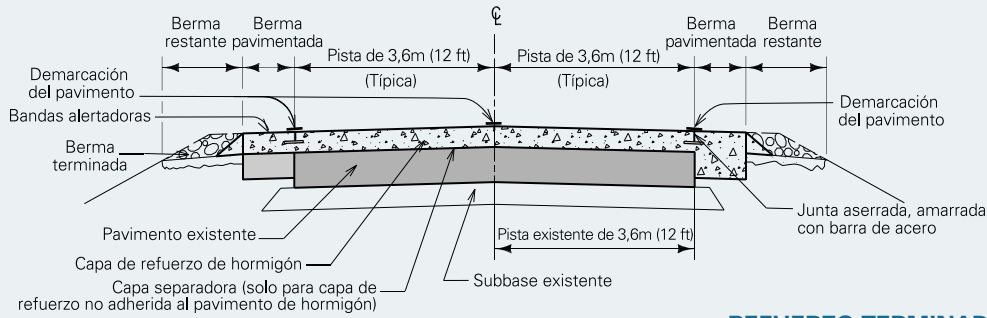


Figura 104. Capa de refuerzo de carretera de dos pistas con bermas pavimentadas (pavimentadora convencional)



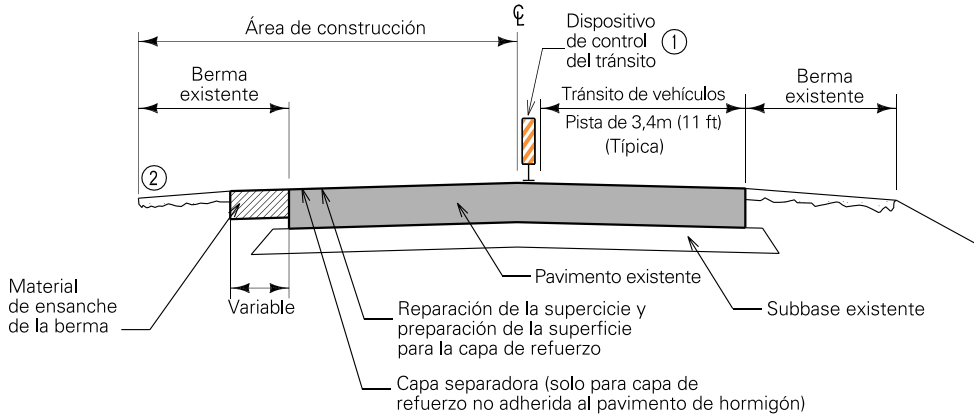
REFUERZO TERMINADO

LEYENDA

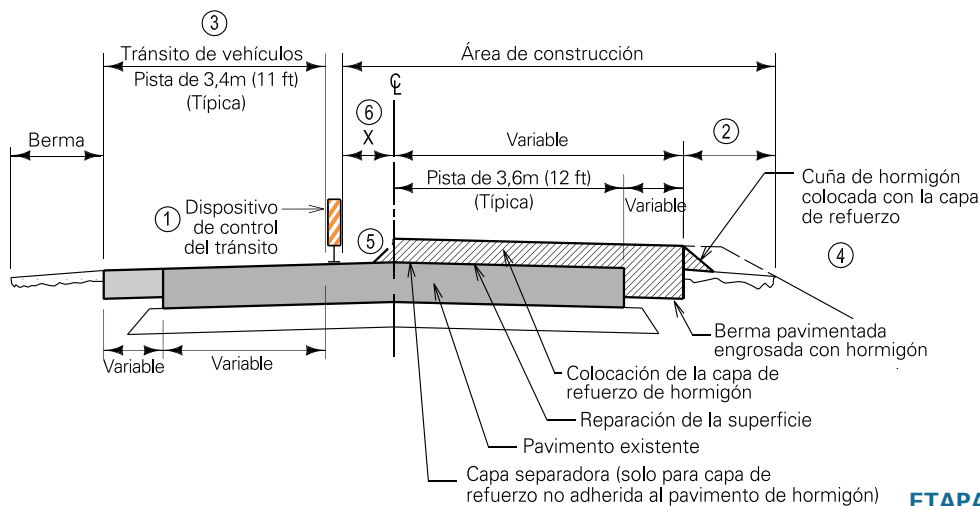
- Área de trabajos por etapas
- Hormigón
- Material para ensanche de la berma. Ej., base tratada con cemento, hormigón poroso, hormigón compactado con rodillo asfalto u hormigón
- Material granular

NOTAS:

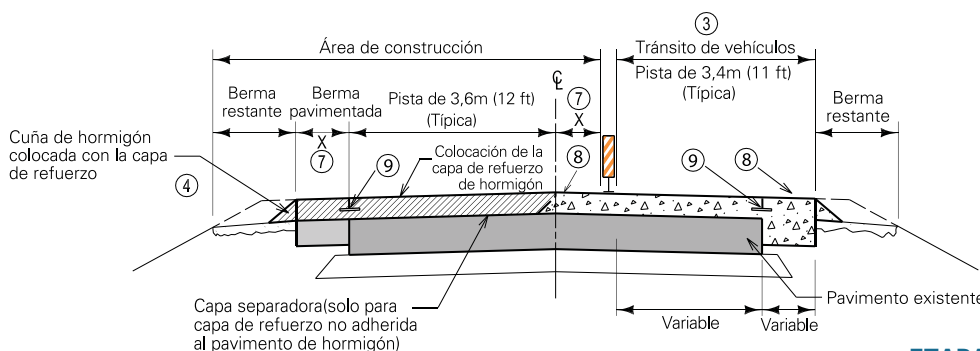
- ① Para los elementos de control del tránsito, ajustarse a los requerimientos jurisdiccionales.
- ② Tratar con cloruro de calcio un área de 0,9 m (3 ft) fuera de la berma proyectada. Si la berma existente fuera de la berma pavimentada proyectada es menor que 0,9 m (3 ft), pudiera ser necesario ajustar la pavimentadora de molde deslizante y/o su sistema de control para adaptarla al espacio más reducido.
- ③ El ancho mínimo de la pista en las inmediaciones de la pavimentadora puede reducirse por poco tiempo, trabajos fijos de poco volumen, carreteras de baja velocidad cuando el tránsito no incluye vehículos comerciales muy largos y anchos.
- ④ Si el refuerzo se abre al tránsito en esta etapa y se posterga el relleno final de las bermas, colocar una cuña de seguridad como se muestra o (si el refuerzo crea un desnivel, mayor que lo que la jurisdicción permite) colocar una berma granular.
- ⑤ Ver la cuña en el eje y subsecuente remoción en la Figura 103.
- ⑥ Para "X" menor que 1,2 m (4 ft) pueden ser necesarios ajustes en la pavimentadora para adaptar el sistema de control y la oruga.
- ⑦ La dimensión "X" puede reducirse a un mínimo de 0,9 m (3 ft) cuando la pista derecha se utiliza para controlar la pavimentadora.
- ⑧ Demarcar las líneas de borde y del eje según el Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) (FHWA 2009) sección 6F.77 (demarcar ambas pista).
- ⑨ Construir la junta longitudinal.



ETAPA 1



ETAPA 2



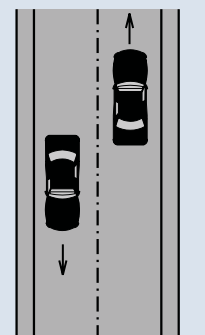
ETAPA 3

Capa de Refuerzo de Carretera de Dos Pistas con Bermas Pavimentadas (Pavimentadora convencional)

CAPA DE REFUERZO TERMINADA (Carretera de dos pistas con bermas granulares, pavimentadora convencional)

Se aplica a:

- | | |
|---|---|
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón. | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento de hormigón |
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento asfáltico | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento asfáltico |
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento compuesto | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento compuesto |



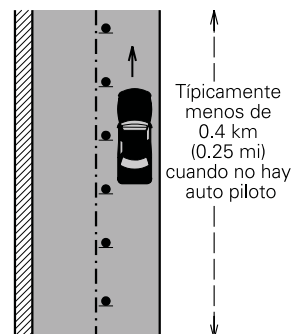
ETAPA 1.

Reparar la superficie, preparación para la capa de refuerzo y construcción de la berma izquierda y la capa separadora

- Instalar los controles para el tránsito y cerrar la pista izquierda. Ajustar los controles del tránsito a los requerimientos de la jurisdicción. Verificar con la jurisdicción la longitud admisible de pista por cerrar. Si las reparaciones superficiales y preparaciones para el refuerzo son mínimas, entonces puede ser apropiado controlar el tránsito para que circule lentamente. Cerrar la pista pudiera requerir controles adicionales del tránsito (ej., señales, bandereros y/o autos piloto).
- Reparar la superficie como está especificado. Preparar la superficie para el refuerzo (o, en el caso de refuerzos con hormigón de hormigón, la capa separadora) como se describe en los documentos del contrato.
- Preparar las bermas ensanchando mediante rebaje de la berma existente y recortándola al

ancho especificado. El rebaje debe rodillarse y compactarse lo necesario para obtener una plataforma firme y estable. Compactar el material de bermas como se especifica en los documentos del contrato. Se recomienda un proceso continuo de rebaje de la berma con una zanjadora y de colocación del material para el ensanche de la berma base.

- Construir una berma granular tratada con cloruro de calcio como se describe en los documentos del contrato. La berma tratada debe quedar firme y estable, capaz de soportar el tránsito a baja velocidad.
- Construir la capa separadora (solamente para refuerzos no adheridos de hormigón).



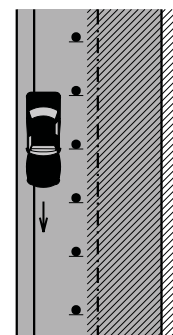
ETAPA 2.

Construir la berma derecha y la capa de refuerzo con hormigón

- Cambiar los controles del tránsito hacia la pista izquierda y cerrar al tránsito la pista derecha. La longitud por cerrar dependerá de la longitud máxima con auto piloto que permita la jurisdicción. El control del tránsito y las señales de tránsito deben basarse en los requerimientos de la jurisdicción.
- Reparar la superficie para el refuerzo o la capa separadora y el subsecuente refuerzo, como se describe en los documentos del contrato. Construir la capa separadora (para refuerzos no adheridos).
- El espacio normal para la línea guía de la pavimentadora es de 0,30-0,46 m (1-1,5 ft) y el ancho mínimo de la oruga es de 0,75-0,9 m (2,5-3 ft). Además, es común una reducción incremental de este espacio de 0,3 m (1 ft) hasta 0,6 m (2 ft) realizando algunos ajustes típicos al equipo. La velocidad de circulación

debe restringirse más en la zona adyacente a la pavimentadora, cuando la separación entre la pavimentadora y los vehículos es pequeña.

- Construir el refuerzo de hormigón sobre el pavimento existente. Construir la berma derecha con granular de 150 mm (6 in.) de espesor. Los trabajos de alisado deberán operar solamente desde la berma exterior.
- Colocar una berma granular tratada con cloruro de calcio de 150 mm (6 in.) de espesor para ayudar a estabilizar la berma y minimizar el polvo que puede nublar la visión.
- La distancia "X" entre el eje del camino y los delineadores verticales está destinada a la oruga de la máquina y para la línea guía.



ETAPA 3.

Construir la capa de refuerzo con hormigón de la pista izquierda

- Cerrar al tránsito la pista opuesta y colocar el refuerzo de hormigón de acuerdo a los documentos del contrato, utilizando el mismo procedimiento descrito para la Etapa 2. Tomar nota que pudiera no ser necesaria la línea guía para el borde derecho del pavimento cuando el refuerzo construido en el Etapa 2 se utiliza, en esta Etapa, para controlar la pavimentadora. Si no se utiliza la línea guía derecha, la distancia "X" puede posiblemente reducirse a 0,9 m (3 ft).

- Si el desnivel exterior en el borde de la berma excede lo admisible para la jurisdicción con una cuña de seguridad 1:1, se deben construir bermas granulares en esta etapa.
- Completar las bermas. Completar la demarcación del pavimento y señales regulatorias de acuerdo con los documentos del contrato.

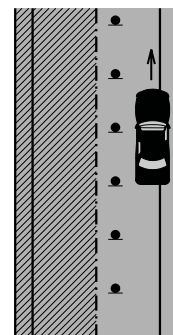


Figura 105. Capa de refuerzo de carretera de dos pistas con bermas granulares (pavimentadora convencional)

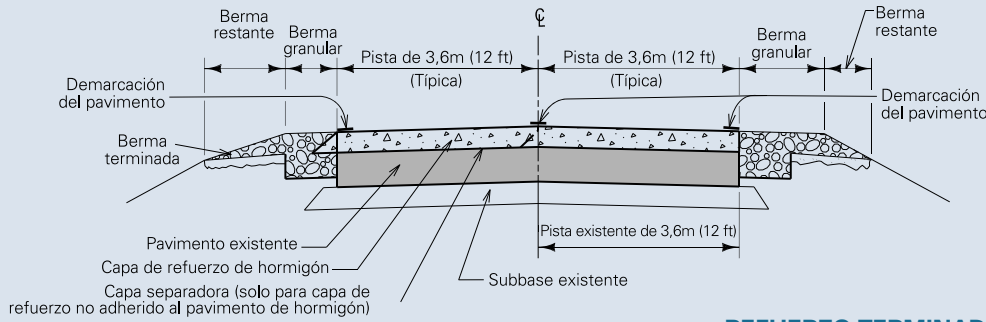
LEYENDA

-  Área de trabajos por etapas
-  Hormigón
-  Material granular

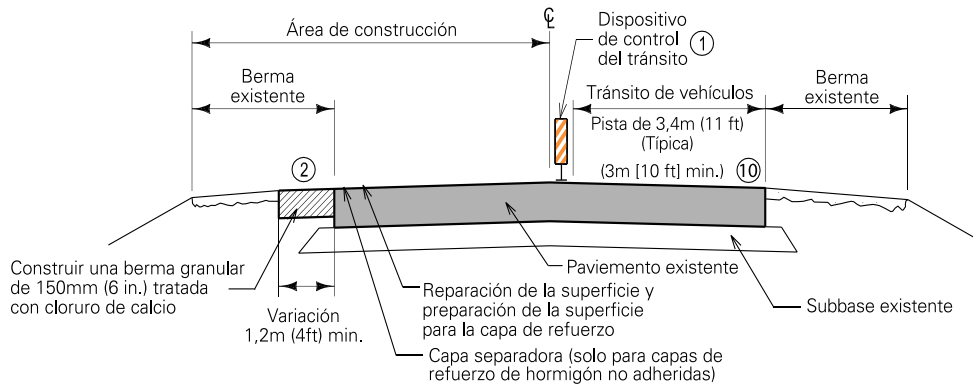
NOTAS:

- ① Para los elementos de control del tránsito, ajustarse a los requerimientos jurisdiccionales.
- ② Si la berma existente tiene menos que 1,2 m (4 ft), pudiera ser necesario ajustar la pavimentadora de molde deslizante y/o el sistema de control para adaptar el sistema de control y la oruga de la pavimentadora al espacio más reducido.
- ③ El ancho mínimo de la pista de circulación en las inmediaciones de la pavimentadora puede reducirse por poco tiempo, trabajos fijos de poco volumen, carreteras de baja velocidad y cuando el tránsito no incluye vehículos comerciales muy largos y anchos.
- ④ Si el refuerzo terminado se abre al tránsito en esta etapa y se posterga el relleno final de las bermas, colocar una cuña de seguridad como se muestra. Si el refuerzo genera un desnivel, mayor del que la jurisdicción permite, construir una berma granular en lugar de la cuña de seguridad.
- ⑤ Ver la cuña de seguridad en el eje y subsecuente remoción en la Figura 103.
- ⑥ Para "X" menor que 1,2 m (4 ft) pueden ser necesarios ajustes en la pavimentadora para adaptar el sistema de control y la oruga.
- ⑦ La dimensión "X" puede reducirse a un mínimo de 0,9 m (3 ft) cuando la pista derecha se utiliza para controlar la pavimentadora.
- ⑧ Demarcar las líneas de borde y del eje según el Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) (FHWA 2009) sección 6F.77 (demarcar ambas pistas).
- ⑨ Utilizar cloruro de calcio para controlar el polvo.
- ⑩ Sólo para caminos de bajo tránsito.

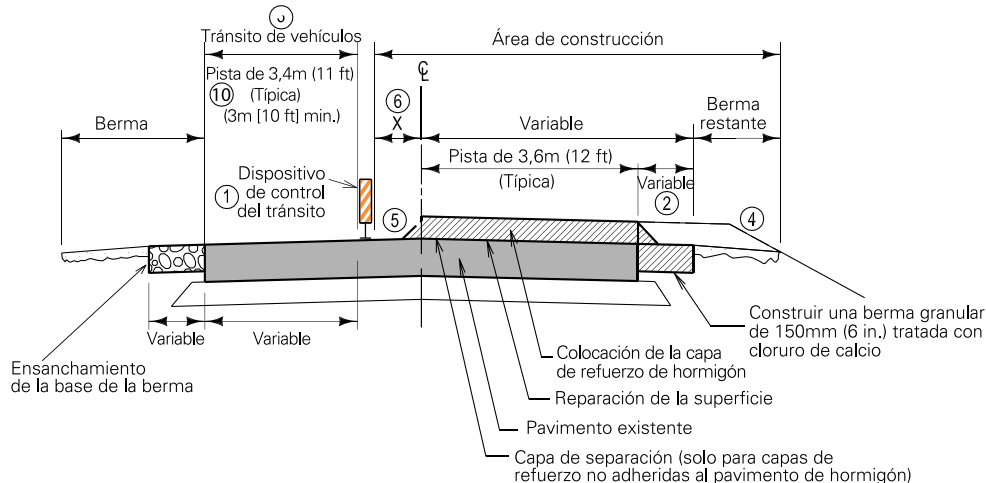
Refuerzo de Carretera de Dos Pistas con Bermas Granulares (Pavimentadora convencional)



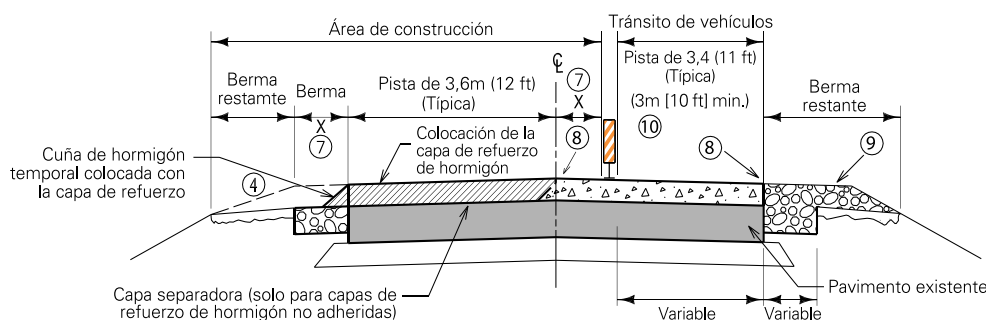
REFUERZO TERMINADO



ETAPA 1



ETAPA 2

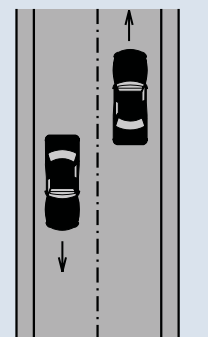


ETAPA 3

CAPA DE REFUERZO TERMINADO (Carretera de dos pistas con bermas granulares mínimas, sin espacio lateral)

Se aplica a:

- | | |
|--|---|
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento de hormigón |
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento asfáltico | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento asfáltico |
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento compuesto | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento compuesto |



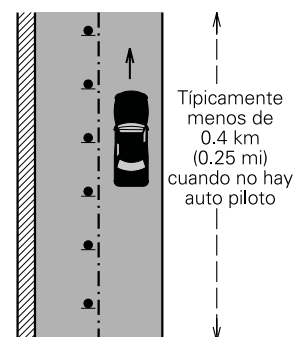
ETAPA 1.

Reparar la superficie, preparación para la capa de refuerzo y construcción de la berna izquierda

- Para construir un refuerzo en una carretera con bermas existente de ancho mínimo 0,6 m (2 ft) son necesarios algunos ajustes a la pavimentadora de molde deslizante típica, de manera de ajustarla al espacio disponible adyacente. El ancho del espacio dependerá del control del tránsito, la oruga y del control de la pavimentadora (línea guía). Cuando no hay espacio suficiente para la oruga, se pueden instalar moldes a la típica pavimentadora de dos orugas lo que elimina la necesidad de espacio lateral. Se retiran los bordes exteriores de los moldes detrás de las orugas traseras y el material del frente de la pavimentadora se traslada hacia atrás mediante un tornillo sin fin para ser distribuido y colocado.
- Instalar los controles para el tránsito y cerrar la pista izquierda. Ajustar los controles del tránsito a los requerimientos de la jurisdicción. Verificar con la

jurisdicción la longitud admisible de pista por cerrar. Si las reparaciones superficiales y preparaciones para el refuerzo son mínimas, entonces puede ser apropiado controlar el tránsito para que circule lentamente. Cerrar la pista pudiera requerir controles adicionales del tránsito (ej., señales, bandereros y/o autos piloto).

- Reparar la superficie como está especificado. Preparar la superficie para el refuerzo (o, en el caso de refuerzos con hormigón de hormigón, la capa separadora) como se describe en los documentos del contrato.
- Construir una berna granular tratada con cloruro de calcio como se describe en los documentos del contrato. La berna tratada debe quedar firme y estable, capaz de soportar el tránsito a baja velocidad.
- Construir la capa separadora (solamente para refuerzos no adheridos de hormigón).



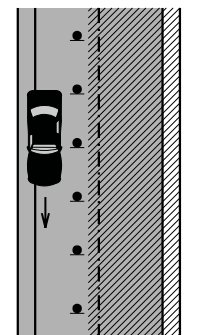
ETAPA 2.

Construir la berna derecha y la capa de refuerzo con hormigón

- Cambiar los controles del tránsito hacia la pista izquierda y cerrar al tránsito la pista derecha. La longitud por cerrar dependerá de la longitud máxima con auto piloto que permita la jurisdicción. El control del tránsito y las señales de tránsito deben basarse en los requerimientos de la jurisdicción.
- Reparar y preparar la superficie para el refuerzo o la capa separadora y el subsecuente refuerzo, como se describe en los documentos del contrato. Construir la capa separadora (para refuerzos no adheridos).
- El espacio normal para la línea guía de la pavimentadora es de 0,30-0,5 m (1-1,5 ft) y el ancho mínimo de la oruga es de 0,8-0,9 m (2,5-3 ft). Además, es común una reducción incremental de este espacio de 0,3 m (1 ft) hasta 0,6 m (2 ft) realizando algunos ajustes

típicos al equipo, para adaptarla a las dimensiones disponibles. Debe restringirse la velocidad en las inmediaciones de la pavimentadora cuando la distancia entre ella y el tránsito es limitada.

- Construir el refuerzo de hormigón sobre el pavimento existente. Los trabajos de alisado deberán operar solamente desde la berna exterior.
- Colocar una berna granular tratada con cloruro de calcio de 150 mm (6 in.) de espesor para ayudar a estabilizar la berna y minimizar el polvo que puede nublar la visión.
- El espacio de 0,5 m (1,5 ft) entre el borde del pavimento y los delineadores verticales es para la línea guía y la cuña de seguridad.



ETAPA 3.

Construir la capa de refuerzo con hormigón de la pista izquierda

- Cerrar al tránsito la pista opuesta y colocar el refuerzo de hormigón de acuerdo a los documentos del contrato, utilizando el mismo procedimiento descrito para la Etapa 2.
- Completar las bermas. Completar la demarcación del pavimento y señales regulatorias de acuerdo con los documentos del contrato.

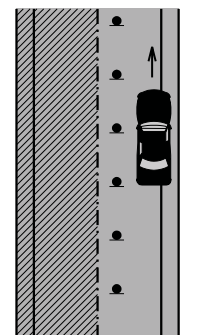
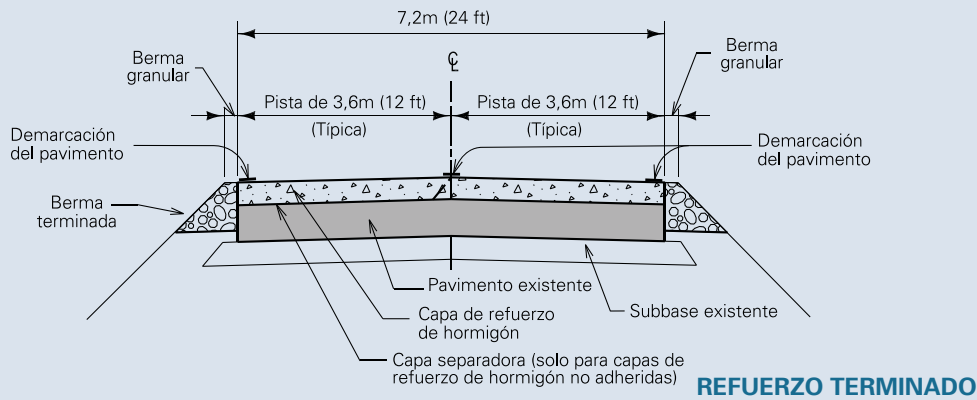


Figura 106. Capa de refuerzo de carretera de dos pistas con bermas granulares mínimas (sin espacio lateral para la pavimentadora)

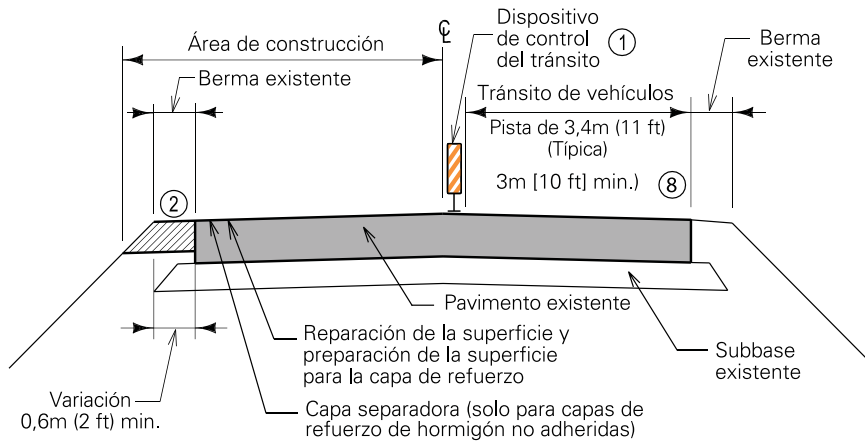


LEYENDA

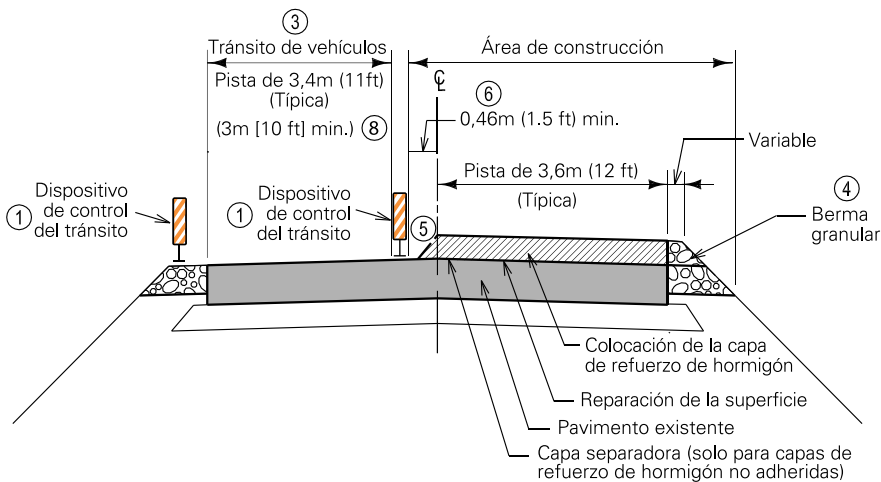
- Área de trabajos por etapas
- Hormigón
- Materia granular

NOTAS:

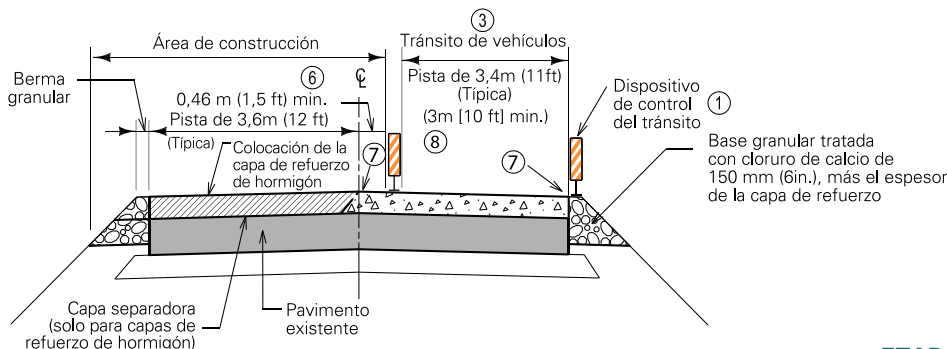
- ① Para los elementos de control del tránsito, ajustarse a los requerimientos jurisdiccionales. El control del tránsito por la berma exterior dependerá del ancho de la berma.
- ② La berma existente debe tener un espesor mínimo de 150 mm (6 in.) de material granular, tratado con cloruro de calcio.
- ③ El ancho mínimo de la pista de circulación en las inmediaciones de la pavimentadora puede reducirse por poco tiempo, para trabajos fijos de poco volumen, carreteras de baja velocidad y cuando el tránsito no incluye vehículos comerciales muy largos y anchos.
- ④ Colocar la berma tratada con cloruro de calcio en dos capas. La primera es para la oruga de la pavimentadora. La segunda es para la berma definitiva. Si se entrega al tránsito el refuerzo construido en esta etapa y la capa final se posterga, colocar una cuña de seguridad como se muestra. Si el refuerzo genera un desnivel mayor que el permitido por la jurisdicción, colocar la segunda capa antes de abrir al tránsito.
- ⑤ Ver la cuña de seguridad en el eje y subsecuente remoción en la Figura 103.
- ⑥ Requiere un espacio mínimo o cero para la pavimentadora. La distancia de 0,5 m (1,5 ft) es para el patín o la línea guía de la pavimentadora.
- ⑦ Demarcar las líneas de borde y del eje según el Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) (FHWA 2009) sección 6E.77 (demarcar ambas pistas).
- ⑧ Sólo para caminos de bajo tránsito.



ETAPA 1



ETAPA 2



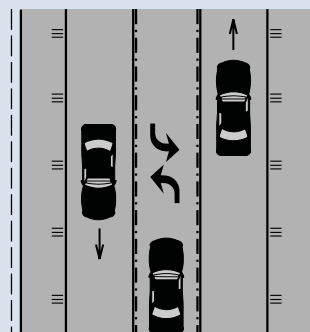
ETAPA 3

Capa de refuerzo de Carretera de Dos Pistas con Bermas Granulares Mínimas (Sin espacio lateral)

CAPA DE REFUERZO TERMINADA (Carretera de dos pistas ensanchada a tres con bermas pavimentadas, pavimentadora convencional)

Se aplica a:

- | | |
|---|---|
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón. | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento de hormigón |
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento asfáltico | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento asfáltico |
| ☒ Capas de refuerzo con hormigón adherido al pavimento compuesto | ☒ Capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento compuesto |



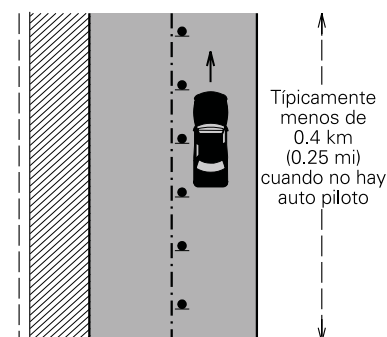
ETAPA 1.

Reparar la superficie, preparar para la capa de refuerzo y construir el ensanche de las bermas y la capa separadora

- Instalar los controles para el tránsito y cerrar la pista izquierda, ajustándose a los requerimientos de la jurisdicción. Verificar con la jurisdicción la longitud admisible de pista por cerrar. Si las reparaciones superficiales y preparación para el refuerzo son mínimas, entonces puede ser apropiado controlar el tránsito para que circule lentamente. Cerrar la pista pudiera requerir controles adicionales del tránsito (ej., señales, bandereros y/o autos piloto).
- Reparar la superficie como se requiere. Preparar la superficie para el refuerzo (o, en el caso de refuerzos con hormigón de hormigón, la capa separadora) como se describe en los documentos del contrato.
- Preparar el ensanche de la berma excavando en la berma existente y recortándola al ancho especificado.

La excavación debe rodillarse y compactarse de manera de obtener una plataforma firme y estable. Compactar la berma como se especifica en los documentos del contrato. Se recomienda un proceso continuo de rebaje de la berma con una zanjadora y de colocación del material para el ensanche de la berma base.

- Pavimentar con hormigón la berma existente en un mínimo de 1,8 m (6 ft).
- Utilizar el material granular excavado para ensanchar la berma existente. Tratar un área de 0,9 m (3 ft) de la berma con cloruro de calcio.
- Construir la capa separadora (solamente para refuerzos no adheridos de hormigón).

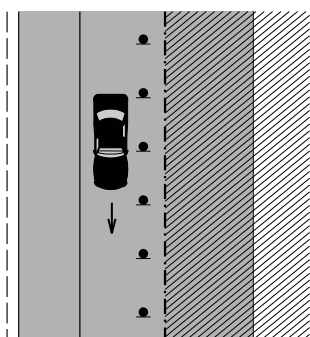


ETAPA 2.

Construir berma de mayor espesor y la capa de refuerzo con hormigón

- Cambiar los controles del tránsito hacia la pista izquierda y cerrar al tránsito la pista derecha. La longitud cerrada dependerá de la longitud máxima con auto piloto que permita la jurisdicción. El control del tránsito y las señales de tránsito deben basarse en los requerimientos de la jurisdicción.
- Reparar y preparar la superficie para el refuerzo o la capa separadora y el subsecuente refuerzo, como se describe en los documentos del contrato. Construir la capa separadora (para refuerzos no adheridos).

- Construir el refuerzo de hormigón sobre el pavimento existente. Completar el ensanche de la berma derecha con el refuerzo.
- La distancia "X" entre el eje del camino y los delineadores verticales es para la oruga y línea guía de la pavimentadora.



ETAPA 3.

Construir la capa de refuerzo con hormigón de la pista izquierda

- Cerrar al tránsito la pista opuesta y colocar el refuerzo de hormigón de acuerdo a los documentos del contrato, utilizando el mismo procedimiento descrito para la Etapa 2. Puede que la línea guía no sea necesaria para el borde derecho cuando el refuerzo pavimentado en la Etapa 2 se utiliza para controlar la pavimentadora en esta etapa.

- Si el desnivel del borde externo en la berma excede lo que permite la jurisdicción con una cuña de seguridad de 1:1, entonces construir las bermas granulares en esta etapa.
- Completar las bermas. Instalar (fresar) las bandas alertadoras en las bermas pavimentadas, completar la demarcación del pavimento y la señalización regulatoria de acuerdo con los documentos del contrato.

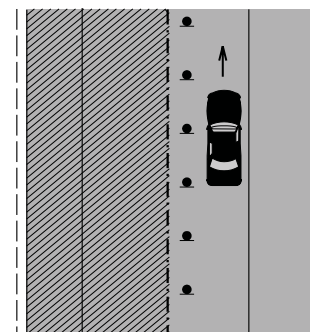
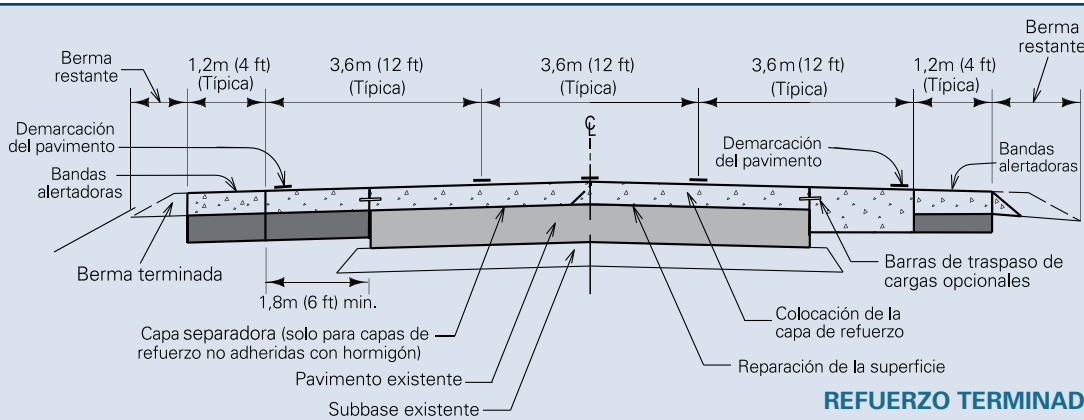


Figura 107. Capa de refuerzo de carretera de dos pistas ensanchada a tres con bermas pavimentadas (pavimentadora convencional)

LEYENDA

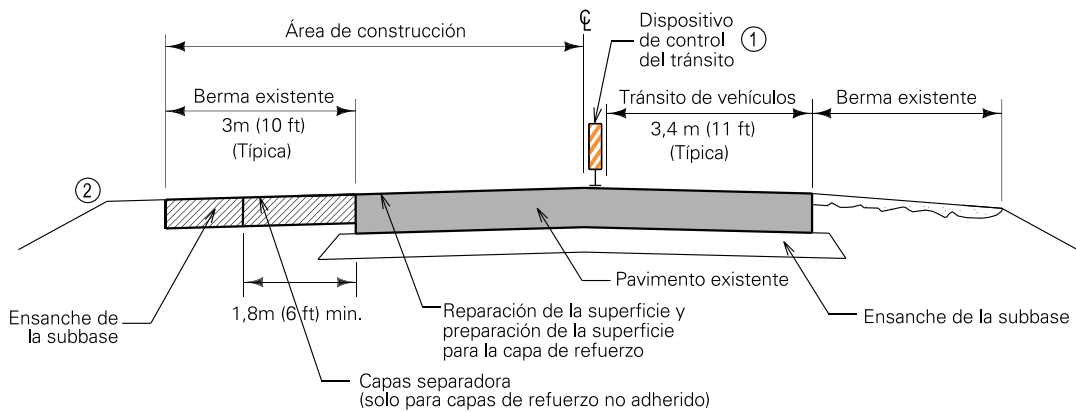
-  Área de trabajos por etapas
-  Hormigón
-  Material granular para ensanchar la berma. (Ej., base tratada con cemento, hormigón poroso, hormigón compactado con rodillo (HCR), asfalto u hormigón
-  Material granular



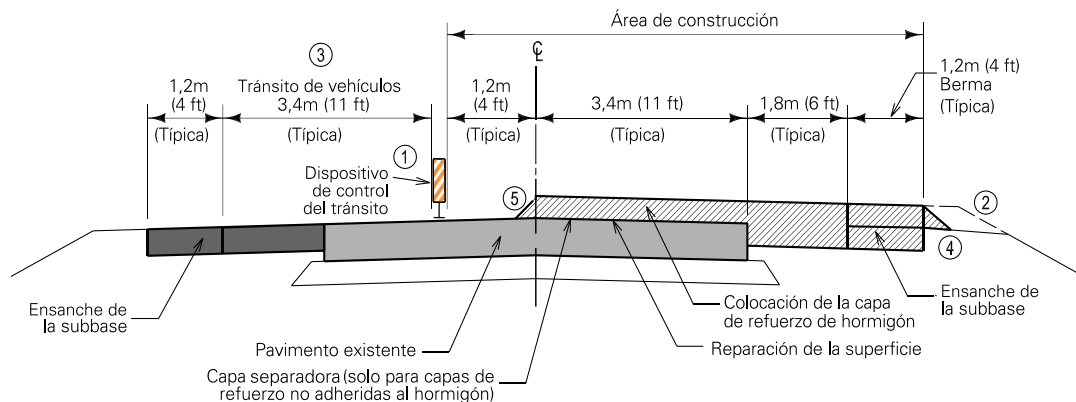
REFUERZO TERMINADO

NOTAS:

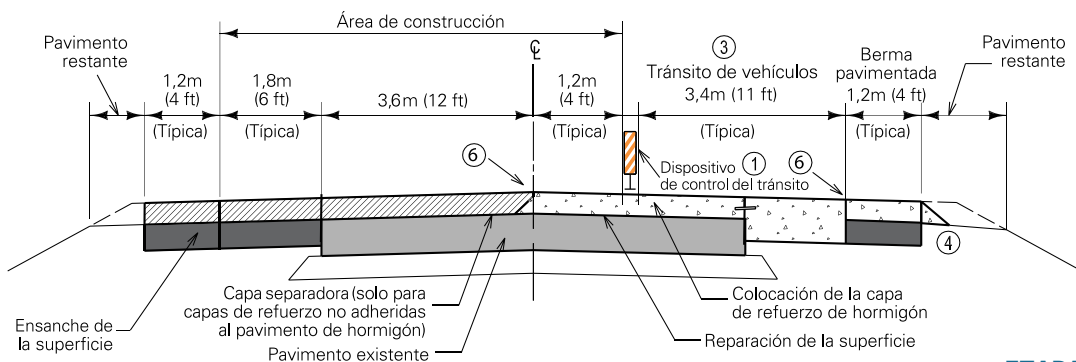
- ① Para los elementos de control del tránsito, ajustarse a lo requerimientos jurisdiccionales.
- ② Utilizar el material granular excavado para ensanchar las bermas existentes. Tratar un área de 0,9 m (3 ft) de la berma con cloruro de calcio.
- ③ El ancho mínimo de la pista adyacente a la pavimentadora puede reducirse por poco tiempo, para trabajos fijos de poco volumen, carreteras de baja velocidad y cuando el tránsito no incluye vehículos comerciales muy largos y anchos.
- ④ Si el refuerzo terminado en esta etapa se abre al tránsito en esta etapa y se posterga la capa final, colocar la cuña de seguridad tal como se muestra. Si el refuerzo genera un desnivel mayor que el que permite la jurisdicción, colocar una segunda capa antes de entregar al tránsito el refuerzo.
- ⑤ Ver la ilustración de la cuña de seguridad en el eje y subsecuente remoción en la Figura 103.
- ⑥ Demarcar las líneas de borde y del eje según el Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) (FHWA 2009) sección 6F.77 (demarcar ambas pistas).



ETAPA 1



ETAPA 2



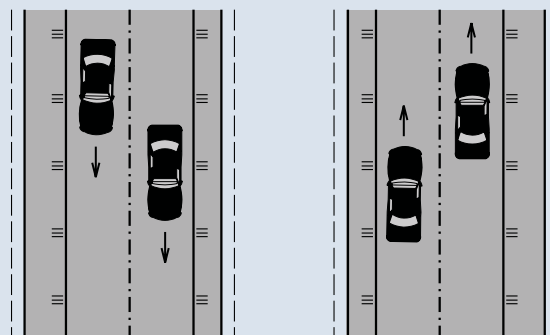
ETAPA 3

Capa de Refuerzo de Carretera de Dos Pistas Ensanchadas a Tres con Bermas Pavimentadas (Pavimentadora convencional)

CAPA DE REFUERZO TERMINADA (Carretera de cuatro pistas con bermas pavimentadas, pavimentadora convencional)

Se aplica a:

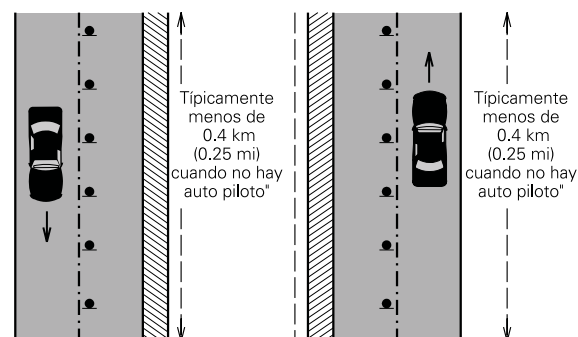
- ☒ Capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento de hormigón
- ☒ Capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento asfáltico
- ☒ Capa de refuerzo con hormigón adherido al pavimento compuesto
- ☒ Capa de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento de hormigón
- ☒ Capa de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento asfáltico
- ☒ Capa de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento compuesto



ETAPA 1.

Reparar la superficie y prepararla para la capa de refuerzo

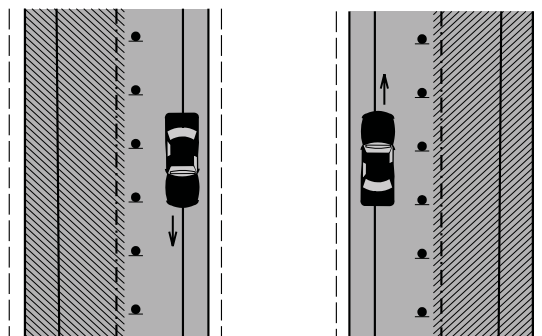
- Instalar los controles para el tránsito y cerrar las pistas interiores, ajustándose a los requerimientos de la jurisdicción. Verificar con la jurisdicción la longitud admisible de pista por cerrar. Si las reparaciones superficiales y preparación para el refuerzo son mínimas, entonces puede ser apropiado controlar el tránsito para que circule lentamente. Cerrar las pistas pudiera requerir controles adicionales del tránsito (ej., señales, bandereros y/o autos piloto).
- Reparar la superficie como se requiere. Preparar la superficie para el refuerzo (o, en el caso de refuerzos con hormigón de hormigón, la capa separadora) como se describe en los documentos del contrato.
- Evaluar la condición estructural de la berma existente. Si fuera necesario, fresar la berma existente o reconstruirla para que soporte las cargas del tránsito.
- Construir la capa separadora (sólo para refuerzos no adheridos de hormigón).



ETAPA 2.

Construir la capa de refuerzo con hormigón de la pista externa

- Cambiar los controles del tránsito hacia las pistas interiores y cerrar al tránsito las pistas externas. El control del tránsito y las señales de tránsito deben basarse en los requerimientos de la jurisdicción.
- Reparar y preparar la superficie para el refuerzo o la capa separadora y el subsecuente refuerzo, como se describe en los documentos del contrato. Construir la capa separadora (para refuerzos no adheridos).
- Construir una berma provisoria para la oruga de la pavimentadora.
- Construir el refuerzo con hormigón del pavimento existente. El alisado con herramientas debe operarse desde la berma externa solamente.



ETAPA 3.

Construir la capa de refuerzo con hormigón de la pista interna

- Cambiar los controles del tránsito a la pista externa y cerrar al tránsito la pista interna. Colocar el refuerzo con hormigón de acuerdo con los documentos del contrato, utilizando los mismos procedimientos descritos para la Etapa 2. Puede que la línea guía no sea necesaria para el borde derecho del pavimento cuando el refuerzo pavimentado en la Etapa 2 se utiliza para controlar la pavimentadora en esta etapa.
- Si la línea guía no se utiliza, la distancia "X" puede reducirse a 0,9 m (3 ft).
- Completar las bermas. Instalar (fresar) las bandas alertadoras en las bermas pavimentadas, completar la demarcación del pavimento y la señalización regulatoria de acuerdo con los documentos del contrato.

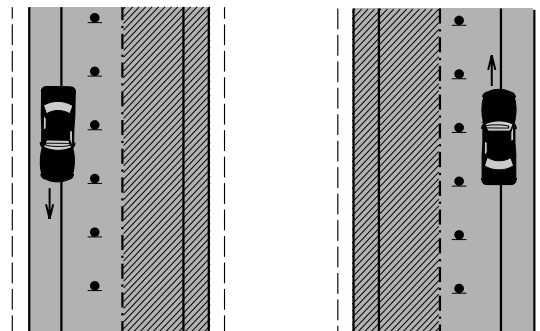


Figura 108. Capa de refuerzo de carretera de cuatro pistas con bermas pavimentadas (pavimentadora convencional)

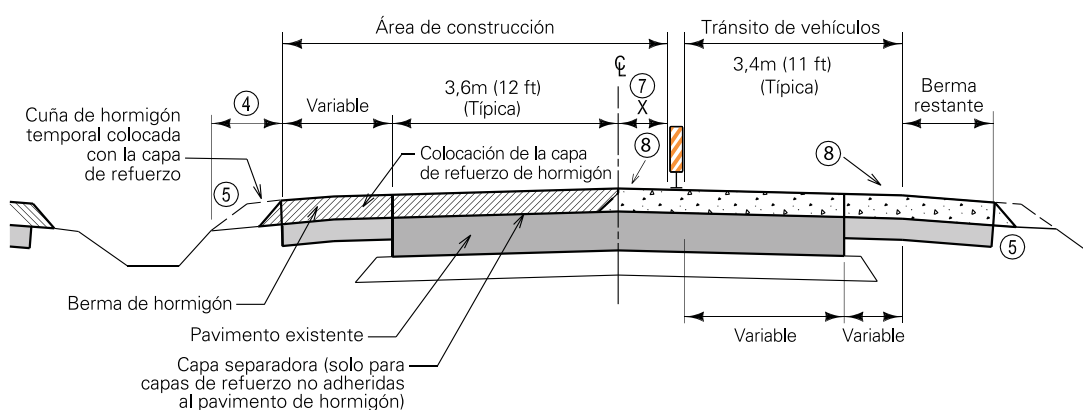
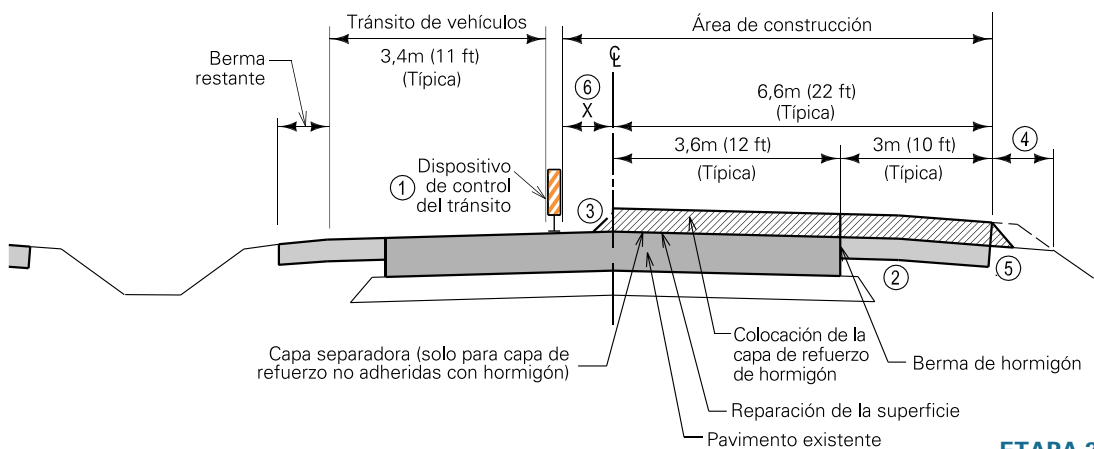
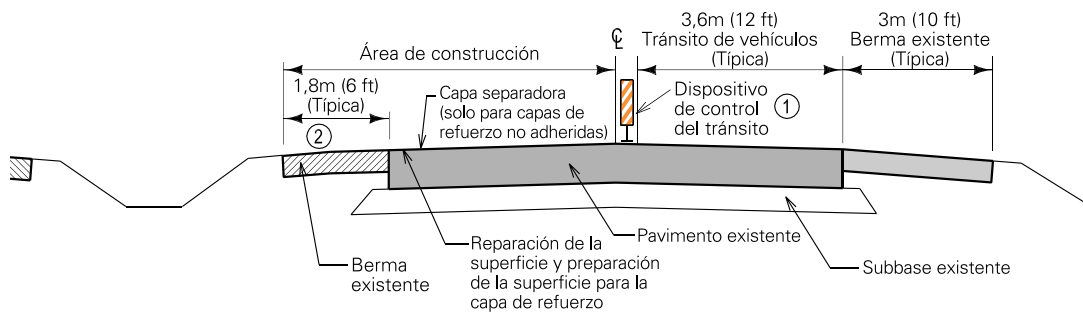
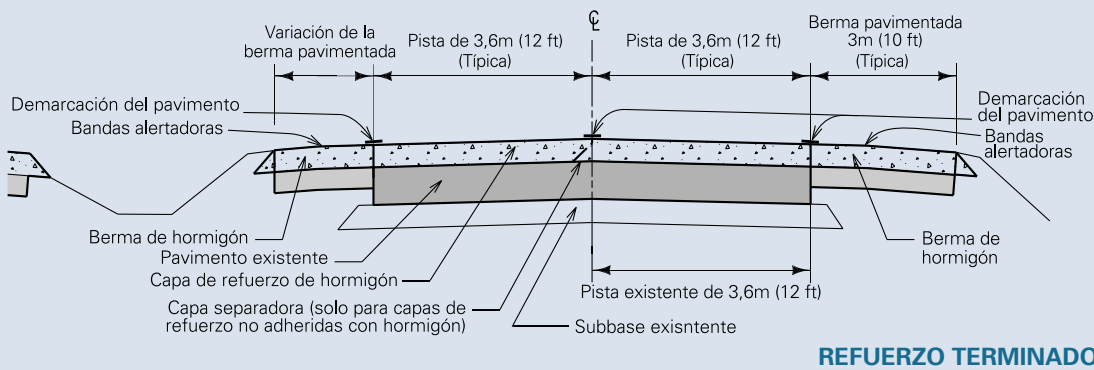
LEYENDA

-  Áreas de trabajos por etapas
-  Hormigón
-  Bermas existentes (reconstruidas, si fuera necesario)

NOTAS:

- ① Para los elementos de control del tránsito, ajustarse a los requerimientos jurisdiccionales.
- ② Evaluar las condiciones estructurales de las bermas existentes. Si fuera necesario reconstruirlas con hormigón o asfalto para que soporten el tránsito.
- ③ Ver la ilustración de la Figura 103 para la colocación y remoción de la cuña de seguridad en el eje.
- ④ Cuando el ancho de la berna existente más afuera de la berna pavimentada proyectada es menos de 0,9 m (3 ft), pueden ser necesarios algunos ajustes para adaptar los controles y la oruga de la pavimentadora.
- ⑤ Si el refuerzo terminado en esta etapa se abre al tránsito y se posterga el relleno final de las bermas, colocar la cuña de seguridad tal como se muestra. Si el refuerzo genera un desnivel mayor que el que permite la jurisdicción, colocar una segunda capa antes de entregar al tránsito el refuerzo.
- ⑥ Para "X" menor que 1,2 m (4 ft) puede ser necesario adaptar la pavimentadora para ajustar los controles y la oruga.
- ⑦ La distancia "X" puede reducirse a un mínimo de 0,9 m (3 ft) cuando la pista derecha se utiliza para controlar la pavimentadora.
- ⑧ Demarcar las líneas de borde y del eje según el Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) (FHWA 2009) sección 6F.77 (demarcar ambas pistas).

Capa de Refuerzo de Carretera de Cuatro Pistas con Bermas Pavimentadas (Pavimentadora convencional)



Capítulo 7

CONSTRUCCIÓN DE CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN

Los refuerzos con hormigón se construyen con procedimientos y equipos convencionales. Para información sobre cómo preparar un proyecto y sus especificaciones complementarias, ver el Apéndice G; para sugerencias relacionadas con reuniones entre el propietario y el contratista ver el Apéndice H.

Debido a que los movimientos de tierras se limitan a cantidades menores, el tiempo total de construcción de los refuerzos con hormigón es significativamente más corto que la reconstrucción de la carretera. Con una planificación adecuada, fases expeditas y operaciones eficientes, las calles y caminos que se refuerzan, pueden entregarse al tránsito después de un corto periodo de construcción.

Aspectos Claves para la Construcción de Capas de Refuerzos con Hormigón

Los proyectos de refuerzo con hormigón se pueden ejecutar con la rapidez y eficiencia de cualquier otra pavimentación, utilizando las prácticas normales para la construcción de pavimentos. Con una planificación adecuada, etapas expeditas y operaciones eficientes, las

FAQ - ¿Hay algo diferente en la construcción de una capa de refuerzo con hormigón?

Normalmente, no; se utilizan los mismos métodos y equipos que para la construcción de un pavimento de hormigón nuevo. Sin embargo, hay algunas consideraciones a tener en cuenta al construirlos durante periodos fríos del año (primavera y otoño). En esas condiciones, la base y el pavimento existente, se expandirán y contraerán con las variaciones diarias de la temperatura ambiente. La mezcla puede agrietarse si no ha alcanzado la resistencia suficiente para soportar las tensiones que originan los movimientos diferenciales entre el pavimento subyacente y el hormigón nuevo del refuerzo. Para mitigar el efecto de los movimientos diferenciales originados en cambios en la temperatura ambiente, se recomienda aumentar la tasa de incremento de la resistencia. Existe para ello una variedad de métodos; se pueden utilizar de a uno o, en muchos caso, combinados:

- Calentar mezcla de manera de mantener el hormigón fresco a una temperatura de al menos 24°C (75° F).
- Utilizar un aditivo acelerador de fraguado, no clorhídrico.
- Cubrir el refuerzo nuevo con una manta aislante, aspillera y/o lámina de polietileno.
- Cuando sea posible, reducir en la mezcla la cantidad de material fino complementario.

calles y carreteras a las que se les coloca una sobre capa pueden entregarse al tránsito dentro de un corto periodo de tiempo. Ver la Tabla 21.

HIPERPAV es un software que se encuentra disponible y que permite predecir tensiones en el hormigón. Es especialmente útil cuando se requiere información adicional debido a la presencia de condiciones climáticas poco propicias tales como cuando el refuerzo es particularmente delgado o el proyecto no permite flexibilidad de programación.

El pago normalmente se basa en dos partidas: metros cuadrados (yardas cuadradas) y metros cúbicos (yardas cúbicas). La superficie se mide para compensar por el área en metros cuadrados (yardas cuadradas) y, para compensar por los metros cúbicos (yardas cúbicas) de volumen de hormigón, se recolectan las guías de despacho de las descargas de camiones, lo que permite compensar por los espesores variables.

Refuerzos Adheridos

Refuerzos no adheridos

Tabla 21. Prácticas de construcción de pavimentos de hormigón para capas de refuerzo

Consideraciones de Construcción	Refuerzos Adheridos al Hormigón	Refuerzos Adheridos al Asfalto o Pavimentos Compuestos	Refuerzos No Adheridos al Hormigón	Refuerzos No Adheridos al Asfalto o Pavimentos Compuestos
1. Dosificación de la Mezcla				
Agregados:				
Química y físicamente durables y estables	X	X	X	X
Mezcla bien graduada	X	X	X	X
Hacer coincidir el coeficiente de expansión térmica con el del pavimentos existente	X			
El tamaño máximo del agregado debe ser H/2,5 en relación con el espesor del nuevo refuerzo	X	X	X	X
Usar mezclas convencionales con cementos Tipos I y II.	X	X	X	X
Usar cenizas volantes y escorias para reducir la permeabilidad con una razón a/c que no exceda de 0,42.	X	X	X	X
Usar un reductor de agua para ayudar a mantener la razón a/c y la docilidad, así como para aumentar la resistencia.	X	X	X	X
Si se requiere construcción acelerada, realizarlo por medio de un sistema de etapas cuidadoso y ejecución diligente; las mezclas de fraguado rápido sólo deben utilizarse en áreas limitadas donde la apertura acelerada al tránsito no puede realizarse por otros medios.	X	X	X	X
Se pueden utilizar fibras para mejorar la "dureza" del hormigón (medida por la capacidad para absorber energía), aumentar la resistencia a la deformación, mantener trozos juntos en caso de agrietamiento y servir como política de seguridad que protege la superficie de condiciones no previstas de la base.	X	X		
Realizar ensayos de laboratorio para verificar mezclas no estándar (muestras al azar) y especificar ensayos de temperatura representativos de las condiciones en el terreno.	X	X	X	X

Tabla 21. Prácticas de construcción de pavimentos de hormigón para capas de refuerzo, continuación

Consideraciones de Construcción	Refuerzos Adheridos		Refuerzos no adheridos	
	Refuerzos Adheridos al Hormigón	Refuerzos Adheridos al Asfalto o Aavimentos Compuestos	Refuerzos No Adheridos al Hormigón	Refuerzos No Adheridos al Asfalto o Pavimentos Compuestos
2. Control de la Rasante				
Sólo el perfil del eje (as built) con la sección transversal terminada.	X	Fresar y construir el refuerzo		
Cuando los bombeos transversales varían o existen distorsiones superficiales levantar tres líneas (los bordes y el eje).	X	Poco o sin fresar	Sólo incrustaciones	Sólo incrustaciones
Levantar un área fuera del pavimento existente o sobre la superficie fresada para colocar la línea guía o los moldes. Ajustar puntos individuales de manera de obtener una línea suave.	X	X	X	X
Cuando se requiere ajustar las bermas, taludes de seguridad y taludes, levantar secciones transversales cada 30 – 150 m (100 – 500 ft). Si el perfil de la rasante existente es irregular, pueden ser necesarias tomar cotas adicionales para corregir y suavizar la rasante en ciertos lugares.			X	X
Levantar las condiciones de estribos de puentes, gálibos de puentes y peraltes extremos.	X	X	X	X
Colocar una capa separadora de asfalto de espesor nominal 25 mm (1 in.) y hormigón para nivelar variaciones de 75 mm (3 in.) o mayores, de manera de evitar una capa separadora de asfalto de mayor espesor y por lo tanto, controlar su compactación, estabilidad y rasante.			X	
3. Reparaciones Previas para un Soporte Uniforme				
Reparaciones mínimas de defectos de la superficie. Remover las áreas deterioradas y reemplazarlas con el refuerzo.	X			
Un ingeniero debe observar las condiciones finales de la sub base del pavimento antes de construir el refuerzo. En zonas pequeñas, con deterioros aislados que causan alguna pérdida en la integridad estructural y que no puede salvarse con el fresado, aumentar en esa área el espesor del refuerzo.		X		
Reemplazar áreas aisladas de la subbase del pavimento donde existe evidencia de movimientos activos.			X	X
En las juntas deterioradas con poco o sin escalonamiento se puede hacer “puente” con el refuerzo.			X	
Para ensanchar la carretera, excavar la berma para permitir que el mayor espesor del ensanche se coloque junto con el refuerzo.	X	X	X	X
Rellenar las grietas con una mezcla de arena- asfalto en caliente o mortero fluido, cuando el ancho de las grietas excede el tamaño máximo del agregado grueso por utilizar en la mezcla de hormigón para el refuerzo.		X		X
4. Preparación de la Superficie				
Rugosidad superficial para la adherencia:				
Granallado a presión (aún después de fresar)	X			
Fresar para remover distorsiones significativas o reducir puntos altos		X		X
Limpieza de la superficie:				
Barrido seguido por aire comprimido (podría ser necesaria agua a presión para remover suciedad transportada hasta la superficie)	X	X		
Sólo barrido de la superficie			X	X
Mantener la superficie limpia y seca.	X	X		
Rociar (humedecer) el pavimento existente cuando la temperatura en la superficie excede los 49°C (120° F), utilizar aire comprimido para remover cualquier poza de agua, directamente delante de la operación de colocación del hormigón.	X	X	X	X
Colocar la capa separadora de asfalto de espesor nominal 25 mm (1 in) para separar el hormigón y prevenir la adherencia. Cuando se prevé tránsito pesado, es aconsejable considerar una capa asfáltica drenante y un sistema de drenaje.			X	
Si la superficie del asfalto de un pavimento compuesto se mantiene intacta, puede servir como capa separadora.				X
5. Colocación del Hormigón				
Cuando la temperatura en la superficie del asfalto es igual o mayor que 49°C (120° F), se puede mojar la superficie para reducir la temperatura y minimizar el agrietamiento por retracción. No debe haber agua empozada al momento de colocar el refuerzo.		X	X	X
Las condiciones climáticas al momento del vaciado pueden afectar la adherencia del refuerzo. Las tensiones significativas que pueden desarrollarse debido a rápidos cambios de temperatura, humedad y velocidad del viento, reducen la fuerza de adherencia bajo condiciones severas. El HIPERPAV puede predecir las fuerzas de adherencia de la interface basándose en numerosos factores.	X	X		
Alimentar con hormigón consistentemente a la pavimentadora requiere de un número adecuado de camiones tolvas. La cantidad de camiones a menudo dicta la velocidad de la pavimentadora. El ciclo completo de mezclado, descarga, transporte y colocación del hormigón, debe coordinarse con la capacidad de la planta de hormigón, la distancia de transporte y las capacidades del distribuidor y la pavimentadora. En la medida que la distancia de transporte aumenta se podrían necesitar camiones adicionales.	X	X	X	X
No se debe ensuciar con pasta de hormigón o barro la superficie por delante de la pavimentadora, pues puede ser causal de fallas de adherencia.	X	X		
En los proyectos de refuerzos, la forma en que la cuadrilla coloca el hormigón delante de la operación de pavimentación, es un factor importante para lograr un pavimento con una superficie suave. Delante de una pavimentadora de molde deslizante, el hormigón debe vaciarse formando pequeños montones traslapados entre sí, de manera de minimizar los desplazamientos laterales.	X	X	X	X

Tabla 21. Prácticas de construcción de pavimentos de hormigón para capas de refuerzo, continuación

Consideraciones de Construcción	Refuerzos Adheridos		Refuerzos no adheridos	
	Refuerzos Adheridos al Hormigón	Refuerzos Adheridos al Asfalto o Pavimentos Compuestos	Refuerzos No Adheridos al Hormigón	Refuerzos No Adheridos al Asfalto o Pavimentos Compuestos
La línea guía es muy importante para obtener suavidad, por lo que debe instalarse en forma adecuada, segura y mantenerse así; una pavimentación continua y constante, evita las interrupciones que originan deformaciones.	X	X	X	X
Las barras de amarre pueden ser apropiadas en secciones abiertas hacia los costados, cuando se construyen ensanches de entre 0,9 y 1,8 m (3 a 6 ft) y el espesor del refuerzo es 125 mm (5 in) o más. Normalmente, no se utilizan barras de amarre en los ensanches de pistas para prevenir agrietamientos provocados por tensiones debidas a expansiones y contracciones diferenciales entre pistas.	X	X		
Las barras de traspaso de cargas deben ajustarse a las de los pavimentos de todo el espesor. No deben utilizarse barras de traspaso de cargas en pavimentos de espesores menores que 180 mm (7 in). Cuando se utilizan en pavimentos de mayor espesor, deben colocarse aproximadamente en el tercio central del espesor del refuerzo. La altura de los canastos o a la profundidad de inserción de las barras de traspaso de cargas, no deben modificarse si existen sectores aislados de mayor espesor.		X	X	X
La textura debe darse en el momento adecuado de manera de no perturbar el fraguado del hormigón. Dos texturas efectivas se pueden obtener mediante ranuras longitudinales o con aspillera/césped. Cuando se utiliza en la mezcla arenas de alta dureza, el arrastre de una aspillera/césped crea una superficie con fricción adecuada y silenciosa.	X	X	X	X
6. Curado para Prevenir la Pérdida Rápida de Agua del Hormigón				
El curado apropiado tanto de refuerzos adheridos como no adheridos, es particularmente importante porque son delgados con una gran superficie en relación con el volumen de hormigón. La tasa de compuesto de curado debe incrementarse por sobre lo normal para proporcionar protección adicional. Los compuestos de curado estándar pueden utilizarse en refuerzos no adheridos de mayor espesor.	2 veces lo normal	1,5–2 veces lo normal	1,5–2 veces lo normal	1,5–2 veces lo normal
Con clima cálido, deben tomarse medidas para reducir la tasa de evaporación del hormigón. En caso de evaporación significativa, se debe proporcionar una aplicación más efectiva, tal como aplicar un riego tipo neblina o un retardador de evaporación aprobado.	X	X	X	X
El curado adecuado de refuerzos apoyados en un sistema de soporte rígido (especialmente sobre pavimentos de hormigón subyacentes) es importante para minimizar los esfuerzos por alabeos.	X	X	X	X
7. Juntas				
El espaciamiento de las juntas en refuerzos con hormigón requiere de consideraciones especiales para cada tipo:				
Se deben hacer coincidir las juntas con las del hormigón subyacente para evitar grietas reflejadas.	X			
Cuando sea posible, es una buena política, que las juntas y/o grietas no coincidan de manera de que el pavimento subyacente maximice la transferencia de cargas. En algunos estados la no coincidencia entre juntas no es intencional y sin embargo, no han experimentado efectos adversos.			X	X
Las dimensiones de las losas deben coincidir con las del pavimento subyacente.	X			
El patrón recomendado para las juntas para el refuerzo con hormigón sobre asfalto es que no debe exceder 18 veces el espesor del refuerzo en metros.		X		
Para refuerzos de espesor igual o menor que 150 mm (6 in.) las dimensiones de las losas (en metros) no deben exceder 18 veces el espesor del refuerzo en metros (Ej., 0,1 m x 18 m/m = 1,8 m).			X	X
Para refuerzos de espesores mayores de 150 mm (6 in), las dimensiones de las losas (en metros) no deben exceder 24 veces el espesor del refuerzo en metros con un máximo de 4,5 m (15 ft).			X	X
Debido a las potenciales mayores tensiones por alabeo debido al pavimento rígido subyacente, es típico un espaciamiento menor que el normal (ver las páginas 40, 44 y 48).			X	X
Aserrado de las juntas:				
El momento para aserrar es crítico. Aserrar las juntas muy pronto puede causar desflocado. El HIPERPAV puede ser útil para ayudar a predecir la ventana de tiempo apropiada para el aserrado, basándose en la dosificación de la mezcla del hormigón, tiempos de construcción y condiciones ambientales.	X	X	X	X
El aserrado debe terminarse antes que las tensiones excedan la resistencia desarrollada. Un aserrado tardío puede llevar a un agrietamiento descontrolado.	X	X	X	X
Aserrado de juntas a transversales con sierras convencionales.	Todo el espesor + 13 mm (0,5 in.)	H/3	H/4 min.-H/3 max.	
Aserrado de juntas transversales con sierras para ingreso acelerado.	Espesor total + 13 mm (0,5 in.)	No < 32 mm (1,25 in.)	No < 32 mm (1,25 in.)	
Aserrado de juntas longitudinales.	H/2 (como mínimo)	H/4 – H/3	H/4 – H/3	
El ancho de las juntas transversales debe ser igual o mayor que el ancho de la grieta subyacente al fondo de la junta transversal existente.	X			
Sellado:				
Sellar las juntas angostas con un sellante de bajo módulo colocado en caliente.	X	*	**	**

* La junta entre el refuerzo y la solera cuneta debe sellarse.

** Algunos estados han experimentado problemas por desprendimientos en el asfalto de la capa separadora, particularmente con tránsito de camiones pesados y altas velocidades. Por lo tanto, en estas condiciones sellar es importante. En caminos para velocidades más bajas sin las cargas de tránsito pesado, algunos estados tienen éxito sin sellar.

Capas de Refuerzo Adheridas: Asegurando una Adherencia Apropiada

Cuando se requiere adherir un refuerzo con hormigón a una superficie de hormigón existente, debe enfatizarse la necesidad de una buena adherencia. Tanto la teoría como la práctica demuestran que sin esta adherencia, en el refuerzo se desarrollan rápidamente tensiones secundarias que comprometen significativamente la vida del sistema de pavimentos. Se han realizado investigaciones para tratar de medir y caracterizar las fuerzas de adherencia a edades tempranas del hormigón del refuerzo. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha desarrollado ningún ensayo simple y confiable. Entre tanto, la fuerza de adherencia típicamente se caracteriza mediante ensayos substitutivos, concretamente la resistencia (a la compresión o a la flexotracción) del refuerzo. Si se han tomado las providencias necesarias para preparar la superficie del pavimento existente en forma adecuada, se han aplicado correctamente los procedimientos recomendados para construir, el curado ha sido adecuado y se ha cumplido con el criterio de resistencia para apertura temprana al tránsito, las fuerzas de adherencia debieran ser las adecuadas para permitir que el pavimento sea abierto al tránsito sin que se produzca una falla por esta causa.

Varios elementos (además de los comunes a un hormigón de pavimento típico) son particularmente importantes para asegurar una buena adherencia entre el refuerzo con hormigón y el pavimento de hormigón subyacente. Son aspectos relacionados con la mezcla del hormigón, el espaciamiento de las juntas, la preparación y limpieza de la superficie, el curado, el aserrado de juntas y los controles de la resistencia. Mientras que varios de esos factores normalmente se consideran en la pavimentación convencional con hormigón, debe darse especial énfasis a ciertos factores claves de estos elementos, puesto que los refuerzos con hormigón adherido son especialmente sensibles a los cambios de volumen.

Las mezclas de hormigón por utilizar en refuerzos con hormigón adherido deben experimentar la menor retracción posible y tener similares propiedades térmicas o que el coeficiente de expansión térmica sea semejante (ver la página 52 para más información). Normalmente esto significa optimizar el contenido de cemento para minimizar la retracción, manteniendo la resistencia adecuada. Otra consideración relacionada con la mezcla es la granulometría y tipo del agregado (lo que ayuda a reducir el cemento sin sacrificar la resistencia). Para minimizar las tensiones y deformaciones térmicas que se desarrollan en el plano de adherencia entre del refuerzo y el hormigón, los agregados

FAQ- Si la profundidad media de la textura de un pavimento existente se encuentra dentro del rango recomendado o mayor, ¿Tengo que granallar o fresar el pavimento?

Si, aun cuando la profundidad media de la textura debe considerarse, el granallado o fresado es necesario para remover residuos provenientes de caucho, grasa y aceite, acumulados durante los muchos años de uso.

del refuerzo deben tener propiedades térmicas similares a las del agregado del pavimento de hormigón subyacente. Si las fuentes de agregados locales hacen difícil hacer coincidir los coeficientes térmicos, se debe procurar utilizar solamente agregados con coeficiente térmico inferior al de los agregados del pavimento existente.

La superficie del pavimento de hormigón existente debe prepararse de manera de lograr una superficie rugosa que mejore la adherencia entre las dos capas; ver la Figura 109. Se pueden utilizar una variedad de procedimientos para preparar la superficie, entre los que están el granallado y el fresado. No son necesarias, ni las lechadas adhesivas, ni las epóxicas. El procedimiento más comúnmente utilizado para preparar la superficie y el más efectivo, es el granallado. Aun cuando fresar produce una superficie del hormigón más rugosa, no debe utilizarse con este sólo propósito porque potencialmente puede producir micro grietas y fracturas en el agregado expuesto. Si se fresa para rebajar la cota del pavimento, debe removerse con granallado cualquier micro agrietamiento resultante.

A veces se especifica una superficie rugosa o una profundidad media determinada para la textura. El ensayo de la mancha de arena (ASTM C 965) a menudo se utiliza para medir y verificar la profundidad media de la textura. Normalmente, la profundidad media de la textura conveniente para una adherencia adecuada está en el rango de 0,9 – 2,0 mm (0,04 – 0,08 in.).

El siguiente paso en la preparación de la superficie debe ser una acabada limpieza que remueva todo el material suelto para

asegurar una adherencia adecuada. Se puede limpiar mediante barrido de la superficie del hormigón, para después limpiar con aire comprimido, inmediatamente por delante de la pavimentadora. Solamente se deben utilizar chorros de aire o de agua como un proceso de limpieza suplementaria para remover de la superficie material suelto, después de haber granallado o fresado. Al momento de colocar el refuerzo, no debe existir humedad visible en la superficie del pavimento. La pavimentación debe comenzar inmediatamente después de la limpieza para minimizar la probabilidad de contaminación.

Una vez preparada la superficie, debe restringirse la circulación de vehículos. Si es absolutamente necesario que algunos vehículos circulen sobre el hormigón existente, debe cuidarse que no derramen aceite u otro contaminante que pudiera afectar la adherencia. Se debe humedecer con agua la superficie, para reducir la temperatura y minimizar la probabilidad de un agrietamiento por retracción, cuando la temperatura es igual o mayor a 49°C (120° F). El agua apozada en la superficie debe removerse con aire a presión.

El curado puede también tener un importante impacto en la adherencia del refuerzo. La aplicación diligente y completa del compuesto de curado (a veces aplicado al doble de la tasa normal) es un método efectivo para controlar la pérdida de humedad y por lo tanto disminuir el potencial agrietamiento a una edad temprana. Esto es especialmente verdadero para los refuerzos adheridos delgados. Cuando la aplicación correcta del compuesto de curado resulta difícil o dudosa, se deben tomar medidas



Figure 109. Compare la textura de la superficie de un área no granallada (mitad izquierda superior de la imagen) con la textura rugosa de la superficie en la sección granallada del pavimento (bajo el lápiz) (fuente: Leif Wathne, ACPA)

más “extremas”, tales como curado húmedo o mantas, lo que puede ayudar a minimizar el riesgo de un comportamiento deficiente. Este tipo de regímenes de curado más “extremos” son comúnmente aplicables sólo en tramos cortos, tales como son la rehabilitación de intersecciones.

Ajustarse a buenas prácticas en el aserrado de juntas también puede en gran medida, reducir tensiones a tempranas edades del pavimento y ayudar a una apertura temprana al tránsito. Como se mencionó en otra parte de este documento, es absolutamente crítico para una adherencia apropiada, aserrar las juntas transversales de un refuerzo nuevo en todo el espesor más 13 mm (0,5 in.), exactamente sobre las juntas del pavimento existente. Existen ejemplos de fallas a tempranas edades, de refuerzos con hormigón adherido, debido a una pérdida de adherencia como resultado de no cortar las juntas completamente a través de todo el espesor del refuerzo y por no haberlas hecho coincidir con las juntas subyacentes. El ancho del aserrado inicial del refuerzo debe igual o mayor al ancho de las grietas transversales del pavimento existente; ver la Figura 48 en página 58.

Cuando todos estos factores han sido adecuadamente considerados y ejecutados durante la construcción, la resistencia del hormigón del refuerzo puede utilizarse para caracterizar, con cierta confianza, la adherencia. El seguimiento de la resistencia del refuerzo puede realizarse en una forma similar a la de la pavimentación con hormigón convencional. Los métodos de madurez para predecir la resistencia a tempranas edades (ASTM C 1074) pueden ser particularmente apropiados. Si se siguen todas las recomendaciones para los procedimientos de construcción y teniendo en consideración que la fuerza de adherencia se correlaciona razonablemente bien con la resistencia del hormigón, la decisión de entregar al tránsito tempranamente se puede tomar con relativa confianza, en la obra y de una manera programada.

Capas de Refuerzo No Adheridas: Instalación de Capa Separadora de Geotextil

Si se va a construir un refuerzo no adherido, se debe colocar una capa separadora de asfalto o tela geotextil, antes de colocar el refuerzo. Las capas separadoras de geotextil requieren de algunas prácticas especiales para instalarlas.

Antes de colocar el geotextil, la superficie del pavimento existente debe barrerse, ya sea con una barredora mecánica o con aire a presión, hasta dejarla limpia y libre de materiales sueltos. Deben seguirse las prácticas y procedimientos convencionales para colocar la capa separadora.

Sea la capa separadora permeable (tela geotextil o asfalto de graduación abierta) o impermeable

(mezcla asfáltica en caliente de granulometría densa) debe drenar hacia los bordes del pavimento o se corre el riesgo que quede agua atrapada, que puede ser muy perjudicial. Para drenar, la capas se puede o hacerla sobresalir más afuera de los bordes (permitiendo la evacuación del agua) o conectarla a un subdren u otras capas (permitiendo que el fluya fuera de la estructura del pavimento).

En general, las siguientes prácticas de construcción han permitido instalar exitosamente geotextiles como capas separadoras:

- Colocar el material el menor tiempo posible antes de pavimentar (idealmente no más de 2 o 3 días antes) para reducir las posibilidades que se dañe.
- Antes de colocar el geotextil no tejido, se deben realizar las siguientes operaciones:
 - Reparar el pavimento existente corrigiendo los agrietamientos importantes.
 - Si el escalonamiento de las juntas es mayor de 6 mm (0,25 in.) (o como se hubiere especificado), debe reducirse fresando.
 - Barrer al pavimento para dejarlo limpio.
- Extender el material sobre la base u cualquier otra superficie, manteniendo el geotextil no tejido tenso, sin arrugas ni dobleces.

- Extender los rollos del geotextil según una secuencia que facilite un buen traslape, evitando que el tránsito produzca dobladuras o rasgaduras y minimizando el peligro que el material sea alterado por la pavimentadora.
- Los traslapes entre secciones del geotextil no tejido deben tener como mínimo 150 mm (6 in.) y como máximo 250 mm (10 in.), asegurándose que no más de tres capas de la tela se superpongan en un determinado lugar; ver la Figura 110.
- Asegurarse que el geotextil, se extienda a lo menos 100 mm (4 in.) más afuera del borde del pavimento terminando conectado al sistema de drenaje del pavimento, en toda la zona por donde evacuará el agua.
- Asegurar la tela con clavos hincados con un disco de acero galvanizado de 50 – 70 mm (2,0 – 2,75 in.) de diámetro distanciados a 1,8 m (6 ft) o menos entre sí, dependiendo de las condiciones; ver la Figura 111.
- En un limitado número de proyectos se han utilizado adhesivos para pegar el geotextil al pavimento existente; para más información ver 3M (2013).
- El tránsito de construcción sobre el geotextil debe limitarse a sólo el necesario para facilitar la pavimentación con hormigón; ver Figuras 112 y 113. Si el tránsito de construcción va



Figura 110. Traslape de geotextil no tejido



Figura 111. Anclando tela geotextil no tejida a un pavimento de hormigón existente

a circular sobre el geotextil, deben tomarse precauciones para mitigar rasgaduras y arrugas:

- Dejar temporalmente sin geotextil los tramos donde los camiones cruzan y hacen giros bruscos.
- Minimizar los giros y frenadas bruscas, que pueden causar rasgaduras y arrugas.
- Reducir la velocidad de circulación del tránsito de construcción.

Colocación de los Canastos para las Barras de Traspaso de Cargas

Si el diseño del refuerzo incluye canastos para las barras de traspaso de cargas, se deben seguir buenas prácticas de construcción. Es esencial anclar firmemente los canastos al pavimento existente para proporcionar la transferencia de cargas previstas para las juntas de contracción. Se han observado en algunos proyectos de refuerzos con hormigón, desplazamientos de los canastos con barras de traspaso de cargas.

Los desplazamientos han sido atribuidos a varios factores:

- Las capas separadoras de asfalto requieren diferentes largos de clavos y diferentes velocidades de disparo a medida que el espesor del asfalto varía en la sección transversal del pavimento.
- Las capas asfálticas de mezclas de graduación fina, recién construidas, proporcionan menos fricción que una superficie fresada o de hormigón; la menor fricción puede provocar que los canastos con las barras de traspaso de cargas se desplacen a medida que el hormigón, delante de la pavimentadora, es trasladado sobre la superficie de la capa separadora en vez de rodar a medida que la pavimentadora avanza.
- Una excesiva cantidad de hormigón al frente de la pavimentadora puede desplazar los canastos con las barras de traspaso de cargas.

Existen varias recomendaciones para anclar firmemente los canastos y luego monitorear sus desplazamientos:

- Dejar sin tocar los alambres de fábrica, salvo que se utilice un MIT SCAN-2 para verificar la posición de las barras de traspaso de cargas.

- Para superficies de hormigón, utilizar seis anclajes por canasto.
- Para superficies asfálticas y compuestas, utilizar ocho anclajes por canasto.
- Colocar igual número de anclajes a cada lado (lado de la pavimentadora y aguas abajo) de los canastos, ver Figura 114.
- Evitar un exceso de carga de hormigón frente a la pavimentadora.

La posición de las barras de traspaso de cargas debe ser periódicamente verificada manualmente una vez que la pavimentadora ha pasado sobre ellos; ver la Figura 115. Se debe suspender la pavimentación, si los canastos experimentan desplazamientos durante la operación, hasta contar con un plan aprobado para anclar firmemente los canastos. Existen varios procedimientos para revisar la posición de las barras de traspaso de cargas, con el hormigón endurecido (MIT SCAN-2, MIT SCAN-T2, radar de penetración del terreno, testigos, etc.). Aun cuando la precisión de estos métodos varía, se recomienda verificar la posición de las barras de traspaso de cargas por algún medio.



Figura 112. Pavimentando sobre un geotextil no tejido



Figura 113. Pavimentando sobre una capa separadora de geotextil blanco (fuente: Larry Engbrecht, South Dakota Chapter, ACPA)

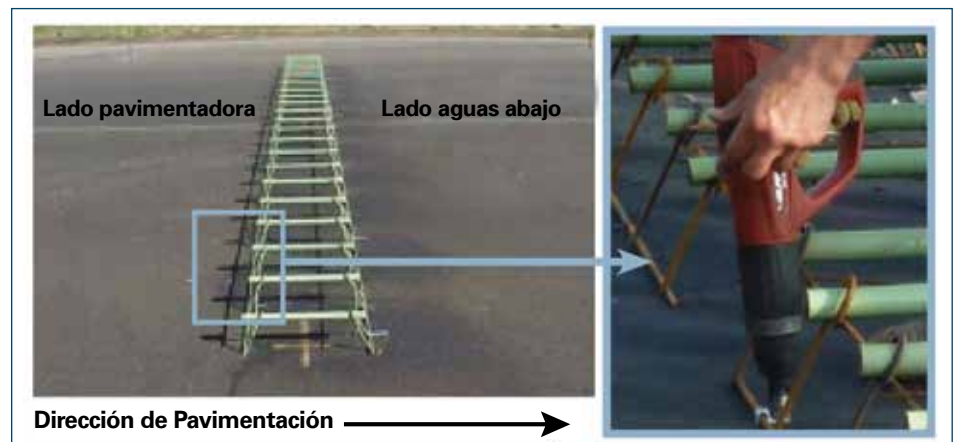


Figura 114. Los clavos de anclaje de los canastos para barras de traspaso de cargas deben colocarse en el lado aguas abajo del canasto en relación a la dirección de pavimentación



Figura 115. Verificación manual de la posición de las barras de traspaso de cargas

Curado de las Capas de Refuerzo con Hormigón

El curado es crítico (aún cuando a menudo es menospreciado) para todos los pavimentos de hormigón y requiere de una atención especial en los refuerzos de espesores menores que 200 mm (8 in). La razón entre área superficial y volumen, es mayor para refuerzos más delgados que lo usual en pavimentos de hormigón, por lo tanto, para una misma tasa de evaporación, se producen más efectos negativos en refuerzos delgados, si no se curan adecuadamente. La excesiva retracción por secamiento causada por un curado tardío y/o inadecuado, puede generar una reducción de la fuerza de adherencia debido a alabeos por humedad dentro del refuerzo de hormigón. Hay básicamente dos aspectos que considerar en relación al curado de refuerzos con hormigón:

1. Programación- El compuesto de curado debe aplicarse antes que ocurra cualquier evaporación superficial.
2. Materiales- Se debe utilizar un buen compuesto de curado; algunos DOT de los estados han tenido éxito con compuestos de curado de alfa-metil-estireno, pero con un costo adicional (ver la página 80 para más información).

Como seguridad para emergencias causadas por algún retraso de la operación de curado, debe encontrarse a mano y disponible, un retardador de evaporación. Los retardadores de evaporación no deben utilizarse como ayuda para las terminaciones; sólo deben aplicarse cuando sea necesario, después de acabadas todas las operaciones de terminación. La tasa de recubrimiento típica para refuerzos delgados (menos de 180 mm (7 in.)) es de 2,5 litro por metro cuadrado (100 pies cuadrados por galón), aplicada en dos manos. Esta mayor tasa de cobertura del compuesto de curado puede dificultar el aserrado en pendientes fuertes, especialmente cuando se utilizan sierras livianas para ingreso temprano, pues tienden a deslizarse sobre la membrana de curado. Cuando esto ocurre, se puede aplicar la segunda mano del compuesto de curado después de ejecutado el aserrado inicial.

Los diferenciales de temperatura y humedad entre las caras de las losas, pueden generar tensiones de alabeo a tempranas edades. Cuando a estas tensiones se suman, bajo ciertas condiciones, las tensiones provocadas por las cargas a tempranas edades, se pueden producir grietas. Esto puede mitigarse con el curado y con técnicas de aserrado apropiadas. Grandes variaciones en la temperatura ambiente y la humedad relativa al momento de la colocación del refuerzo contribuyen a estas tensiones. Cuando sea factible, la colocación del refuerzo debe programarse para evitar estas condiciones.

Aserrado de las Juntas

Debe prestarse particular atención al número de sierras necesarias para cortar las juntas antes que ocurra el agrietamiento. La mayoría de los proyectos de refuerzo requieren tanto un aserrado temprano como de más sierras. El ritmo de colocación del refuerzo puede fácilmente verse limitado por el número de sierras disponibles; es necesaria una programación adecuada para asegurarse que la producción no sea adversamente impactada por la capacidad efectiva de aserrado de las juntas antes que el agrietamiento ocurra. Existen numerosos factores que contribuyen a la necesidad de un aserrado temprano y a un número creciente de sierras:

- La existencia de capas subyacentes más rígidas aumentan las tensiones internas a tempranas edades del hormigón.
- La relación entre metros (pies) lineales de juntas y metros cuadrados (yardas cuadradas) de pavimento es normalmente más alta en refuerzos con hormigón; los refuerzos más delgados pueden tener significativamente más (tres a cuatro veces) metros (pies) lineales de juntas por metro cuadrado (yardas cuadradas) de pavimento que un pavimento de hormigón convencional.
- La producción (metros cuadrado por hora o yardas cuadradas por hora) de la pavimentación es mayor para refuerzos con hormigón más delgados.
- Los refuerzos delgados tienen una más alta relación entre área superficial y volumen. Esto puede llevar a un rápido aumento de la resistencia debido a la radiación solar y también que la losa sea más sensible a bajas de la temperatura ambiental, lo que aumenta el riesgo de agrietamiento aleatorio, a menos que la operación de aserrado de las juntas se haga a tiempo.

Construcción Acelerada

El mejoramiento de una carretera no sólo tiene costos directos de construcción; también tiene costos indirectos relacionados con los tiempos de los usuarios. Los atrasos en la construcción y cierres de carreteras, generalmente no son bien recibidos por los usuarios. Uno de los beneficios significativos de la construcción acelerada de refuerzos con hormigón, es disminuir el tiempo total de construcción, el que a su vez reduce los costos de los usuarios y aumenta la seguridad de los conductores. Además, los refuerzos con hormigón dan confianza de que del mejoramiento resultará un pavimento de larga vida.

Uno de los objetivos importantes durante la construcción acelerada de refuerzos es mantener exitosamente el manejo del tránsito durante todo

el tiempo que dure el proyecto. Para facilitar la construcción en el menor tiempo posible, la idea de hacerlo con rapidez debe comenzar desde la etapa de diseño, con un análisis de alternativas esquemáticas para mantener el tránsito, una planificación detallada y definición de los detalles. Los planos y especificaciones deben entregar al contratista criterios claros de cómo mantener los requerimientos del tránsito (ej., dos pistas abiertas en cada dirección en todo momento, las colas detrás del auto piloto no deben exceder 10 minutos, etc.). Entregados los requisitos para mantener el tránsito, debe darse al contratista la responsabilidad de programar y ejecutar el proyecto de manera de cumplir los objetivos de una construcción acelerada, manteniendo el tránsito.

La construcción acelerada a menudo utiliza materiales y procedimientos convencionales para pavimentar con hormigón, pero algunos cambios claves pueden hacer significativamente más expeditos los proyectos; ver el Apéndice I. Estos cambios incluyen aumentar la flexibilidad hacia el contratista. A menudo se incluyen incentivos al contrato, modificaciones al equipo pavimentador para minimizar los espacios laterales necesarios para operarlo, modificar la dosificación de los materiales, usar métodos de curado acelerado, definir hitos de construcción, introducir modificaciones en la construcción de las juntas del pavimento y revisar los criterios para la apertura al tránsito.

Al establecer el tipo de rehabilitación por implementar, deben evaluarse los costos de los usuarios de la carretera. Antes de decidir si se va a implementar una construcción acelerada, es importante establecer que beneficios se obtienen; pueden ser por reducción en los costos de los usuarios y por menos demoras. La implementación de técnicas para una construcción acelerada de refuerzos de hormigón, se debe basar en las necesidades del proyecto y de los usuarios. Las técnicas pueden utilizarse en las partes críticas del proyecto (tales como las intersecciones y cambios de calzada), el tramo final o para todo el proyecto.

Normalmente, las mezclas estándar, utilizadas conjuntamente con técnicas de construcción acelerada, son suficientes para cumplir con los requerimientos de un proyecto con puesta en servicio acelerada. En algunas áreas críticas, se utilizan para refuerzos con hormigón, mezclas de hormigón con aceleradores del fraguado. En el Apéndice I se describe una variedad de detalles para planificar, diseñar y construir en forma acelerada refuerzos con hormigón. No todas las partidas del listado se requieren para cada proyecto de refuerzo con construcción acelerada. Sin embargo, los siguientes aspectos deben considerarse en la mayoría de los proyectos:

- Programar hitos y mantener el tránsito.
- Relaciones públicas-coordinar con el comercio y residentes aledaños para optimizar los accesos y la constructabilidad.
- Implementar el uso de incentivos y desincentivos relacionados con el tiempo, de

manera de alentar la coincidencia entre lo programado y la terminación a tiempo.

- Mezclas de hormigón-usar mezclas con aceleradores de fraguado sólo donde sea crítico.
- Curado acelerado, utilizando mantas aislantes.
- Utilizar los métodos de madurez para definir la entrega temprana al tránsito.

Apertura de la Capa de Refuerzo al Tránsito

Existen instrucciones fácilmente accesibles sobre los requisitos de resistencia del hormigón para entregarlo al tránsito. Por ejemplo, el *Flexural Strength Criteria for Opening Concrete Roadways to Traffic*, publicado por el Transportation Research Board (Cole y Okamoto 1995), basa la apertura al tránsito en la resistencia a la flexotracción, en el espesor, *valor de k* y una estimación de los ejes equivalentes, en tanto que el método de FHWA y ACPA, *Traffic Management Handbook* (2000) se basa en el espesor, la capacidad soporte de la fundación y el número de ejes equivalentes entre el momento de apertura al tránsito y el tiempo que demora el hormigón en alcanzar la resistencia. Hay otros métodos disponibles (FHWA 1994) y depende del tipo de tránsito, lugares de la losa que se cargarán tempranamente, espesor del pavimento y capacidad soporte de la subbase.

Minimizar el Daño por Fatigas de Cargas Tempranas

La vida del hormigón es función del consumo de fatigas que experimenta, por lo que es sensible a las cargas que le transmiten las ruedas a tempranas edades. Una forma de abordar el consumo de fatiga (Okamoto et al. 1994) teoriza que los pavimentos de hormigón tienen una vida finita y que sólo pueden soportar un número máximo, N, de repeticiones de cargas de un determinado tránsito antes de su ruptura. Cada aplicación de una carga individual del tránsito disminuye la vida del pavimento en una cantidad proporcional a la magnitud de esa carga. El nivel de deterioro define el porcentaje de vida consumida por las repeticiones de la carga que ha experimentado el pavimento. Es importante evitar que cargas pesadas, circulando a tempranas edades, provoquen una disminución de la vida debido al fatigamiento que provocan mientras el hormigón aún no ha alcanzado 20 MPa (3.000 psi) de resistencia. Se pueden emplear ciertas técnicas para controlar las cargas a tempranas edades, lo que permite reducir el fatigamiento hasta que la resistencia del hormigón pueda soportar las cargas del tránsito.

Una de las técnicas más importantes es

FAQ - ¿Cuándo puedo abrir al tránsito una capa de refuerzo adherida de manera que las cargas no comprometan la adherencia?

La respuesta tiene relación con la resistencia mínima del hormigón y no con un momento arbitrariamente elegido desde la colocación. La resistencia del hormigón para la apertura (compresión o flexotracción) se relaciona directamente con la capacidad del hormigón para soportar cargas y proporciona una indicación de la fuerza de adherencia.

restringir la circulación de ruedas a menos de 0,9 – 1,2 m (3 – 4 ft) del borde del pavimento (e idealmente 1,8 m (6 ft)) para minimizar esfuerzos. Investigaciones han demostrado que permitiendo que a edades tempranas las cargas solamente circulen por el interior de las losas, se reduce en gran medida el fatigamiento (FHWA 1994). Una manera efectiva para restringir el tránsito de construcción cerca del borde del pavimento, es colocar conos hasta que el pavimento alcance la resistencia deseada para entrega al tránsito. Además de restringir el tránsito a edades tempranas cerca del borde del pavimento, también las subrasante con módulos de reacción k, altos, ayudan a minimizar las tensiones a edades tempranas. En refuerzos con hormigón no adherido, esto es particularmente positivo, puesto que el pavimento subyacente proporciona un soporte de alto nivel.

Relaciones entre Resistencias

El módulo de ruptura o resistencia a la flexotracción, es un importante parámetro para estimar la vida por fatigamiento. Muchos estados utilizan la resistencia a la flexotracción (módulo de ruptura) como criterio para entregar al tránsito, en tanto que los otros utilizan la resistencia a la compresión. La siguiente ecuación se utiliza algunas veces para convertir resistencia a la compresión a resistencia a la flexotracción con el ensayo en el tercio central, aun cuando es mayoritariamente reconocido que esta relación depende de las propiedades de la mezcla:

$$MR = (0,1919 f'c)^{0,667} \text{ (MPa)}$$

$$MR = (2,3 f'c)^{0,667} \text{ (psi)}$$

En que:

MR = resistencia a la flexotracción (módulo de ruptura), MPa (psi)

f'c = resistencia a la compresión del hormigón, MPa (psi)

Nota: Esta ecuación empírica se desarrolló utilizando información de cuatro estudios diferentes, realizados entre 1928 y 1965 (Raphael 1984). También la ecuación figura en informes del Comité 330 de la ACI (2008).

Puesto que la resistencia a edades tempranas puede cambiar rápidamente en poco tiempo y como algunas agencias utilizan una variante de la ecuación incluida más arriba, se recomienda que cada agencia desarrolle su propia relación entre

la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexotracción (módulo de ruptura) para la mezcla que se pretende utilizar. Como se señaló antes, para determinar la resistencia de apertura se pueden utilizar ensayos no destructivos como la madurez, que proporciona resultados en tiempo real.

Criterios de Resistencia para la Apertura al Tránsito de las Capas de Refuerzo Adheridas

Los criterios de resistencia para sistemas de refuerzos adheridos dependen si el refuerzo se apoya en hormigón o asfalto.

Adheridas al Hormigón

Si en la construcción de la capa de refuerzo adherida se emplean tratamientos de la superficie y métodos de curado y aserrado de juntas apropiados, la adherencia al momento de la apertura debería ser adecuada siempre que, como mínimo, la resistencia a la flexotracción sea 3,7 MPa (540 psi) o la resistencia a la compresión sea 24,8 MPa (3.600 psi). Como regla general, para refuerzos con hormigón adherido, la resistencia de la adherencia por tracción puede ser del orden del 2 al 10 por ciento de la resistencia a la compresión y la resistencia de la adherencia a esfuerzos de corte aproximadamente de 4 al 20 por ciento de la resistencia a la compresión.

Adheridas al Asfalto

Las capas de refuerzo con hormigón adherido al asfalto tienen una ventaja que los distingue de los refuerzos sobre hormigón. Debido a que las juntas no deben hacerse coincidir con las del pavimento subyacente, las losas de hormigón pueden cortarse en pequeños cuadrados o rectángulos de manera de reducir las tensiones por alabeos, así como la expansión y contracción del hormigón en la interface de adherencia. Esto da por resultado una reducción del esfuerzo de corte en la interface de adherencia. Esta técnica ha sido utilizada con éxito por muchos años. Sin embargo, los refuerzos sobre asfalto son normalmente delgados y por lo tanto, susceptibles a grandes tensiones relacionadas con la temperatura, especialmente cuando el asfalto se encuentra caliente por el sol. Cuando se utilizan procedimientos acelerados, deben extremarse las precauciones para minimizar el agrietamiento por retracción, aplicando un

curado diligente y completo (a veces puede ser necesario doblar la tasa ordinaria de aplicación del compuesto de curado o en tramos cortos, realizar curado húmedo y/o colocar mantas). Algunos estados han incorporado fibras para aumentar la resistencia del hormigón, así como mejorar su resistencia al agrietamiento.

Tratar de determinar un valor razonable para la resistencia de adherencia para la apertura en este tipo de refuerzos puede resultar difícil, como se señaló más arriba. Típicamente, han probado ser adecuadas para la apertura, resistencias del hormigón entre 2,9 MPa (420 psi) a la flexotracción y 17,2 MPa (2.500 psi) a la compresión hasta 3,3 MPa (480 psi) a la flexotracción y 20,7 MPa (3.000 psi) a la compresión. Una consideración adicional en casos de construcción acelerada, es mejorar la adherencia fresando la superficie del pavimento asfáltico existente. De ocurrir fallas por esfuerzos de corte, probablemente se darán en el asfalto,

puesto que la resistencia al esfuerzo de corte del hormigón es mayor que la resistencia al esfuerzo de corte del asfalto.

Criterios de Resistencia para Abrir al Tránsito Capas de Refuerzo No Adheridas

Debido a que un refuerzo con hormigón no adherido esencialmente es un pavimento de hormigón sobre una sub base de alta calidad, resulta apropiado y aunque algo conservador, adoptar los criterios de apertura que comúnmente se utilizan para la pavimentación convencional. Por ejemplo, para tránsito no interestatal, se puede adoptar una resistencia a

la flexotracción (3 puntos) de aproximadamente 2,3 MPa (340 psi) o 12,4 MPa (1.800 psi) de resistencia a la compresión. El estado de Georgia, por ejemplo, utiliza como criterio una resistencia a la compresión de 9,7 MPa (1.400 psi), previendo que la mezcla alcanzará 17,2 MPa (2.500 psi) a las 24 horas y 24,1 MPa (3.500 psi) a los tres días.



Figura 116. Remoción de losas de refuerzo (fuente: Randell Riley, Illinois Chapter, ACPA)



Figura 117. Terminación y curado de la Reparación de una capa de refuerzo de hormigón (fuente: Dan De Graaf, Michigan Concrete Paving Association)



Figura 118. Típica operación de fresado de un pavimento de hormigón (fuente: Randell Riley, Illinois Chapter, ACPA)



Figura 119. Típica operación de fresado de un pavimento de hormigón (fuente: Dan De Graaf, Michigan Concrete Paving Association)

Reparaciones de Capas de Refuerzo con Hormigón

Se puede esperar que los refuerzos con hormigón presenten un excelente comportamiento y una larga vida. Su comportamiento está directamente relacionado con la uniformidad y calidad de la base que es el pavimento existente. Puede que ni durante la evaluación del pavimento existente, ni el diseño del refuerzo o en las fases de construcción, se detecten algunos puntos débiles aislados o zonas más débiles, por lo que como todo sistema de pavimento, pudieran requerirse algunas reparaciones durante la vida de servicio. Si una losa, adherida o no adherida, se deteriora, la reparación del refuerzo es relativamente sencilla y en muchos casos, más fáciles de ejecutar que la reparación de pavimentos convencionales.

Reparaciones de Capas de Refuerzo con Hormigón Adheridas o Delgadas No Adheridas

En consideración a que los refuerzos tanto adheridos como no adheridos delgados, poseen losas pequeñas y relativamente delgadas, se prefiere reemplazar las losas en todo el espesor, antes que realizar reparaciones de espesor parcial. Aserrando en todo el espesor el perímetro de la losa, ella pueden removerse fácilmente mediante rompe pavimentos o una retro-excavadora; ver la Figura 116.

Una vez removido el refuerzo, debe examinarse la base existente. Si se determina que el antiguo pavimento se encuentra en condición deficiente, debe removerse y reemplazarse por hormigón; el pavimento de reemplazo puede vaciarse como una capa separada o monolíticamente con el refuerzo. No debe utilizarse asfalto como material para parchar debido a que el hormigón no se adhiere bien al asfalto nuevo. El reemplazo de losa(s) del refuerzo, se puede realizar fácilmente utilizando los típicos procedimientos y materiales para refuerzos; ver la Figura 117.

Al final de su vida útil, los refuerzos delgados de hormigón pueden fresarse y reemplazarse fácilmente; ver las Figuras 118 y 119. La remoción por fresado (también llamada fresado al carburo, alisamiento en frío o roto fresado) es una buena opción para refuerzos de hormigón, pues ellos dependen de la base que es el antiguo pavimento para la transferencia de cargas y por lo tanto, normalmente no requieren una armadura de refuerzo.

Generalmente, la buena productividad de la operación de fresado depende de la dureza del agregado y de la profundidad por remover. Por ejemplo, se ha informado que la remoción de un refuerzo de hormigón en 50 mm (2 in.) de profundidad puede alcanzar tanto como 720 m²/h (8.000 ft²/h) y para 100 mm (4 in.) de profundidad tan bajo como 243 m²/h (2.700 ft²/h).

El método de remoción es similar al que se utiliza para capas asfálticas, especialmente cuando el refuerzo no tiene barras de amarre.

El fresado se puede realizar en seco o húmedo. La profundidad de fresado puede biselarse hacia el pavimento adyacente. El fresado puede completarse en tramos específicos seleccionados. La rugosidad de la superficie después de fresada y la fineza del fresado pueden variar dependiendo del tipo y espaciamiento de los dientes del tambor; ver la Figura 120.

Reparación en Todo el Espesor de Capas de Refuerzo con Hormigón No Adherido

Normalmente, como los refuerzos no adheridos de todo el espesor se construyen colocando canastos para las barras de traspaso de las cargas y con amarras entre pistas, se utilizan las técnicas comunes para la reparación de pavimentos de hormigón. Ellas incluyen, reparaciones en todo el espesor o de espesor parcial, cepillado de la superficie y resellado de juntas. En refuerzos de mayor espesor (200 mm (8 in.)) para tránsito pesado, también se aplica la restauración de la transferencia de cargas, de manera de restituirla y mitigar problemas en las juntas.

Cuando se utiliza una capa separadora de espesor uniforme, seguramente el espesor del refuerzo será variable, especialmente en las transiciones de peraltes; las reparaciones por realizar en estas áreas puede requerir aserrados de mayor profundidad.

En los refuerzos de espesor completo, se utilizan las técnicas de remoción estándar. Se han removido con éxito por fresado, refuerzos de hormigón de 200 a 250 mm (8 a 9 in.) de espesor.



Figura 120. Material de fresado típico de un pavimento de hormigón proveniente de una operación de fresado (fuente: Dan DeGraaf, Michigan Concrete Paving Association)

APÉNDICE A

TABLAS PARA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN

Las Tablas 22 y 23 son herramientas para evaluar las condiciones que presentan pavimentos de hormigón, asfalto y compuestos, respectivamente.

Tabla 22. Tipos de deterioro y niveles de severidad recomendados para evaluar la idoneidad estructural de un pavimento de hormigón

Deterioro Relacionado con las Cargas	Clasificación de la Carretera	Nivel de Deterioro Actual		
		Adecuado	Aceptable	Inadecuado
Hormigón con juntas, sin armadura: deterioro de juntas transversales y longitudinales de severidad media y alta y grietas de esquina, % losas	Interestatal / Autopista	< 5	5 a 10	> 10
	Primaria	< 8	8 a 15	> 15
	Secundaria	< 10	10 a 20	> 20
Hormigón armado, con juntas: deterioro de grietas transversales de severidad media y alta y grietas de esquina, N° por km-pista (milla-pista)	Interestatal / Autopista	< 10 (15)	10 a 25 (15 a 40)	> 25 (40)
	Primaria	< 13 (20)	13 a 31 (20 a 50)	> 31 (50)
	Secundaria	< 16 (25)	16 a 38 (25 a 60)	> 38 (60)
Hormigón con juntas, sin armadura: escalonamiento medio de juntas/grietas transversales, mm (in.)	Interestatal / Autopista	< 3 mm (0,10 in.)	3 a 4 mm (0,10 a 0,15 in.)	> 4 mm (0,15 in.)
	Primaria	< 3 mm (0,125 in.)	3 a 5 mm (0,13 a 0,20 in.)	> 5 mm (0,2 in.)
	Secundaria	< 4 mm (0,15 in.)	4 a 8 mm (0,15 a 0,30 in.)	> 8 mm (0,30 in.)
Hormigón con armadura: escalonamiento medio de juntas/grietas transversales, mm (in.)	Interestatal / Autopista	< 4 mm (0,15 in.)	4 a 8 mm (0,15 a 0,30 in.)	> 8 mm (0,30 in.)
	Primaria	< 5 mm (0,175 in.)	5 a 9 mm (0,18 a 0,35 in.)	> 9 mm (0,35 in.)
	Secundaria	< 5 mm (0,20 in.)	5 a 10 mm (0,20 a 0,40 in.)	> 10 mm (0,40 in.)
Hormigón continuamente reforzado: reventones de severidad media y alta, N° por km-pista (milla-pista)	Interestatal / Autopista	< 3 (5)	3 a 6 (5 a 10)	> 6 (10)
	Primaria	< 5 (8)	5 a 10 (8 a 15)	> 10 (15)
	Secundaria	< 6 (10)	6 a 12 (10 a 20)	> 13 (20)
Aplicabilidad de Capas Refuerzo con Hormigón Adherido				
Aplicabilidad de Capas Refuerzo con Hormigón No Adherido				

Tabla 23. Tipos de deterioro y niveles de severidad recomendados para evaluar la idoneidad estructural de pavimentos asfálticos y combinados

Deterioro Relacionado con las Cargas	Clasificación de la Carretera	Nivel de Deterioro Actual		
		Adecuado	Aceptable	Inadecuado
Grietas de fatiga, % del área de la huella	Interestatal / Autopista	< 5	5 a 20	> 20
	Primaria	< 10	10 a 45	> 45
	Secundaria	< 10	10 a 45	> 45
Grietas longitudinales en el área de la huella, m/km (ft/mi)	Interestatal / Autopista	< 50 m/km (265 ft/mi)	50 a 200 m/km (265 a 1.060 ft/mi)	> 200 m/km (1.060 ft/mi)
	Primaria	< 100 m/km (530 ft/mi)	100 a 500 m/km (530 a 2.650 ft/mi)	> 500 m/km (2.650 ft/mi)
	Secundaria	< 100 m/km (530 ft/mi)	100 a 500 m/km (530 a 2.650 ft/mi)	> 500 m/km (2.650 ft/mi)
Grietas reflejadas en pavimento compuesto, mm (in.)	Interestatal / Autopista	< 13 mm (0,50 in.)	6 a 13 mm (0,25 a 0,50 in.)	> 13 mm (0,5 in.)
	Primaria	< 13 mm (0,50 in.)	13 a 19 mm (0,50 a 0,75 in.)	> 19 mm (0,75 in.)
	Secundaria	< 13 mm (0,50 in.)	13 a 19 mm (0,50 a 0,75 in.)	> 19 mm (0,75 in.)
Distanciamiento de las grietas transversales, m (ft)	Interestatal / Autopista	> 61 m (200 ft)	30 a 61 m (100 a 200 ft)	< 30 m (100 ft)
	Primaria	> 37 m (120 ft)	18 a 37 m (60 a 120 ft)	< 18 m (60 ft)
	Secundaria	> 37 m (120 ft)	18 a 37 m (60 a 120 ft)	< 18 m (60 ft)
Ahuellamiento promedio de ambas huellas, mm (in.)	Interestatal / Autopista	< 6 mm (0,25 in.)	6 a 10 mm (0,25 a 0,40 in.)	> 10 mm (0,40 in.)
	Primaria	< 9 mm (0,35 in.)	9 a 15 mm (0,35 a 0,60 in.)	> 15 mm (0,60 in.)
	Secundaria	< 10 mm (0,40 in.)	10 a 20 mm (0,40 a 0,80 in.)	> 20 mm (0,80 in.)
Ondulaciones, % en la huella	Interestatal / Autopista	Nada	1 a 10	> 10
	Primaria	< 10	10 a 20	> 20
	Secundaria	< 20	20 a 45	> 45
Aplicabilidad de Capas Refuerzo con Hormigón Adherido				
Aplicabilidad de Capas Refuerzo con Hormigón No Adherido				

Los costos de instalación son del orden US \$ 0,63 por m² (US \$ 0,50 por yd²) (alrededor de 2008)

APÉNDICE B

ALTERNATIVAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL HORMIGÓN

Cuando el asfalto o el hormigón de un pavimento compuesto o un hormigón sin armadura existentes, presentan deficiencias importantes que no pueden resolverse con técnicas de preservación (por ej., capas de refuerzos con hormigón), el pavimento puede ser reciclado in situ y servir como una base granular. Los siguientes dos métodos son aceptables:

1. Utilizar los agregados del hormigón reciclado como material de base (opción preferencial).
2. Desintegrar el pavimento de hormigón (sólo bajo ciertas condiciones si existe deterioro relacionado con los materiales (reacción alcalí-sílice o deterioro por durabilidad) o el pavimento de hormigón tiene deterioro debido a una base de graduación abierta no estabilizada).

Proceso de Reciclado in Situ del Hormigón para Material de Base

El reciclado de un pavimento de hormigón para utilizar los agregados como material de base, es una alternativa viable para la construcción de bases no estabilizadas. Para utilizarla con éxito, el hormigón reciclado debe ser visto, tonelada a tonelada, como una fuente de agregados de características y valor equivalentes a los agregados que está reemplazando; ver la Figura 121. La calidad del hormigón reciclado para base depende de la cantidad de mortero que permanece adherido al antiguo agregado. Si el procedimiento hace que poco mortero permanezca adherido y

no se utilizan finos menores que el tamiz de 5 mm (malla N° 4), las propiedades del reciclado para base serán similares a las del agregado original. Como regla general, en comparación con un agregado nuevo convencional, se considera al hormigón reciclado para base como un material de alta calidad para aplicaciones no estabilizadas tales como bases. El material reciclado tiene una textura superficial más rugosa, presenta mayor resistencia a los esfuerzos de corte, mayor resistencia al ahuellamiento y un módulo resiliente más alto (Van Dam y et al. 2012). Estas condiciones excepcionales permiten el uso irrestricto del hormigón reciclado como material de base, pudiendo substituir hasta el 100% de agregado nuevo.

Es de aceptación general que una vez compactada una base de hormigón reciclado aumenta su resistencia y rigidez. Una mala interpretación de este fenómeno es suponer que ello se debe a la hidratación de elementos no hidratados del hormigón contenidos en la parte del reciclado que corresponde a la pasta. En realidad, el aumento de rigidez se debe a la carbonatación del hidróxido de calcio (HC), substancia muy soluble que se desprende del hormigón reciclado en presencia de la humedad existente en forma permanente bajo la base.

Cuando se utiliza hormigón reciclado para una base drenante, deben considerarse ciertas limitaciones de diseño. La fracción de mortero del hormigón reciclado contiene hidróxido de calcio como subproducto de la hidratación del hormigón, el que en presencia de agua, se transforma en una solución. Esta solución puede reaccionar con el dióxido de carbono de la atmósfera formando un material sólido

denominado toba (lixiviación), que en presencia de finos, puede reducir la capacidad drenante, si el sistema de drenaje para el hormigón reciclado no ha sido diseñado adecuadamente. Las condicionantes que conducen a esa situación pueden fácilmente evitarse en bases drenantes (Wade et al. 1995). Un diseño apropiado debe considerar que todo el material de hormigón reciclado se coloque sobre el nivel de la napa freática, bajo el nivel de las descargas del sistema de drenaje y si se utilizan geotextiles, el flujo debe ser paralelo al geotextil y no a través de él. Un diseño inapropiado da por resultado, debido a los finos, a la formación de toba e hidróxido de calcio, que obstruye las tuberías y otros elementos del sistema de drenaje.

Los efluentes de bases drenantes que contienen hormigón reciclado, pueden tener debido a la lixiviación del hidróxido de calcio, pH mayores que 7,0. No se ha detectado que esto constituya un problema para el ecosistema. Aun cuando los efluentes de una base de hormigón reciclado puedan tener un pH alto, especialmente después del primer ciclo de lavado del agua, no tienen capacidad amortiguadora y equivale a agregar cal para estabilizar el efecto de una lluvia ácida en un césped. Cuando el agua está estancada, la lixiviación puede llevar a un pH tan alto como 12,4; sin embargo, se disipará rápidamente en la medida que la lixiviación encuentre materia orgánica, común en los suelos (Van Dam et al. 2012).

Los pavimentos con deterioros relacionados con los materiales, tales como reacción alcalí-sílice, deterioro por durabilidad o deterioro por ciclos hielo-deshielo, se han utilizado efectivamente como material de



Figura 121. Agregado de hormigón reciclado (fuente: Jonathan Gene Pitre, University of New Hampshire)



Figura 122. Pavimento de hormigón desintegrado (fuente: Todd Hanson, Iowa DOT)

base no estabilizada. Sin embargo, antes de utilizarlos se recomienda realizar ensayos para determinar la severidad de la reacción álcali-sílice de acuerdo con el informe de la FHWA, Report on the *Diagnosis, Prognosis and Mitigation of Alkali-Silica Reaction (ASR) in Transportation Structures* (FHWA 2010).

Desintegración del Pavimento de Hormigón

La desintegración es una técnica desarrollado para minimizar la reflexión de grietas en mezclas asfálticas en caliente. El objetivo de esta técnica es reducir el pavimento de hormigón existente a pequeños trozos para evitar la reflexión de grietas en las mezclas de asfalto en caliente; ver la Figura 122.

La desintegración destruye en forma efectiva la estructura del pavimento y reduce la capacidad soporte para el refuerzo a un mínimo común denominador. Resulta en una pérdida de la capacidad estructural del pavimento existente y en consecuencia, requiere de un refuerzo de mayor espesor y mayor costo.

La desintegración puede servir como base para una capa de refuerzo con hormigón no adherido, cuando las losas del pavimento existente contienen materiales que las llevan a un deterioro acelerado, tales como las reacciones álcali-sílice, el deterioro por durabilidad o el deterioro por ciclos hielo-deshielo. Estos materiales llevan el pavimento a deteriorarse y a perder su integridad estructural. Sin embargo, antes de proceder a desintegrar estos pavimentos, deben realizarse ensayos de acuerdo con los criterios de la FHWA incluidos en la referencia.

Para que un pavimento desintegrado pueda considerarse como base para una capa de refuerzo no adherido, es necesario que la falla del pavimento se deba a su base de granulometría abierta no estabilizada. En muchos de esos pavimentos se presenta migración de suelos desde la subrasante hacia la base de granulometría abierta, creando huecos y diferencias en la capacidad de soporte. Los asentamientos diferenciales de la capa de granulometría abierta

se traducen en malas condiciones de soporte y finalmente, en agrietamientos transversales en el centro de las losas, grietas de esquinas y escalonamientos significativos.

Para tener éxito en la técnica de desintegración de pavimentos, se recomienda ajustarse a ciertas condicionantes, como asimismo, tener en consideración varias precauciones:

- Primero y ante todo, una desintegración completa y uniforme sólo puede lograrse cuando el pavimento existente se asienta en una subrasante estable. No debe permitirse que la operación de desintegración destruya la integridad del soporte de las capas bajo el pavimento. Cuando la base es débil, bajo ciertas condiciones, el proceso de desintegración puede empujar los trozos de hormigón dentro de la subrasante, forzando el ascenso de agua y reduciendo la estabilidad de la subrasante. Con subrasantes débiles resulta una desintegración incompleta y no uniforme. La existencia de humedad/agua bajo el pavimento existente puede crear condiciones que impidan que las partículas del hormigón desintegrado se asienten y se entrelacen. Normalmente, antes de proceder a fragmentar un pavimento, se desconoce su aptitud para soportar la desintegración, manteniendo su drenabilidad y capacidad soporte.
- Antes de iniciar el proceso de desintegración, deben removerse cualquier capa asfáltica en caliente, así como el relleno de las juntas.
- El subdrenaje debe instalarse antes de desintegrar el pavimento.
- Debe tenerse cuidado para no dañar servicios de utilidad pública o subdrenes poco profundos.
- La desintegración debe quebrar el hormigón existente en todo el espesor del pavimento. Debe establecerse un protocolo de ensayos para determinar la calidad e integridad de la operación de desintegración, así como la granulometría resultante.

- El acero de refuerzo existente en el pavimento debe desprenderse del hormigón. Parte del acero puede aparecer en la superficie durante la operación de desintegración, por lo que deben tomarse medidas para remover el acero expuesto.
- Se debe colocar una capa de agregados para rellenar los huecos y minimizar el riesgo de un potencial aumento de las cantidades de obra.

Agrietar y Asentar (No Recomendado)

El agrietado y asentamiento de las losas debe limitarse a lugares aislados tales como tramos con deformaciones. El procedimiento aplicado en grandes extensiones, genera soportes no uniformes, que puede causar problemas, tanto en capas de refuerzo con mezclas asfálticas en caliente como con hormigón.

El hormigón agrietado y asentado no es una buena subbase, ni para capas de hormigón, ni de asfalto, ello porque no es posible controlarle la granulometría, ni la densidad. Durante la operación de agrietado y asentamiento, deben cortarse las mallas de acero de las losas, así como las que amarran las grietas, pues pueden originar grietas reflejadas en el hormigón de la capa de refuerzo. Tanto la capa de agregados de relleno como el pavimento agrietado y asentado deben drenarse para evitar que quede agua atrapada. La capacidad soporte de la subrasante influye en el tamaño de los trozos que resultan. La presencia de agua en la subrasante provoca una pérdida de soporte, que permite que las losas se muevan con el consecuente deterioro del refuerzo. La calidad del material existente bajo la superficie, en las mismas áreas donde las losas del hormigón se encontraban en malas condiciones, sigue siendo una interrogante.

APÉNDICE C

REFUERZO CON FIBRAS

¿Por qué Utilizar Fibras?

Las capas de refuerzo con fibras puede incrementar la integridad estructural del hormigón para capas de refuerzo. Contienen fibras cortas que deben ser uniformemente distribuidas y aleatoriamente orientadas. Las más comunes son las fibras sintéticas y las de acero. Las fibras sintéticas han tenido un rol predominante en las últimas dos décadas en la medida que ha mejorado la tecnología. Otros tipos de fibras, tales como las de vidrio, celulosa y fibras naturales se utilizan ocasionalmente, pero son relativamente poco comunes y quedan fuera del alcance de este documento; ver la Figura 123.

La caracterización de las fibras con diferentes hormigones, normalmente se basa en los materiales, geometría, distribución y densidad de las fibras. Utilizadas en dosis suficientes con una distribución uniforme, las fibras ayudan a incrementar, en términos de ingeniería, la “dureza” y ductilidad del hormigón. La mejora de la dureza y ductilidad proporcionan al proyectista cierta flexibilidad, puesto que puede considerar una mayor distancia entre juntas y/o secciones más delgadas. Un buen conocimiento de las diferentes tecnologías de las fibras, permite al proyectista una mejor optimización del diseño a las condiciones específicas del proyecto.

Las fibras en cantidad adecuada, proporcionan como beneficio adicional un control de los movimientos diferenciales de las losas, puesto que conectan la grieta que se forman debajo del corte formado por el aserrado de las juntas. Ocasionalmente, algunas losas de las capas de

refuerzo con hormigón sin armadura, presentan movimientos diferenciales debido a la temperatura, alabeos o movimientos inducidos por las cargas en el pavimento subyacente. Esto puede provocar que las juntas se abran o desalineen; básicamente es un problema estético, pero que puede afectar el comportamiento cuando tanto los materiales, como las condiciones imperantes, exacerbaban el alabeo.

En casos extremos, las juntas pueden fallar en zonas de alto tránsito. Las fibras sintéticas se han utilizado con éxito por varios años para ayudar a controlar estos problemas, aun cuando por el momento no se ha establecido bien, en especial para fibras sintéticas, si el beneficio perdura a largo plazo (más de 15 años). Las fibras de acero que se han utilizado por más tiempo, también pueden ser muy efectivas, aun cuando tiene algunas desventajas frente a las sintéticas, siempre que la corrosión puede mantenerse bajo control o no se considere objetable que aparezca en la superficie.

Las fibras tienen la capacidad de mantener firmemente unidas las inevitables grietas que pueden ocurrir por una variedad de causas; las fibras hacen que las grietas sean más una molestia que un problema real. Las grietas firmemente cerradas, normalmente se comportan mejor que las típicas juntas aserradas. Desde que las fibras comenzaron a utilizarse en aplicaciones para carreteras, se ha observado un mejor comportamiento de las grietas. Con el hormigón en estado plástico, las fibras también ofrecen la ventaja de aumentar la resistencia al agrietamiento por “retracción plástica”. Este tipo de agrietamiento suele ocurrir en toda aplicación del hormigón, cuando el viento sopla sobre la superficie

pavimentada y la tasa de evaporación es mayor que la tasa de infiltración de agua que accede a la superficie del hormigón antes del fraguado.

Tipos de Fibras

El tipo de fibra por utilizar y la dosificación recomendada para una condición específica, está evolucionando en forma más o menos rápida. Aun cuando las fibras de acero tienen una larga historia en aplicaciones de pavimentos, agregarlas al hormigón utilizando la tecnología actual requiere de una cantidad significativa de mano de obra, lo que las encarece. Las fibras de acero requieren también mayores precauciones para evitar el “apelotonamiento”, debido a su tendencia a aglomerarse al ser expuestas al agua y el cemento. Este problema puede prevenirse cargando adecuadamente la betonera, lo que implica modificar las dosificaciones de los otros materiales que conforman la mezcla de hormigón. Las fibras de acero son considerablemente más pesadas que las sintéticas, de manera que si no se mezclan en forma apropiada, pueden sumirse hasta quedar cerca de la cara inferior de la capa de refuerzo.

Generalmente las fibras sintéticas se clasifican más bien como macro fibras que como micro fibras, que también son comunes en la industria. En términos generales, en los últimos años, las fibras sintéticas han sido comparadas favorablemente frente a las de acero, debido a la facilidad de manejo y mejores características para dispersarse. El volumen de fibras adicionado a una mezcla de hormigón se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla (hormigón más fibras), y se denomina fracción en volumen (f_v). La f_v típica varía entre 0,1 a 3,0 por ciento. La razón de aspecto (aspect ratio) (l/d) se calcula dividiendo la longitud de la fibra (l) por su diámetro (d). Para fibras que tienen una sección no circular, se utiliza el diámetro equivalente para calcular l/d .

Como las fibras de acero tienen una densidad mucho mayor que las sintéticas, en la mezcla de hormigón un determinado volumen pesa mucho más que las sintéticas. Sin embargo, puede requerirse un mayor volumen de una en comparación con la otra, para lograr un comportamiento similar del pavimento. Por ello, es importante conocer el tipo de fibra que se está utilizando, el volumen de fibra en la mezcla necesario para obtener las propiedades requeridas y el peso específico de la fibra. Esta información es esencial para quien produce el hormigón, ya que como habitualmente lo despacha por peso más que por volumen, pueda preparar un volumen que tenga el comportamiento requerido después de fraguar.



Figura 123. Fibras en la mezcla de hormigón (fuente: Randell Riley, Illinois Chapter, ACPA)

Las macro fibras sintéticas utilizadas en capas de refuerzo con hormigón, han tenido un buen comportamiento a partir de una dosificación mínima de $2,4 \text{ kg/m}^3$ (4 lb/yd^3). Para una mezcla de hormigón típica, esto es aproximadamente el 0,26 por ciento en volumen. A manera de comparación, el mismo volumen de fibras de acero pesaría alrededor $20,2 \text{ kg/m}^3$ (34 lb/yd^3), aun cuando las características del hormigón serían algo diferentes. Los fabricantes y proveedores de fibras pueden asistir en esta área, puesto que, como se mencionó antes, la tecnología está experimentando una rápida evolución. Varias tecnologías de fibras que se están introduciendo, combinan las fibras de acero con las sintéticas. También, se están desarrollando fibras sintéticas con módulos más altos que pueden hacer avanzar la tecnología en los próximos años. Una buena referencia, que incluye algunas dosificaciones mínimas recomendadas para tipos específicos de fibras, basadas en el conocimiento actual, se puede encontrar en www.dot.state.il.us/materials/syntheticfibers.pdf (IDOT-BMPR 2013).

Mezclas con Altos Volúmenes de Macro Fibras Sintéticas

Ciertos tipos de macro fibras sintéticas, colocadas en mayores cantidades que las mencionadas antes, pueden servir para reducir el espesor de la capa de refuerzo, mejorar el comportamiento de la resistencia después de agrietada y en algunos casos, con dosis altas, en la práctica permitir que el hormigón tenga una naturaleza flexible y se flexione algo bajo cargas. Para alcanzar un comportamiento óptimo, aún se necesita trabajar más con la información disponible de pavimentos delgados de hormigón reforzado con fibras y así definir mejor la cantidad o volumen óptimo de macro fibras por adicionar.

La dosificación de $2,4 \text{ kg/m}^3$ (4 lb/yd^3) mencionada antes, es suficiente para darle las características apropiadas para que el hormigón endurecido mejore su comportamiento después de agrietado e incrementar la capacidad estructural de toda la losa. Dosificaciones más altas pueden mejorar más este comportamiento, pero debe tenerse cuidado para evitar apelotonamientos de fibras en la mezcla. Para adaptarse al mayor contenido de fibras, deben realizarse algunos ajustes en la mezcla; entre otros: modificar la granulometría del agregado, cambiar el contenido de cemento y los tipos de aditivos y modificar la dosificación. Mezclas de hormigón con altos volúmenes ($3 \text{ a } 4,4 \text{ kg/m}^3$ ($5,0 \text{ a } 7,5 \text{ lb/yd}^3$)) de macro fibras sintéticas (típicamente de largos entre 38 y 57 mm (1,5 a 2,25 in.)) idealmente deben utilizarse con agregados bien graduados. Además, debido a la gran área superficial de la fibra en relación a su volumen, las mezclas pudieran requerir algo más de cemento ($12 \text{ a } 29,5 \text{ kg/m}^3$ ($20 \text{ a } 50 \text{ lb/yd}^3$)) y un poco más de agua,

de manera de mantener la razón agua/cemento; también podría ser necesario realizar ajustes en la cantidad de finos del agregado.

La Dra. Amanda Bordelon de la Universidad de Illinois, dirigió una investigación publicada como Flowable Fibrous Concrete for Thin Pavements Inlays (wearable surface) (hormigón fluido con fibras para incrustaciones delgadas de pavimentos, superficie de desgaste) (Bordelon 2011) sobre refuerzos con hormigones con altos contenidos de fibras como capa superficial de desgaste. Se dosificó una mezcla de hormigón fluido con fibras, de alta trabajabilidad, que rápidamente se colocó como un refuerzo con hormigón o incrustación, de 50 mm (2 in.) de espesor. Para prolongar la vida de este refuerzo tan delgado (o incrustación), debido a su mayor resistencia al agrietamiento y mejor capacidad de soporte residual, la mezcla tenía un alto contenido de macro-fibras (sobre el 0,5 por ciento, en volumen). Para mantener la trabajabilidad con el alto contenido de fibras, se debió aumentar el contenido de materiales cementicios que cubrieran las fibras.

Por ejemplo, se utilizaron como materiales cementicios, alrededor de 469 kg/m^3 (790 lb/yd^3) para lograr el doble de la resistencia a la ruptura con un contenido de fibras del 0,56 por ciento en volumen. Adicionalmente, se encontró que para mejorar la trabajabilidad y estabilidad contra la segregación de la mezcla, se requerían otras proporciones para los materiales:

- Menor tamaño máximo del agregado grueso; tan menor como 10 mm ($3/8 \text{ in.}$), de manera de poder colocarlo en un refuerzo o incrustación de 50 mm (2 in.) de espesor.
- Mayor porcentaje de arena.
- Utilizar micro-fibras.
- Utilizar un reductor de agua de amplio espectro.

En el año 2009 en Rantoul, Illinois se construyó una incrustación a escala natural de 100 m (325 ft) de largo con hormigón fluido con fibras, para

demostrar y observar los desafíos relacionados con la colocación del hormigón fluido con fibras y monitorear el comportamiento del agrietamiento y la adherencia de la incrustación en el hormigón endurecido. El relleno de hormigón fluido con fibras de 50 mm (2 in.) de espesor fue vaciado sobre un pavimento asfáltico fresado en buenas condiciones, encontrándose una buena adherencia entre las capas. La razón de resistencia residual de la mezcla fue entre 40 – 50 por ciento, lo que es al menos el doble de lo que recomienda el método de cálculo estándar de la BCOA (bond concrete overlays on asphalt). Se ensayaron losas de diferentes longitudes: de 1,2 m (4 ft), 1,7 m (5,5 ft) y 3,35 m (11 ft). La junta transversal más ancha tenía alrededor de 12,5 mm (0,5 in.) y las grietas de las juntas permanecieron cerradas con un ancho promedio de 0,4 mm (0,016 in.) para las losas de 1,2 m (4 ft).

Consideraciones Durante la Construcción Utilizando Fibras

La longitud de las fibras y los grandes volúmenes a menudo reducen la docilidad de la mezcla del hormigón entre 100 y 50 mm ($4 \text{ y } 2 \text{ in.}$). Permaneciendo el resto igual, ello no significa una reducción proporcional de la trabajabilidad. Para un trabajador ejecutando las terminaciones del pavimento o para el chofer del camión betonera, casualmente observando la descarga de la primera carga que llega a la faena, esto puede gatillar el instinto natural de agregar agua a la mezcla para facilitar la colocación. En la realidad, un hormigón correctamente diseñado y mezclado y con fibras adecuadas, se puede vaciar en forma similar al hormigón normal y responder especialmente bien a la vibración mecánica; de ser necesario, normalmente se utiliza una dosis moderada de



Figura 124. Adición de fibras en la planta (izquierda) y con bolsas vaciadas dentro de un camión betonera (derecha) (fuente: Randell Riley, Illinois Chapter, ACPA)

policarboxilato u otro reductor de agua para compensar cualquier pérdida de trabajabilidad, especialmente con dosificaciones de fibras de 3 kg/m³ (5 lb/yd³) o más. Debe contactarse al proveedor del aditivo para más recomendaciones. Cuando se utilizan fibras, hay otros aspectos que merecen tenerse presente durante la construcción; estos aspectos se ven exacerbados en la medida que la dosificación de fibras aumenta:

- Las fibras pueden agregarse en la planta o dentro del camión betonera; ver la Figura 124.
- Al incluir fibras puede ser necesario atrasar ligeramente el aserrado de las juntas debido a la tendencia de las fibras de aumentar la susceptibilidad de las juntas a desgranarse si no se hace a tiempo.
- Las macro fibras aumentan el costo de la mezcla de hormigón. Por ello, su uso debe sopesarse frente a otros costos y factores, tales como aumentar el espesor del refuerzo sin fibras, reducir del número de juntas por aserrar, el mejor comportamiento de las juntas, la adaptabilidad de manera de minimizar los cambios de rasante y los beneficios por una mayor vida útil. El precio de las fibras sintéticas puede aumentar los costos de los materiales en ± US \$ 0,33/m² y por centímetro (US \$ 0,08/ft² o US \$ 0,70/yd² y por pulgada) basado en una dosificación de 2,4 kg/m³ (4 lb/yd³). Sin embargo, el aumento de costos es significativamente dependiente del tamaño del proyecto y del volumen de fibras que se utilice; los grandes proyectos pueden costar menos que la cifra señalada basándose en precios del 2012.
- Las macro fibras pueden afectar negativamente la apariencia de la superficie, al compararla con la de un hormigón sin fibras, si no se cuida el tipo de fibra, el diseño de la mezcla y las técnicas para dar la textura; sin embargo, con el cuidado adecuado, el aspecto de la terminación será aceptable. Debe advertirse a los propietarios que la superficie del hormigón lucirá ligeramente diferente a la superficie limpia y suave que normalmente se espera de un pavimento de

hormigón. Algunos contratistas terminan la superficie con un alisado de manera de embeber las fibras antes de dar la textura. Eso no es recomendable puesto que la humedad, el viento, el sol, las sombras, la temperatura y la lluvia pueden todos afectar esta operación; aún más, si el alisado no se ejecuta adecuadamente, puede removerse una cantidad significativa de aire incorporado, con lo que se reduce la durabilidad del hormigón a los ciclos de hielo-deshielo. Cuando no se tiene el cuidado indicado, la superficie “peluda” puede darse con volúmenes de fibras equivalentes a tasas cercanas al 0,5 por ciento o más; ver la Figura 125.

- Altas dosis de macro fibras pueden dificultar la obtención de una superficie limpia, debido a la ligera rugosidad creada por las fibras que procuran salir a la superficie. Si la tasa de dosificación se reduce a probablemente, 0,2 a 0,4 por ciento, resulta más fácil darle la terminación al hormigón reforzado con fibras. Con el tiempo, la fibra propiamente tal se desgasta y desaparece, pero se evidencia la pequeña rugosidad inmediatamente a su alrededor. Esto no es notorio a las velocidades de circulación en la carretera, pero puede ser evidente para los peatones en aplicaciones comerciales. Si se estima que es objetable, puede eliminarse por medio un soplete de llamas.
- A menudo se especifica que para las aplicaciones en pavimentos las superficies deben ser resistentes al deslizamiento o con alta fricción. Algunas fibras pueden crear terminaciones poco estéticas; ello depende de la fibra y de la dosificación utilizada. Las fibras hacen más difícil obtener una buena terminación con escoba. Generalmente, una terminación aceptable con escoba se logra con: diseño apropiado de la mezcla, fibras adecuadas, escobas apropiadas que deben mantenerse limpias y pasando la escoba en una sola dirección y sin agitar de arriba hacia abajo (jiggling).
- Las macro fibras pueden ocasionalmente, formar “erizos” y crear un defecto en la

superficie, aun cuando se agreguen con el mayor cuidado durante la descarga del camión betonera. Por ello se deben tomar medidas para prevenir este problema; ver la Figura 126.

- Algunos contratistas taladran para retirar las “bolas de pelos” con un taladro de 100 mm (4 in.) a una profundidad de unos 25 mm o similar. Esto permite retirar las bolas de pelos, para luego rellenar con lechada o una mezcla de hormigón.
- No se debe vaciar hormigón o trabajar en terminaciones cuando una lluvia es inminente, porque el agua en la superficie provoca que las fibras sean más notorias.
- Se debe limitar el uso de los antiguos reductores de agua de alto rango (naftalenos y melaninas) para reducir la razón agua-cemento, debido a que tienden a generar exudación y exacerbando el fraguado del hormigón; como consecuencia, las fibras serán más notorias. Los reductores de agua de alta gama más nuevos (policarbonatos), generalmente son mejores y reducen el efecto de segregación en la mezcla (tanto en lo que se refiere a las fibras como a los agregados).
- Algunos compuestos de curado en base a solventes harán que las fibras sean más notorias.
- Finalmente, es conveniente conocer el producto que está utilizando. Las fibras son una excelente herramienta para mejorar los refuerzos con hormigón, pero están evolucionando rápidamente y muchos propietarios, contratistas y productores aún están aprendiendo cómo aplicar mejor la tecnología. Cuando se utilizan macro fibras sintéticas, debe prepararse una mezcla de prueba y colocarse en la planta del productor del hormigón pre-mezclado o en otra parte, utilizando los ingredientes y proporciones aprobadas para el proyecto, de manera que todos sepan y entiendan lo que se espera. La comunicación con el propietario, el contratista general y la inspección, es importante para hacerles saber lo que deben esperar durante y después de la construcción. Es importante conocer el tipo de fibras que se está utilizando.



Figura 125. Refuerzo con hormigón con fibras sintéticas terminado



Figura 126. Fibras apelotonadas

APÉNDICE D

LEVANTAMIENTO MEDIANTE ESCANEEO LASER

Escaneo de la Superficie con Laser 3-D

Uno de los problemas que presentan las capas de refuerzo con hormigón es como minimizar los aumentos de cantidades debido a la falta de topografía del pavimento existente. El advenimiento del escaneo laser ha abierto una nueva forma para levantar la superficie del pavimento antes de construir el refuerzo, lo que ayuda a eliminar los aumentos de obras excesivos. Hasta ahora, los levantamientos de la superficie se habían realizado con equipos topográficos convencionales, tales como estaciones totales, huincha y nivel, unidades GPS móviles o unidades sónicas verticales (dirigidas hacia abajo), como dispositivos para medir el perfil. Estos métodos requieren de mano de obra intensiva y a menudo obligan a controlar el tránsito mientras se obtiene la información. El escaneo con láser puede ofrecer una reducción de los costos de topografía, ahorros de tiempo y menores interferencias a los usuarios.

Aplicaciones de Escaneo a los Pavimentos

La superficie de la carretera se puede levantar tanto con escáner estático como móvil, la mayoría de los equipos móviles escanean ya sea el área delante o detrás del vehículo con un ángulo

vertical predeterminado. Están diseñados para recolectar una gran cantidad de información dentro de los límites de la faja vial, así como imágenes fotográficas digitales de alta resolución, tan cercanas entre sí que son similares a un video. Están un paso delante de la tradicional camioneta para fotografiar, que proporciona cotas básicas “relativas” del pavimento, pero que no son suficientes para procesar las deformaciones del hormigón.

El tipo de laser montado en la tradicional camioneta y que actualmente se incorpora a las unidades para fotografiar pavimentos por reforzar, es el mismo que se utiliza para medir el perfil del pavimento terminado. Estos son laser dirigidos hacia abajo (perpendicularmente a la superficie) que se utilizan para medir la textura superficial del pavimento o una línea del alzado muy delgada. El tipo de laser (ancho de banda) y la altura a que se coloca, permiten medir una línea muy fina o área de la superficie.

Los laser móviles y los que sirven para levantar el alzado, usualmente no se encuentran en la misma unidad. El láser móvil debe montarse tan alto como sea posible en la unidad de manera que opere por sobre posibles obstrucciones, en tanto que el láser del tipo para levantar el alzado se monta a la altura del parachoques o más bajo, de manera de maximizar la precisión y minimizar la interferencia de la luz.

Partidas por Considerar en la Planificación

Deben pre planificarse cuidadosamente los puntos de referencia GPS para mediciones a lo largo de la carretera o utilizar puntos conocidos en el corredor del proyecto, para asegurar que la cantidad de información es adecuada para la precisión deseada. La información escaneada no es más precisa que lo que son los puntos de referencia.

El escaneo estático desde la berma del camino puede enfrentar problemas al sufrir interferencias del tránsito. Ello puede solucionarse con una planificación adecuada y por el hecho, que escaneos múltiples podrán encontrar un espacio entre el tránsito. Lo mismo vale para el escaneo móvil; es útil disponer de vehículos adicionales para la congestión y tener en consideración los beneficios de operar fuera de las horas de máxima demanda del tránsito.

El ángulo del sol puede afectar la calidad de las fotografías. Esta labor requiere que los operadores utilicen la posición del sol para definir cuándo y que escanear durante el día.

Las corridas para escanear pueden configurarse en la fase de planificación de manera de recolectar toda la información principal en una pasada, dejando los accesos y salidas para una segunda o en una pasada independiente, si las distancias desde la línea principal son muy grandes.

Deben identificarse los puntos de partida y final, tanto en papel como en el terreno, para asegurarse que se ha recolectado en la visita al lugar toda la información posible.

Análisis de la Información

La Figura 127 muestra un proceso paso a paso de los elementos involucrados en el escaneo 3 D. La parte más grande del proceso de levantamiento mediante escaneo, ya sea que la información se recolecte mediante equipos estáticos o móviles, se ejecuta en gabinete. El trabajo de oficina consiste en definir un modelo digital del terreno (MDT) con una precisión inalcanzable por

métodos topográficos convencionales. Con el escaneo, el proyectista puede ver una malla de 15 a 30 cm (0,5 a 1,0 ft), como se muestra en la Figura 128. Esto permite detectar varios de los tipos de deterioros de un pavimento, que antes no eran visibles y lograr una alta precisión en la cubicación de las cantidades de hormigón que son necesarias. Se han desarrollado sistemas de filtración de la información y otras rutinas que ayudan en el análisis y extracción de información con propósitos específicos desde las nubes de puntos, tales como la rehabilitación de

pavimentos, conservando la información original para futuros usos y como documentación histórica. Un ejemplo de esto se incluye en la Figura 129, que muestra una sección transversal con ahuellamiento en la losa y que permite medir la extensión del deterioro en el sentido longitudinal. Para ajustarse a las necesidades del usuario, la información puede entonces editarse en CAD o llevarse a archivos de un sistema de información geográfico (SIG).

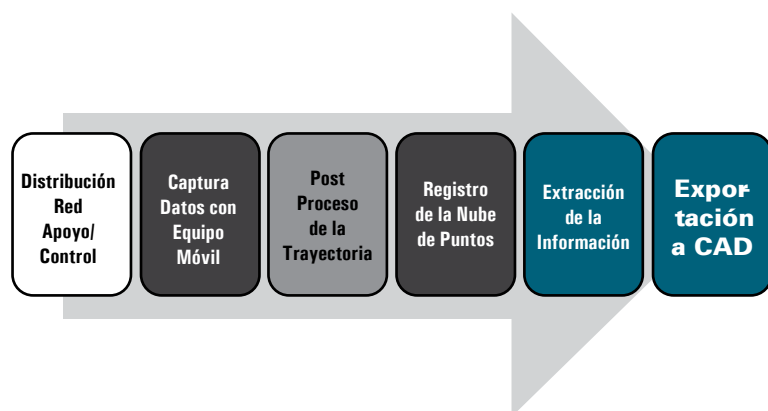


Figura 127. Típico gráfico de flujo de un proyecto con escaneo móvil

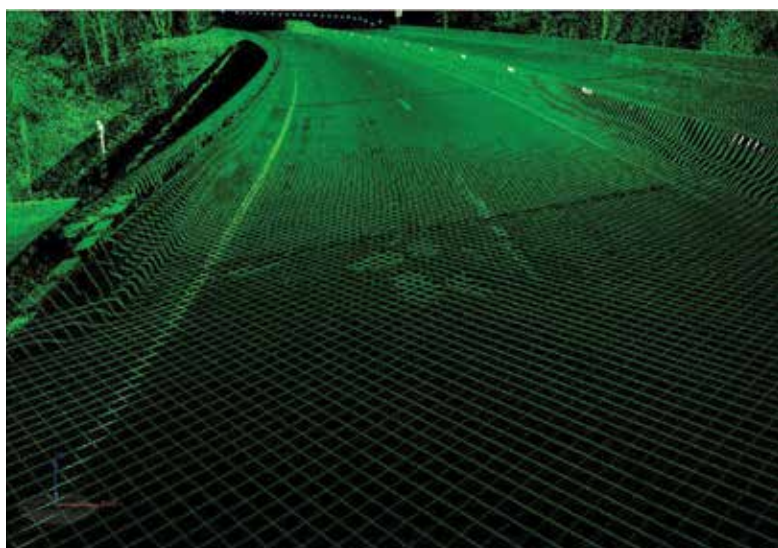


Figura 128. Típico modelo digital de terreno del pavimento/detalle

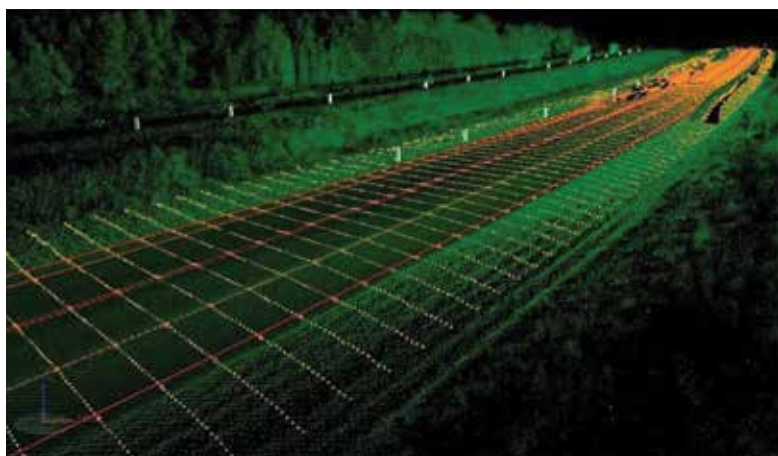


Figura 129. Detalle de sección transversal del pavimento

Operación de Escaneo Estático

El escaneo puede realizarse de modo estático colocando una unidad como la que se ve en la Figura 130, en una posición que pueda auto referenciarse con al menos dos o más puntos de coordenadas X,Y, Z conocidas. Es crítico controlar el uso de este instrumento, tal como en cualquier otra técnica de levantamiento. Es altamente recomendable tener como referencia tres o más puntos conocidos o materializar un buen sistema geométrico de control a lo largo del proyecto para aumentar la precisión de la información. Debe establecerse como sistema de control una red de puntos de referencia distanciados de 75 a 90 m (250 a 300 ft).

Con la incorporación del láser y de una cámara, el instrumento se asemeja a una “estación total en steroids”. Opera en un ángulo de 360° para recolectar información de objetos y fotografías. Se auto referencia en relación a la tierra, mirando hacia dos o más puntos de coordenadas conocidas (X, Y) y cota (Z). En el escaneo de caminos, estos puntos son parte del recorrido por levantar. Este tipo de escaneo requiere planificar un trazado con puntos de referencia y localizar el escáner de manera que no se pierda información clave debido a la interferencia de sombras u objetos.

El sistema estático puede utilizarse para levantar pavimentos desde las bermas a distancias dentro de un radio de 75 a 90 m (250 a 300 ft), dependiendo de las condiciones que se impongan.



Figura 130. Escáner láser estático

Escaneo Móvil Laser 3-D

El escaneo laser es básicamente la combinación de varias tecnologías existentes en una sola unidad o proceso. En el corazón de la unidad se encuentra el detector de la luz y el escáner de rangos, que mide el tiempo que demora un rayo de luz hacia un objeto, determinando su rango mediante incrementos angulares predeterminados, de donde resulta un conjunto de gran cantidad de puntos con información denominada “nube de puntos”. El escáner laser realiza mediciones de los objetivos, en tanto que una cámara de 360° se utiliza para ayudar a identificar los objetos escaneados. La unidad también incluye un GPS que registra su posición sobre la superficie de la tierra en cualquier momento y la posición relativa de los objetos escaneados. Para controlar los movimientos se utiliza en el vehículo una unidad de medidas inerciales (IMU, inertial measurements unit) (cabeceo, rodaje y giro). Para calcular el giro de las ruedas se utiliza un sistema de gestión de componentes en un computador (desktop management interface, DMI) y mediciones que ayudan en el proceso. El sistema es capaz de una precisión constante en las mediciones de 1 a 3 mm (0,04 a 0,12 in.).

Operaciones de Mapeo Móvil

El sistema permite al topógrafo recoger información a velocidad de carretera con una sola pasada sin causar problemas al tránsito. El equipo se encuentra sincronizado de manera que múltiples sensores simultáneamente recojan información de la superficie del camino que se defina. Requiere que el equipo utilizado para almacenar maneje terabytes de información en periodos cortos de tiempo. Este sistema también capta objetos dentro de la faja vial, tales como servicios que sobresalen del terreno y otros elementos de la infraestructura que pueden significar un problema durante la construcción si no se identifican durante el proceso de planificación (se recoge todo lo visible). El desarrollo de uno de estos elementos se muestra en la Figura 131.

Este sistema puede recoger de 600.000 a 1.000.000 puntos por segundo y captar fotografías a intervalos entre 0,9 a 3 m (3 a 10 ft) para dar una visión estéreo del frente, costados y fotografías hacia abajo dirigidas al pavimento que queda detrás del vehículo. Las unidades IMU, GPS y DMI recolectan toda la información relacionada con el pavimento y el área vecina en una sola pasada. La unidad se controla como muestra la vista de la Figura 132 y permite controlar la calidad de la información recogida en la pasada.



Figura 131. Escáner láser móvil



Figura 132. Área a bordo de control de calidad de la operación de un escáner móvil

APÉNDICE E

FACTORES PARA CONSTRUIR CON TRÁNSITO CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN

La Tabla 24 entrega información sobre varias consideraciones al construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón.

Tabla 24. Consideraciones para construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón

Factores por Considerar	Objetivos/Expectativas	Consideraciones/Limitaciones
Incentivos/Desincentivos	Una forma efectiva de gestionar una construcción acelerada exitosa es ofrecer incentivos al contratista. Si el programa es muy crítico, el contratista podría considerar técnicas de pavimentación innovadoras de manera de completar el proyecto dentro del plazo o aún antes. El uso de incentivos también mejora para el propietario el ambiente de competitividad en la licitación.	Deben considerarse incentivos y desincentivos para estimular al contratista a trabajar dentro del programa proporcionado, cuando se espera un ambiente de ofertas competitivas. Los desincentivos no deben disuadir a potenciales licitantes cuando el programa es crítico.
Control de la Rasante	El control de la rasante debe considerarse tempranamente en la planificación del proyecto, el tipo de refuerzo y las condiciones del pavimento existente a menudo definen el nivel del levantamiento requerido para el diseño y desarrollo del proyecto. Históricamente los refuerzos estructurales han requerido muy poca topografía. Un gran número se ha construido sin planos detallados de construcción; en muchos estados se refieren a ellos como trabajos rutinarios. Cuando se utiliza el hormigón como material para el refuerzo estructural, no hay necesidad de aumentar el nivel de la topografía. Para todos los proyectos de refuerzo estructural, es aconsejable visitar el terreno durante una lluvia y verificar que no existan problemas de drenaje. Circular por la carretera a la velocidad de diseño alertará sobre secciones transversales defectuosas. En áreas rurales, se requiere topografía solamente cuando se debe corregirse algún tipo de drenaje, sección transversal o la rasante. La cota de la pavimentadora de hormigón puede controlarse ya sea con un patín deslizando o una línea guía referenciada al pavimento existente. Cuando se utiliza una línea guía, el nivel de cada fijación se establece proyectando la pendiente transversal existente, luego observar longitudinalmente la guía y ajustar las pendientes individuales hasta generar una rasante suave.	Si para pagar se mide el área horizontal, el contratista exigirá una topografía más detallada y secciones transversales adicionales para asegurar el espesor adecuado y la producción. Si el pago se hace por el volumen de hormigón suministrado y por el área pavimentada, se requiere menos topografía. Cuando se utilizan equipos fresadores para remover el pavimento existente, es aconsejable ajustarlos ya sea al mismo control de la pavimentadora o esperar hasta que se hubiere completado el fresado para establecer el control de la pavimentación. Un aspecto a cuidar en la construcción de pistas múltiples, es que en muchos pavimentos, las pendientes transversales de las pistas pueden ser diferentes; la pavimentadora deberá tener la posibilidad de ajustarse al eje de las pistas intermedias o se deberán corregir las diferencias de pendiente transversal entre las pistas mediante fresado.
Materiales/Mezclas		
Confiabilidad del Suministro de Materiales	Todos los materiales requeridos por el proyecto deberán estar disponibles, programados o adecuadamente almacenados antes de construir el proyecto de refuerzo.	Los materiales con tendencia a experimentar atrasos en el suministro deben encontrarse almacenados.
Programa de Suministro de los Materiales	Con una programación acelerada, existe poco tiempo para desviarse del programa decidido. Por lo tanto, debe contarse con la certificación de muestras representativas de todos los materiales suministrados.	Deben prepararse planes para manejar imprevistos de potenciales cambios de las propiedades de los materiales críticos.
Mezcla de Hormigón	Típicamente se utilizan mezclas de hormigón normal para los proyectos de refuerzos con hormigón. Un crecimiento rápido de la resistencia, para cumplir con el programa de una construcción acelerada, no requiere de cementos especiales o materiales sofisticados. Es posible dosificar una mezcla utilizando los materiales locales disponibles, cemento tipo I y tipo II, materiales de cemento suplementarios y ciertos aditivos. Inicialmente es probable que el equipo pavimentador, requiera de ciertos ajustes, hasta que se acostumbren a las características de la mezcla.	La mezcla debe ajustarse a los requerimientos para la apertura y a los métodos de construcción. Sin embargo, la mezcla no debe acelerarse al punto en que sean altamente probables agrietamientos a tempranas edades debido a retracción y alabeos. Cada miembro de la cuadrilla deberá acostumbrarse a las labores aceleradas que son parte de una construcción expedita.

Tabla 24. Consideraciones para construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón, continuación

Factores por Considerar	Objetivos/Expectativas	Consideraciones/Limitaciones
Materiales Cementantes	Los cementos hidráulicos incluyen cemento portland y mezclas de cementos que contienen materiales de cemento suplementarios. Otros tipos de cementos hidráulicos son los cementos con sulfato cálcico aluminico de fraguado rápido, utilizados como materiales de reparación o para pavimentos donde los giros rápidos de vehículos son críticos. Los cementos y los materiales de cemento suplementarios juegan un rol importante tanto en el desarrollo de calor como en la resistencia; estas propiedades dependen de la interacción entre los componentes individuales que constituyen la mezcla.	El Manual de Prácticas Integradas de Materiales y Construcción de Pavimentos de Hormigón (IMCP Manual) es una muy buena referencia para entender la importancia de una mezcla apropiada de materiales de cemento.
Cementos Tipos I/II	Con cementos Tipos I/II se puede alcanzar la resistencia para apertura sin aumentar el riesgo de grietas por retracción.	No es necesario más cemento, pues no necesariamente significa mayor resistencia, pero si implica un incremento de la retracción, así como del alabeo.
Cemento de Escoria	El cemento de escoria puede reducir la expansión por la reacción álcali-sílice, aumentar la resistencia a largo plazo, reducir la permeabilidad, reducir la temperatura del hormigón y desacelerar la hidratación.	El cemento de escoria puede reducir la tasa de aumento de la resistencia y de hidratación.
Cenizas Volantes	Las cenizas volantes aumentan la resistencia a largo plazo, reducen la permeabilidad y reducen la temperatura. Algunas cenizas volantes pueden desacelerar la hidratación en proyectos de construcción acelerada.	Antiguamente algunos estados imponían restricciones a la utilización de cenizas volantes en tiempo frío y restringían al 10% las cenizas volantes en proyectos de construcción acelerada, aún durante los meses de clima cálido. Las mezclas deben ensayarse en el laboratorio para determinar las restricciones de la tasa apropiada de reemplazo y la temperatura.
<i>Tipo C</i>	Las cenizas volantes Tipo C aumentan la resistencia a largo plazo, y reducen la demanda de agua y la permeabilidad. Esto puede o no puede desacelerar la hidratación o reducir la expansión por reacción álcali-sílice.	Las cenizas volantes Tipo C pueden afectar el incremento de resistencia. Las mezclas deben ensayarse para determinar cuanto ceniza volante clase C se requiere para reducir la expansión relacionada con la reacción álcali-sílice. Una dosis muy alta puede aumentar el riesgo de un endurecimiento rápido y/o de deterioros debidos a desprendimiento superficiales por la sal.
<i>Tipo F</i>	Las cenizas volantes Tipo F aumentan la resistencia a largo plazo y reducen la permeabilidad. También desaceleran la hidratación y mitigan la expansión por reacción álcali-sílice.	Las cenizas volantes Tipo F atrasan el endurecimiento y reducen la tasa de aumento de la resistencia; afectando el aire incorporado. El Tipo F es generalmente efectivo para reducir la expansión relacionada con la reacción álcali-sílice. Su disponibilidad puede ser una limitante.
Aditivos Químicos	Los aditivos químicos se incorporan a las mezclas de hormigón para modificarle alguna propiedad, tal como la resistencia. Con la incorporación de estos aditivos químicos se pueden obtener las propiedades deseadas más eficientemente que ajustando otros ingredientes de la mezcla, tales como el tipo de cemento. Se encuentran disponibles aditivos que combinados contienen tanto reductores del agua como aceleradores de fraguado.	El efecto de los aditivos que modifican el fraguado puede no ser previsible en otras propiedades del hormigón, como la retracción. Por lo tanto, antes de aceptar un aditivo que modifica el fraguado, deben realizarse ensayos con los materiales de la obra, bajo las condiciones previstas para el trabajo. La compatibilidad del aditivo con otros ingredientes debe ensayarse, en la medida que pudiera tener relación con potenciales problemas constructivos.
Reductores de Agua	Los reductores de agua pueden reducir la necesidad de agua mediante un menor contenido de pasta (menor relación a/c) lo que ayuda a minimizar la retracción, la temperatura y el agrietamiento, sin sacrificar la trabajabilidad. Los aditivos reductores de agua pueden también incrementar la tasa de aumento de resistencia inicial al disminuir la cantidad de agua necesaria para la hidratación del cemento (tanto como 10% a 28 días). Para construcción acelerada, las razones a/c típicas, deben ser iguales o menores que 0,43.	Confirmar que el reductor de agua es compatible con otros aditivos químicos y cementos, especialmente bajo condiciones ambientales difíciles. La confirmación mediante ensayos de laboratorio es esencial para determinar si el aditivo generará las propiedades deseadas. Los reductores de agua Tipo F y G (súper plastificantes) no se utilizan normalmente para pavimentos debido a su alto costo y a su dificultad para controlar el rango de la ductilidad requerida, cuando se utilizan pavimentadoras de molde deslizante. Una sobredosis del reductor de agua, en especial con productos de rangos normales, puede retardar severamente o aún impedir el fraguado.
Aceleradores	Los aditivos aceleradores de fraguado se utilizan para aumentar la tasa de incremento de la resistencia inicial, incluso en tiempo frío. Es importante ensayar las propiedades tanto del hormigón fresco como del endurecido, antes de utilizar el acelerador, especialmente en refuerzos adheridos.	Puede disminuir la resistencia a largo plazo. Un exceso de aceleración puede producir un agrietamiento antes que la terminación esté lista y/o se complete el aserrado de las juntas. Deben tomarse precauciones al utilizar aceleradores en refuerzos delgados de manera de no generar una retracción temprana, agrietamientos y altos alabeos.
Incorporadores de Aire	Los incorporadores de aire mejoran dramáticamente la durabilidad del hormigón expuesto a la humedad durante ciclos de hielo-deshielo. Mejoran la resistencia del hormigón a desprendimientos superficiales generados por anti congelantes químicos. También tienden a mejorar la trabajabilidad de la mezcla de hormigón, reducir la demanda de agua y disminuir la segregación y la exudación.	Se debe verificar la compatibilidad con otros aditivos. Por aproximadamente cada 1% de aire incorporado, se pierde un 5% de resistencia a la compresión del hormigón. Se acepta una pérdida de aire incorporado en la pavimentadora de entre 1,5 % a 1,75%. No se acepta cuando la pérdida de aire incorporado al sistema en la pavimentadora alcanza el 3% (cantidad y distribución).

Tabla 24. Consideraciones para construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón, continuación

Factores por Considerar	Objetivos/Expectativas	Consideraciones/Limitaciones
Retardadores	Los retardadores son útiles para alargar el tiempo de fraguado. Aumentan la tasa y capacidad de exudación y pueden estar acompañados por una reducción en el incremento de la resistencia inicial (uno a tres días) pero dan resistencias posteriores mayores.	Los retardadores atrasan el incremento de resistencia inicial, pero no cambian las propiedades de trabajabilidad. Bajo ciertas condiciones, los retardadores pueden originar un endurecimiento inicial y reducir la trabajabilidad.
Agregados	Es crítico que los agregados tengan una granulometría bien graduada (ello es, debe existir una amplia gama de tamaños de agregados). Los agregados bien graduados tienen menos espacios entre las partículas y por lo tanto, reducen la demanda de pasta sin perder trabajabilidad. El menor contenido de pasta reduce la retracción y el agrietamiento inicial, especialmente en mezclas con aceleradores. Durante la construcción, debe monitorearse constantemente el contenido de humedad de los agregados, puesto que puede variar significativamente durante el transcurso de la obra. Una de las causas para la variación es el cambio de alguna propiedad, tal como la absorción.	El coeficiente de expansión térmica del agregado mide cuanto cambia la longitud (o volumen) dado un cambio en la temperatura. En las capas de refuerzos con hormigón adherido al pavimento de hormigón, se deben utilizar agregados cuyos coeficientes de expansión térmica coincidan, tanto como sea posible, con el coeficiente de expansión térmica del pavimento subyacente. Los agregados son sometidos a variadas condiciones durante el acopio y manipulación. Estos cambios deben anticiparse y tomar las medidas para ajustar el contenido de agua en la mezcla, según se requiera. Idealmente, debe implementarse un monitoreo en tiempo real del contenido de humedad de los agregados, de manera de ejecutar los cambios "sobre la marcha". En la mayoría de las circunstancias, un programa de muestreo bien programado, con instrumental para una evaluación rápida, mejora considerablemente esta parte del proceso.
Capa Separadora	La capa separadora proporciona el plano de separación necesario entre el refuerzo y el pavimento subyacente. Para las capas separadoras de asfalto a colocar bajo un pavimento con tránsito pesado, se debe disminuir el contenido de arena y aumentar el agregado de tamaño 3,3 mm (0,13 in.), de manera de reducir el desprendimiento superficial del asfalto debido a la presión de poros.	La capa separadora no proporciona soporte estructural. El tránsito de camiones pesados puede reducir la estabilidad y producir desprendimientos en el asfalto debido a la presión de poros. Cuando existirá tránsito pesado, se debe considerar una capa de asfalto drenante con su correspondiente sistema de drenaje. Los geotextiles también se pueden utilizar como capa separadora.
Fibras	Aun cuando comúnmente no se requieren para los refuerzos, debe considerarse el uso de fibras para refuerzos delgados (100 mm (4 in.) o menos). Las fibras aumentan la dureza del hormigón del refuerzo y la resistencia al agrietamiento por retracción plástica y por secado, especial en refuerzos adheridos. Las fibras también pueden aumentar la resistencia del hormigón a la flexotracción.	La colocación de las fibras en la mezcla debe realizarse de manera de evitar que se apilonen formando grumos. En algunos casos, las fibras se adicionan al final del lote en bolsas solubles en agua; esto podría requerir de un área de preparación con capacidad adecuada para evitar colas. En otros casos, se introducen a la mezcla fibras individuales (a granel), debiéndose considerar para ello un dosificador apropiado.
Dosificación	La dosificación del hormigón utilizado en refuerzos normalmente no difiere del hormigón convencional para pavimentos o aún otras aplicaciones de premezclados.	Dependiendo del tamaño de la obra, una planta dosificadora móvil dedicada al trabajo es beneficiosa para el proyecto. De hecho, esto se recomienda siempre que sea posible porque potencialmente aumenta la uniformidad del hormigón.
Capacidad	Se debe disponer de una capacidad adecuada de mezclado pues es un eslabón crítico en el proceso de construcción del refuerzo. Tanto el tiempo de mezclado como la disponibilidad de equipo para el transporte deben equilibrarse con los costos.	Los planes para emergencias incluyen estar preparados para responder rápidamente (reparaciones) frente a las fallas más comunes de los equipos.
Consistencia	Durante el mezclado, son críticas la consistencia y la uniformidad. El tiempo adecuado de mezclado debe equilibrarse con la necesidad de aumentar la tasa de producción. De ser posible, para cumplir con ambos objetivos, debe contarse con una betonera de alta velocidad de dos tambores.	Las capas de refuerzo son especialmente vulnerables a los cambios de propiedades de los materiales debido a que normalmente son de sección delgada.
Transporte del Hormigón		
Separación del Tránsito	Como situación ideal, es útil aislar el tránsito de vehículos tanto de los usuarios como de los vehículos de construcción.	Sin embargo, en la mayoría de los casos, las circunstancias impiden tener la situación ideal, lo que justifica tomar medidas apropiadas para un suministro continuo e ininterrumpido.
Tiempo de Transporte del Hormigón	El tiempo de transporte es una variable que debe conocerse. Si se utiliza una planta dosificadora móvil, el transporte del hormigón entre la planta hormigonera y la pavimentadora puede ser reducido. En consecuencia, puede no ser necesario cambiar la mezcla de hormigón convencional (incluyendo los aditivos que normalmente se utilizan). Sin embargo, si potencialmente pueden darse atrasos, tales como los debidos a congestión o si se utiliza para el suministro una planta premezcladora que significa un mayor tiempo de viaje, podría ser necesaria una mezcla modificada.	Deben tomarse precauciones cuando se utilizan retardadores, puesto que pueden afectar la tasa de aumento de la resistencia de la mezcla y por consiguiente, afectar el plazo para entregar al tránsito. El curado también puede llegar a ser más crítico en estas situaciones debido a que el hormigón fresco estará expuesto por mayor tiempo.

Tabla 24. Consideraciones para construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón, continuación

Factores por Considerar	Objetivos/Expectativas	Consideraciones/Limitaciones
Protección	Debe considerarse proteger la mezcla de los factores ambientales, especialmente cuando los tiempos de transporte del hormigón son largos.	Los climas secos y ventosos pueden llevar a una rápida pérdida de humedad de cualquier hormigón expuesto. También deben controlarse condiciones que son marginales al riesgo de congelamiento o lluvia. En cada caso, debe asegurarse la protección del hormigón que está siendo transportado, lo que a menudo puede hacerse cubriéndolo con lonas. La protección es menos crítica cuando se utilizan camiones betonera, debido a que el hormigón se encuentra protegido dentro del tambor.
Recorrido para el Transporte del Hormigón	Las condiciones de los caminos para transportar es otra consideración a tener en cuenta al construir refuerzos con hormigón.	Debe cuidarse que la pasada repetida de ejes pesados de los camiones, no cause al camino para el transporte un ahuellamiento excesivo. En áreas difíciles la evaluación del camino para el transporte debe realizarse antes de producir el primera lote.
Reparaciones Previas	Antes de construir el refuerzo, pudiera requerirse una variedad de reparaciones puntuales del pavimento existente a ser reforzado. La oportunidad en que se realicen de estas reparaciones afecta el programa de construcción del refuerzo.	Si las reparaciones previas definen el programa de construcción acelerada del refuerzo, éstas deberán construirse como un proyecto independiente o completarse fuera de las horas de mayor demanda.
Reparación de Barras de Traspaso de Cargas	Normalmente, para capas de refuerzo no adherido, no se reparan las barras de traspaso de cargas puesto que ambos sirven el mismo propósito. Las barras de traspaso de cargas se han utilizado en refuerzos adheridos delgados cuando se desea incrementar significativamente la capacidad de transferencia de cargas. Son buenos candidatos para reparar las barras de transferencia los proyectos que tiene las siguientes características: pavimentos de espesor adecuado pero que presentan una pérdida significativa de transferencia de cargas debido a la carencia de barras, mala transferencia por roce o erosión de la base/subbase. Pavimentos relativamente nuevos, con espesor insuficiente, juntas muy alejadas, armaduras de refuerzo inadecuadas en las grietas transversales y/o transferencia de cargas inadecuada en las juntas, que están en riesgo de desarrollar escalonamiento, grietas por trabajo y grietas de esquina, salvo que se mejore la transferencia de cargas. Normalmente, se utilizan de 3 a 5 barras de acero redondo liso en las huellas.	Deben realizarse ranuras con un equipo especial con hojas con diamantes que permite hacer múltiples ranuras simultáneamente. No se recomiendan los equipos fresadores modificados debido al desflocamiento asociado y los anchos de corte variables que afectan los requerimientos de ancho de las sillan. Las ranuras deben cortarse paralelas y en dirección del tránsito. Para preparar las ranuras apropiadamente, con un martillo liviano debe removerse el material y la ranura debe ser esmerilada con arena y limpiada. Luego se restablece el trabajo de la junta con un inserto para juntas. Elegir alguno de los materiales de las siguientes características para la reparación: poca o nada de retracción, buena resistencia final, compatibilidad térmica, durabilidad a los ciclos hielo-deshielo y buena adherencia al hormigón existente.
Drenaje	Los mejoramientos del drenaje a veces se justifican para complementar la construcción de un refuerzo con hormigón. Estas mejoras pueden incluir la limpieza de fosos adyacentes, aumentando su capacidad o incluso reparan el subdrenaje.	Puesto que a menudo los equipos utilizados para mejorar el drenaje trabajan en o cerca del borde del pavimento, operarlos antes de colocar el refuerzo disminuye la probabilidad de dañar el hormigón recién colocado; además al quedar menos material inestable en la línea de la oruga, se disminuye el riesgo de una menor suavidad. Así mismo, si el subdrenaje por reparar tiene por objetivo estabilizar la subbase, lo ideal es instalarlo antes que el refuerzo, de manera de reducir desplazamientos del pavimento existente. Se deben tomar precauciones para no dañar los subdrenes en la construcción del refuerzo.
Servicios de Utilidad Pública	Los trabajos en los servicios públicos a veces se realizan antes de construir el refuerzo. Estos pueden incluir la relocalización del servicio, que puede encontrarse debajo del pavimento o fuera de él. Si se deben excavar zanjas o intervenir de otra manera el pavimento existente, debe asegurarse que los parches se construyan en forma adecuada.	La construcción de nuevos parches puede ser particularmente molesta, si no se dispone del tiempo suficiente para que se “asienten” antes de construir el refuerzo. Al igual que con las mejoras del drenaje, todos los trabajos en los servicios deben terminarse antes que el refuerzo, de manera de minimizar las interferencias o los daños a tempranas edades.
Reparaciones Puntuales	Algunos refuerzos con hormigón requieren de trabajos previos de reparaciones puntuales en los pavimentos de hormigón o asfalto existentes. Si las reparaciones son extensas, puede que la carretera no sea una buena candidata para un refuerzo.	En todos los casos, la calidad de la reparación puntual será crítica en el comportamiento exitoso del pavimento.
Reparaciones de Espesor Parcial	Los buenos candidatos son los tramos en que el deterioro de las losas está en el tercio superior y los sistemas de transmisión de cargas (si los hay) son aún efectivos.	Los malos candidatos para reparaciones parciales son los pavimentos con deterioros causados por tensiones de compresión generadas en pavimentos de losas largas, con saltaduras debido a barras de traspaso de cargas desalineadas o congeladas, grietas transversales o longitudinales debidas a una inapropiada técnica de construcción de juntas, grietas transversales o longitudinales que trabajan y saltaduras causadas por agrietamiento por durabilidad o agregados reactivos. Es importante remover cualquier desprendimiento laminar del hormigón y asegurarse que durante este proceso no se dañe el hormigón en los alrededores de la zona reparada. En los refuerzos adheridos, se pueden rellenar las áreas de reparaciones parciales, como parte de la operación de pavimentación del refuerzo.

Tabla 24. Consideraciones para construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón, continuación

Factores por Considerar	Objetivos/Expectativas	Consideraciones/Limitaciones
Reparaciones en Todo el Espesor	Las reparaciones en todo el espesor de pavimentos de hormigón y asfalto existentes, son efectivas para corregir muchos diferentes tipos de deterioros localizados. Sin embargo, existen unos pocos casos que limitan la efectividad de una reparación en todo el espesor.	La efectividad de una reparación depende del dimensionamiento adecuado de la reparación. La mayoría de las agencias limitan la reparación a una longitud mínima de 1,2 a 1,8 m (4 a 6 ft). No se recomienda rescatar el sistema de barras de traspaso de cargas. También es importante remover cualquier desprendimiento laminar y asegurarse que durante este proceso no se dañe el hormigón en los alrededores de la zona reparada.
Reparación de Drenes de Borde de Pavimento	Un pavimento buen candidato para reparar los drenes de borde es el que muestra signos prematuros de deterioro por humedad, es relativamente nuevo (menos de 10 años de edad) y sólo presenta un agrietamiento mínimo (menos del 5% de las losas agrietadas) (Mathis 1990, FHWA 1992). Muchos estudios han concluido que la reparación de drenes de borde no es efectiva para prolongar la vida de servicio de pavimentos que han experimentado previamente un deterioro significativo relacionado con la humedad (Wells and Wiley 1987, Young 1990; VDOT 1990).	No se recomienda reparar los drenes de borde de pavimentos cuya base contiene más de 15% a 20% de finos. Sin embargo, pueden utilizarse en estos suelos como una descarga del drenaje de la capa separadora que se utiliza en los refuerzos no adheridos. Al instalar tuberías corrugadas de polietileno, se requiere un cuidado extra para no sobre estirarlas durante la instalación. Para evitar daños a las tuberías durante la compactación, se recomienda darles un recubrimiento mínimo de 150 mm (6 in.).
Estabilización de Losas	La estabilización de losas se utiliza para recuperar el soporte bajo las losas de hormigón, con lo que disminuye la tasa de aumento del deterioro ocasionado por la baja capacidad soporte, tales como: el surgimiento (bombeo) de finos, el escalonamiento de las juntas y las grietas de esquina. La estabilización de losas no tiene por objetivo levantar losa hundidas o estabilizarlas a una determinada cota. Los materiales más utilizados son las inyecciones de mezclas de cemento y poliuretano.	Controlar la presión máxima de manera de asegurarse que no exceda de 0,69 MPa (100 psi). Monitorear cuidadosamente el levantamiento de la losa. Normalmente el levante se limita a < 3,3 mm (0,13 in.). Detener la inyección cuando esté aflorando por los agujeros, grietas y juntas. Detener la inyección después de un minuto, independiente de los cambios de presión o izamiento de la losa.
Preparación de la Superficie/ Limpieza	La superficie del pavimento existente debe prepararse y limpiarse para colocar el refuerzo.	Las técnicas utilizadas varían dependiendo del tipo de superficie. El equipo que se utilice en las reparaciones debe dimensionarse no sólo para proveer tasas de producción adecuadas, también para minimizar las molestias al público y ayudar con el programa acelerado.
Tránsito sobre una Superficie Previamente Preparada	La programación de la preparación de la superficie puede considerar circular sobre ella antes de colocar el refuerzo.	Si se permite circular sobre la superficie preparada antes de la pavimentación del refuerzo, es necesario, especialmente para refuerzos adheridos, limpiar de manera de remover potenciales contaminaciones.
Adherencia con el Hormigón	Normalmente, la preparación de la superficie del pavimento existente consiste de un tratamiento con granallas, seguido de un barrido de la superficie del hormigón. Se limpia con aire comprimido.	La pavimentación debe comenzar pronto tras la limpieza (minutos) para minimizar la probabilidad de contaminación de la superficie. Donde se requiera, se fresa para rebajar la cota del hormigón; no se utiliza en sí misma, para preparar la superficie del hormigón debido a que puede originar en la superficie micro grietas y fracturas en el agregado expuesto.
Adherencia con el Asfalto	Se puede fresar el pavimento existente donde las distorsiones superficiales alcancen 50 mm (2 in.) o más, para remover el material asfáltico débil que significa que la superficie de adherencia es inadecuada o para disponer de una superficie más rugosa que mejore la adherencia. La limpieza consiste en barrer la superficie del asfalto para luego limpiarla con aire comprimido.	No debe permitirse que exista agua apozada en la superficie del asfalto al preparar la superficie de adherencia. Para prevenir la contaminación de la superficie, es importante evitar que exista un lapso de tiempo prolongado entre la limpieza final de la superficie y la pavimentación.
No Adheridos al Hormigón	Sólo el deterioro que causa una pérdida mayor de capacidad estructural requiere repararse.	El pavimento existente debe estar estable, sin inestabilidad o movimientos al nivel de la base.
No Adheridos al Asfalto	Se puede fresar cuando las distorsiones superficiales son de 50 mm (2 in.) o más, de manera de remover el material asfáltico débil o fracturado. Antes de colocar el hormigón, la superficie del asfalto debe barrerse. No constituye un problema si permanecen algunas pequeñas partículas.	Normalmente es adecuado fresar solamente zonas puntuales con distorsiones significativas o con problemas estructurales.
Consideraciones Respecto del Tránsito		
Accesos de Vehículos	Que cumpla con las necesidades de los usuarios. Abrir al tránsito de automóviles antes y de camiones más tarde.	Utilizar aceleradores de fraguado sólo cuando sea necesario. Las resistencias para la apertura son las normalmente especificadas.
Accesos de Peatones en Intersecciones/Áreas Urbanas	Canalizar los movimientos de los peatones alrededor de la construcción.	En áreas donde deben circular muchos peatones, puede ser necesario un desvío.

Tabla 24. Consideraciones para construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón, continuación

Factores por Considerar	Objetivos/Expectativas	Consideraciones/Limitaciones
Elementos para el Control del Tránsito	El tránsito debe manejarse durante la construcción. Ajustar el control del tránsito a las necesidades de los usuarios y seguir el Manual of Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) (FHWA 2003b).	Demasiadas veces se eliminan las capas de refuerzo con hormigón como una opción de rehabilitación, cuando el proyecto debe construirse con tránsito. Las limitaciones de espacio para las orugas de la pavimentadora y la línea guía no son más válidas, puesto que existen muchas opciones disponibles.
Iluminación	La iluminación permite trabajar de noche. La iluminación debe poder desplazarse siguiendo la construcción.	Debe considerarse la cantidad de luminarias y controlar la luminosidad en la zona de trabajo.
Construcción Nocturna	La construcción nocturna ha aumentado. Permite construir fuera de la horas de mayor demanda lo que disminuye las interrupciones al tránsito.	Deben utilizarse las limitaciones visuales nocturnas. Ellas incluyen menores distancias entre los elementos de canalización, mayores transiciones, cambios de color en las aproximaciones a las salidas, marcadores de ensanche de pavimento, pantallas reflectantes, más atenuadores montados en vehículos, señales con información en tiempo real, letreros con información variable y cubrir las señales cuando no se está trabajando.
Capacidad de una Pista	Examinar la capacidad de la pista circulando a la velocidad durante la construcción y no a la velocidad de diseño de la carretera.	Se deben considerar los flujos de tránsito existentes para una conducción segura de conductores y los trabajadores.
Camiones Grandes	Información limitada disponible indica que la participación de camiones múltiples en choques en zonas de trabajos es mayor que el promedio nacional para estos vehículos, especialmente en el sistema interestatal.	Debe prestarse especial atención para acomodar la combinación tractor-acoplado, tanto en las zonas de trabajo como en sus transiciones, especialmente donde hay grandes volúmenes de camiones. Los aspectos por considerar son el ancho de la pista en curvas con barreras a ambos costados y la distancia de parada donde se espera congestión.
Desvíos	Deben localizarse convenientemente y contar con una señalización efectiva.	Pueden tener efectos negativos en los usuarios. Siempre minimizar, donde sea posible, la mayor distancia de viaje.
Eventos		
Colegios	Coordinar el programa con las rutas de los buses escolares y con los eventos.	El programa puede resultar difícil de controlar debido a la limitación de modificaciones.
Trasporte Urbano	Planificar para minimizar las interrupciones.	Normalmente los límites pueden ser confiables.
Festivos	Normalmente los trabajos se detienen durante los festivos.	Los festivos significan un aumento del tránsito difícil de controlar.
Visibilidad	Proveer una distancia de parada adecuada, la que aumenta la seguridad general.	El control de los equipos y del tránsito debe considerarse teniendo en consideración la visibilidad
Etapas de Construcción		
Áreas de Estacionamiento	Deben evaluarse los límites del proyecto para asignar áreas de estacionamiento. Las áreas de estacionamiento son necesarias para la detención de camiones betoneras que fallen, el almacenamiento de materiales y equipos, oficinas de construcción y posiblemente una planta hormigonera portátil.	Una planta betonera exclusiva o una planta portátil localizada cerca del proyecto reducen los tiempos de transporte a la obra y permiten controlar la calidad de la mezcla más fácilmente.
Cierre Adicional de Pistas (Leap Frog)	Permite la pavimentación continuada de una pista en una dirección, dejando áreas abiertas para la recuperación del tránsito.	Requiere de múltiples dispositivos de control y de autos piloto.
Instalaciones de Faena	Es importante planificar el proyecto de manera de minimizar las etapas. Cada vez que finaliza una etapa, debe hacerse una instalación de faena para reagruparse y prepararse para la siguiente etapa del proceso de pavimentación.	El cambio de instalación de faena de la cuadrilla de pavimento dentro de la misma obra toma tiempo y el tiempo que no se pavimenta aumenta los costos. La manera preferida de abordarlo es minimizar las etapas y las instalaciones de faena.
Producción	Para mantener las cuadrillas ocupadas en trabajos rentables, es importante mantener las cuadrillas efectivamente ocupadas en la construcción del proyecto de capas de refuerzo. Ello requiere contar con programas de trabajo efectivos que entreguen resultados continuos e ininterrumpidos.	Las longitudes deben basarse en los tiempos de curado, tasas de producción y demoras aceptables del tránsito.
Número y Tipo de Pistas a Cerrar	El control del tránsito debe ajustarse a estándares aceptables. Los métodos y materiales utilizados deben ajustarse a las restricciones del proyecto.	El número y tipo de pistas cerradas dependerá de la demanda de tránsito, capacidad de la pista, necesidad de accesos adyacentes y del número de pistas disponibles para el tránsito.

Tabla 24. Consideraciones para construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón, continuación

Factores por Considerar	Objetivos/Expectativas	Consideraciones/Limitaciones
Sobre Anchos para la Pavimentadora	Debe solucionarse toda la restricción para los sobre anchos que requiere.	El ancho normal, cada lado, para la línea guía y la oruga es de 1,2 m (4 ft). Normalmente, mediante ajustes típicos a los equipos se logra una reducción adicional del sobre ancho de 0,9 m (3 ft). Para ello no se requieren una pavimentadora especial, sólo se necesitan ajustes y modificaciones en la pavimentadora existente. Pavimentar sin línea guía minimiza este problema.
Construcción con Tránsito v/s Cerrar las Pistas	Debe realizarse un completo análisis para comparar los costos-usuarios y tiempos de construcción, para diseñar alternativas (cierre completo vs mantener el tránsito en la zona en construcción).	Los costos de construcción adicionales y demoras para los usuarios, cuando se construye con tránsito deben compararse con los costos de mayores tiempos de viaje por la mayor longitud de los desvíos.
Construcción del Refuerzo		
Espesor de la Capa de Refuerzo	Los refuerzos más delgados curan en menor tiempo, lo que implica que las tensiones se generan antes. Por lo tanto, aserrar temprano es importante.	Los refuerzos delgados están más expuestos al riesgo de agrietamiento (tensiones por retracción y alabeo).
El Clima		
Clima Frío (bajo 4,4 °C (40° F))	Considerar cubrir el pavimento para ayudarlo a alcanzar la resistencia de apertura.	Desarrollar un plan de control de calidad dirigido a los aspectos relacionados con hormigonar con tiempo frío. Específicamente, emplear métodos de aislación que aseguren que el pavimento no se congelará antes de alcanzar la resistencia de apertura.
Clima Normal, 4,4 a 29°C (40 a 85 °F)	Los refuerzos presentan un rápido aumento de la resistencia y altas tasas de producción con un potencial reducido de agrietamiento inicial.	Sólo deben existir las restricciones del proyecto y no limitaciones anormales de materiales y equipos.
Clima Cálido >29°C (85 °F)	Con tiempo cálido se incrementa la tasa de aumento de la resistencia.	Con clima cálido existen mayores riesgos de agrietamiento superficial. El curado apropiado es importante. También debe considerarse el agrietamiento de abajo hacia arriba, cuando el pavimento subyacente está demasiado caliente.
Equipo de Construcción	Uno de los aspectos más importantes en una construcción acelerada y que a menudo es despreciado, es la disponibilidad y rendimientos de los equipos en el terreno. Todos los equipos deben estar en condiciones para trabajar y con el mantenimiento adecuado. El contratista debe presentar un plan de respaldo para cuando durante la construcción un equipo falle. Las piezas importantes, los fluidos hidráulicos, aceites y combustibles, deben estar siempre disponibles. Las sierras para hormigón deben ser abundantes y estar disponibles en la faena.	Debe contarse con un plan para el caso de falla de la pavimentadora, de manera que la operación no se detenga. El plan puede ser simple, como mantener el contacto con un mecánico o más complejo, como disponer en la vecindad una pavimentadora de respaldo. Debe contarse con un plan especial como parte del sistema de respaldo para redirigir el tránsito en el caso de alteración del programa. Si el pavimento se va a entregar a las pocas horas después de pavimentado, a menudo la fase crítica es el aserrado. Es importante contar con la mano de obra y sierras adecuadas en la obra al construir un refuerzo con hormigón acelerado.
Curado	Se puede decir que el curado es más crítico en capas de refuerzos que en la mayoría de las otras pavimentaciones. Como los refuerzos son relativamente delgados, aumenta la relación área superficial-volumen de hormigón. Por lo tanto son más susceptibles a pérdidas excesivas de humedad y al deterioro que puede resultar de ello. Para evitar problemas, en los refuerzos delgados, con aspectos como, la retracción plástica, el agrietamiento en todo el espesor por retracción, las juntas anchas y el deterioro superficial, debe adoptarse un programa efectivo de curado, que contemple utilizar el doble de la tasa recomendada para el compuesto de curado.	A menudo, el incremento de calidad, la más alta producción en el curado que derivan de un efectivo programa de curado, compensan su mayor costo.
Curado Especial	En el caso de refuerzos que debe abrirse al tránsito en muy poco tiempo y son relativamente cortos en longitud, se utiliza un curado especial complementario al compuesto de curado. Normalmente consiste en una manta aislante que proporciona temperatura uniforme en el entorno del pavimento.	Para construcción acelerada normalmente el curado especial no se requiere en los meses de verano, pero tiene su efecto en el incremento de la resistencia cuando la temperatura del aire es menos de 19°C (65°F) y un efecto pronunciado cuando las temperaturas son inferiores a 13°C (55°F) en meses más fríos.

Tabla 24. Consideraciones para construir con tránsito capas de refuerzo con hormigón, continuación

Factores por Considerar	Objetivos/Expectativas	Consideraciones/Limitaciones
Aserrado	El aserrado de las capas de refuerzo de hormigón es también una operación crítica en comparación con una pavimentación de hormigón más convencional. La sección delgada a menudo aumentará las tensiones rápidamente y por lo tanto requerirá de un aserrado acelerado. Muchas veces la necesidad de un aserrado acelerado es subestimada y las operaciones de aserrado se hacen muy detrás de la pavimentadora. Para responder a esto, el contratista debe estar preparado con el número y tipo adecuado de sierras. En este caso un disponer de un equipo de aserrado de reemplazo es también importante.	El programa de aserrado debe ejecutarse para equilibrar el potencial agrietamiento descontrolado con el potencial desgranamiento excesivo de la junta durante el aserrado. Las capas de refuerzo de hormigón adherido son de hormigón, requieren de las operaciones de aserrado más efectivas para prevenir fallas en las capas de refuerzo. La junta transversal requiere de un corte de toda la profundidad más 13 mm (0,5 in.) sobre la junta existente, el ancho del corte no debe ser menor que la de la grieta transversal existente. Esto permite que los dos pavimentos en forma monolítica (capa de refuerzo y pavimento existente) se contraigan de la misma manera. Para capas de refuerzo sobre asfalto, particularmente donde hay ahuellamiento en el asfalto, la profundidad del aserrado debe incrementarse teniendo en consideración la profundidad extra en el área de la huella.
Cuñas	Proveer cuñas para aumentar el nivel de seguridad como precaución de caídas por el borde.	La colocación de moldes para cuñas puede requerir aserrado.
Consideraciones para la Apertura de Tránsito		
Relaciones Públicas	Cuando la construcción va a afectar a residentes y negocios aledaños, además del tránsito, se debe implementar una campaña de relaciones pública efectiva. Deben desarrollarse e implementarse volantes, una cobertura por los medios y reuniones públicas relacionadas con el programa del proyecto y las razones para los tiempos que tomará. Reuniones previas a la construcción, entre el gobierno y los ciudadanos, con asistencia del contratista, ayudan a mantener al público bien informado y a que el contratista entienda sus preocupaciones.	La construcción debe ceñirse al programa y durante ella, la señalización en los accesos a los negocios es muy importante, junto con una comunicación diaria entre el contratista y los negocios afectados.
Programas	El programa del proyecto debe ser abordable y realístico. El programa afecta la aceptación del público, los métodos del contratista, los pagos e incentivos, la calidad del trabajo y la seguridad. La mayoría de los proyectos de construcción acelerada están utilizando días calendario y días cuando el trabajo no se realiza dirigido a fechas críticas de término donde grandes volúmenes de tránsito se ven afectados. También permite, cuando es necesario, contar los fines de semana y elimina los días laborales cuestionados sobre si el contratista debe o no trabajar.	Son parte de las consideraciones, el equipo y el personal adecuados, las mezclas, los métodos de construcción, el curado y el aserrado. Para el programa de construcción se debe entender el impacto del control y aperturas del tránsito, las etapas, los requerimientos de materiales y los puntos aislados restrictivos.
Método de la Maduración	Los ensayos de madurez son una técnica confiable para estimar in-situ la resistencia y por lo tanto, el momento para la apertura. Los ensayos de madurez son una técnica confiable para un monitoreo continuo del incremento de la resistencia. De la mayor importancia es que los ensayos de madurez permiten que cualquier pavimento se entregue al tránsito tan pronto como alcance el criterio de resistencia. Los conceptos de madurez del hormigón están siendo aplicados en 32 estados.	Un elemento importante en el ensayo de madurez es desarrollar una curva de madurez. Mientras el proyecto avanza, puede ser necesario validar la curva de madurez cuando hay cambios en los constituyentes de la mezcla, fuentes de los materiales, operaciones de mezclado y la razón agua-materiales cemento. También, algunos estados, consideran una validación automática después de un cierto tiempo. La mayoría de los estados que utilizan curvas de madurez establecen criterios de validación que permiten alguna flexibilidad para los cambios en las mezclas sin necesidad de desarrollar una nueva curva de madurez.
Resistencia para la Apertura	Ver la sección "Apertura temprana al tránsito de capas de refuerzo".	Ver la sección "Apertura temprana al tránsito de capas de refuerzo".

APÉNDICE F

PAVIMENTACIÓN SIN LÍNEA GUÍA

En la operación con línea guía, el equipo de pavimentación recibe orientación tanto de planta como de alzado mediante las posiciones y alturas de la línea guía, la que a su vez se encuentra ligada al eje y a secciones transversales del pavimento. En la operación sin línea guía, se compara la cota y posición de la pavimentadora con un modelo computacional predeterminado de la superficie o con un set de secciones transversales electrónicas con los requerimientos finales de la superficie del pavimento, en todo momento y lugar. El computador de la pavimentadora procesa exactamente su posición X, Y y Z y su posición respecto del modelo computacional de la superficie del nuevo pavimento. El computador a bordo, primero ajusta el alineamiento del molde deslizante en relación al camino existente. Luego ajusta las cotas en las cuatro esquinas del equipo para obtener el espesor correcto, el bombeo y la pendiente; ver la Figura 133. El sistema sin línea guía, dirige la pavimentadora para que realice los cambios necesarios para ajustarse a esos valores.

Al igual que con la pavimentación con línea guía, la cuadrilla de terreno puede realizar ajustes en la operación del sistema sin línea guía para mejorar el perfil final de la superficie o hacer ajustes ante situaciones locales. La cuadrilla de pavimentación puede ajustar subiendo, bajando o desplazando horizontalmente la línea guía de manera de ajustarse a las necesidades

locales. Pueden también ajustar manualmente la superficie por pavimentar hacia arriba o abajo, en la pavimentadora. Para cualquier disputa sobre el producto final, los puntos de referencia para la pavimentación, localizados a lo largo de la ruta a determinadas distancias (normalmente entre 3,6 y 7,5 m (12 a 25 ft)) sirven como referencia. Todos los cambios para operar la pavimentadora sin línea guía, se realizan desde una pantalla táctil en la pavimentadora que permite subir o bajar cualquiera de las cuatro esquinas del equipo. Los puntos de referencia para la operación sin línea guía se localizan a lo largo de la ruta distanciados entre 75 y 150 m (250-500 ft), dependiendo del sistema.

En operaciones con línea guía, normalmente las cotas de la base y de la superficie del pavimento se controlan mediante una cuerda tensada entre las dos líneas guía; las alturas se miden entre la cuerda y la superficie en cuestión. En el caso de operaciones sin línea guía, se utiliza una unidad móvil (localizador GPS y un computador manual) para comparar la ubicación de puntos de cualquier superficie dentro del área modelada, ya sea al frente o detrás de la pavimentadora. El equipo móvil debe mantenerse en contacto con una estación total, un sistema laser o una unidad de posicionamiento GPS.

Requerimientos de Control Vertical y Limitaciones del Sistema

Un control estricto tanto vertical como horizontal es esencial tanto en la pavimentación con línea guía como sin ella. El control vertical debe alcanzar una precisión de 1 mm (0,03 ft) para tener una superficie aceptable para pagar los incentivos en la mayoría de los estados. Para ajustarse a los criterios del perfil longitudinal, se recomienda que la longitud mínima de las curvas verticales sea de 45 m (150 ft) y la deseable, mayor que 100 m (350 ft).

Para obtener un perfil de las condiciones deseadas, debe coordinarse la sensibilidad del sensor del sistema hidráulico de la pavimentadora con su respuesta al impulso eléctrico. En pavimentadoras de molde deslizante antiguas podría ser necesario modernizar el sistema hidráulico para que los desplazamientos verticales sean suaves durante la operación de pavimentación.

En el caso de cualquier sistema que se basa en el control horizontal mediante GPS, es importante tener comunicación constante entre el captador en terreno y los satélites. La pérdida de la señal puede hacer que el equipo se detenga o lo mande en una dirección constante y que la pendiente de la rasante la lleve a cruzar bajo un puente, un árbol u otro elemento que esté obstruyendo la recepción del satélite.

La operación de estaciones totales puede verse afectada por las siguientes condiciones ambientales:

- Fuerte vibración del instrumento por el viento.
- El sol muy cerca del horizonte en primavera y otoño interfiere con la línea de visión.
- La posición del tubo de escape de la pavimentadora en relación a los prismas.
- La localización del sistema de iluminación nocturna respecto a la pavimentadora y los instrumentos.
- La neblina puede limitar o detener la pavimentación hasta que se restablezca una comunicación clara entre los prismas y los instrumentos.

Cada uno de los sistemas tiene las capacidades para que puedan utilizarse en los diferentes elementos que componen un tren de pavimentación, desde bulldozers, motoniveladoras y niveladoras en la construcción de la subrasante y base, hasta el distribuidor de cadena y la pavimentadora

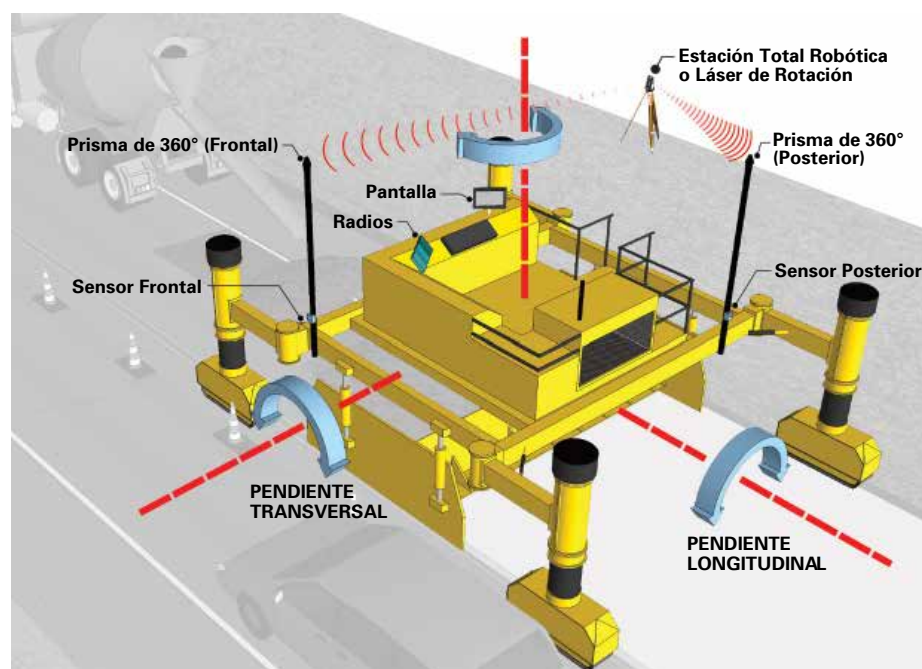


Figura 133. Controles de una pavimentadora

de molde deslizante. El número de unidades de control necesarias, varía con el largo del tren pavimentador. El equipo para dar textura/curado, que va detrás de la pavimentadora, normalmente se controla mecánicamente con sensores a los costados y sobre el producto terminado.

Proceso de Tres Pasos para la Pavimentación sin Línea Guía

La tecnología de pavimentación sin línea guía implica un proceso de tres pasos. El primer paso consiste en recopilar la información topográfica de la superficie existente, de manera de desarrollar un mapa de la superficie del camino; ver la Figura 134. El paso dos consiste del diseño y creación del modelo computacional 3-D, utilizando la superficie existente, el perfil tipo y las secciones

transversales de proyecto. El tercer paso y final, es construir el pavimento diseñado, transfiriendo el modelo computacional al equipo pavimentador, utilizando un sistema de guía X,Y,Z, sin contacto.

Para mapear la superficie del camino existente, se puede utilizar un vehículo todo terreno, equipado con un perfilómetro laser (coordenadas Z) o un captador GPS (coordenadas X, Y); ver la Figura 135. El vehículo utilitario circula sobre el pavimento, entre 8 y 24 km/h (5 a 15 mph), grabando el perfil existente a intervalos entre 7,5 a 15 m (25 a 50 ft) a lo largo de los bordes, huella de los vehículos, puntos en los cuartos de la pista y por el eje. Debe hacerse notar que la precisión en vertical de un GPS no es mayor que 25 mm (1 in.), de manera que para obtener una precisión adecuada de la coordenada Z, el vehículo todo terreno debe dotarse de un sistema laser o con un software correctivo. Una alternativa al vehículo todo terreno es levantar el pavimento existente con una estación total.

La información recopilada se utiliza para producir el mapa 3-D de la superficie del pavimento por medio de software CADD disponible (diseño y dibujo asistido por computador). La información de ambas unidades se traspasa y almacena en un computador central.

El sistema de referencia terrestre debe tener puntos de coordenadas X, Y, Z, conocidas, espaciadas alternativamente a ambos costados o a un solo costado del camino dependiendo del sistema que se utilice. El valor de Z debe obtenerse mediante una nivelación electrónica con el método de “nivelación con los tres hilos” (three wire leveling) inmediatamente antes de iniciar la construcción para verificar los supuestos de diseño adoptados para la capa de refuerzo y asegurarse que el producto final se ajustará a los requerimientos del proyectista y del contratista. El método de administración incluye traducir la información a un proyecto ligado a un sistema de coordenadas.

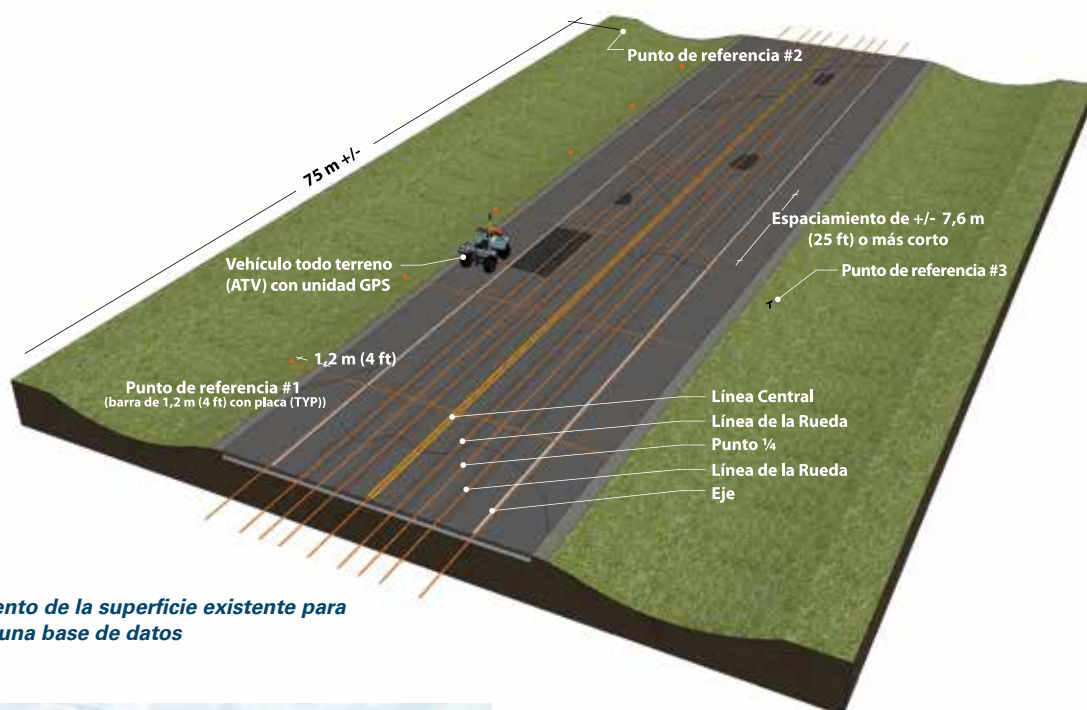


Figura 134. Levantamiento de la superficie existente para desarrollar y construir una base de datos



Figura 135. Vehículo todo terreno con GPS y perfilómetro laser

Sistemas Disponibles de Control sin Línea Guía.

En la actualidad existen tres sistemas para ya sea parcial o íntegramente utilizar la tecnología de pavimentación sin línea guía. Cada uno de los sistemas requiere de entrenamiento en el terreno y apoyo, que deben solicitarse al contratista.

Sistema N° 1

El primero de los sistemas, que se muestra en las Figuras 136-138, utiliza estaciones totales para topografía, rayos laser y comunicaciones por radio, para controlar el equipo. En la Figura 136 se muestran dos estaciones totales. Los prismas instalados en los dos mástiles que se muestran en la pavimentadora de la Figura 137, son los receptores de la transmisión de las dos estaciones totales instaladas en el talud del camino, según la misma figura. La pantalla en la Figura 138,

presenta los controles con que cuenta el contratista para monitorear la operación o hacer cambios manuales. Se basa en un sistema de referencia de coordenadas X,Y,Z, previamente instalado en la carretera por la agencia de carreteras a intervalos de 300 m; Ver la Figura 137. Las coordenadas X e Y pueden determinarse con equipo de levantamiento GPS, en tanto que Z debe establecerse ya sea mediante operaciones digitales o el sistema de nivelación de los tres hilos, de manera de contar con una precisión de 3 a 9 mm (0,01 a 0,03 ft). El contratista debe ejecutar los levantamientos que se requieren para disponer; de puntos de referencia intermedios, levantamiento del pavimento existente, definición de una superficie definitiva con perfiles del eje y bordes del pavimento y calcular las cantidades y espesores del hormigón, para que se ajuste a los requerimientos del propietario.

En esta operación, el equipo pavimentador se controla con las dos estaciones totales que pueden colocarse en un sólo lado o en lados opuestos de la carretera, para que se comuniquen con los equipos del tren pavimentador. Cada

estación total se encuentra ligada a tres puntos de referencia conocidos y previamente establecidos (distanciados a aproximadamente unos 75 m (250 ft) si están dentro del sistema de referencia primario o distanciados unos 300 m (1.000 ft) si son puntos de referencia del departamento de carreteras. Los laser de las estaciones totales localizan un prisma en el equipo pavimentador y con una frecuencia de radio, propia de cada estación total, comunican la posición relativa de cada una al modelo computacional del computador de la pavimentadora. El computador a bordo de la pavimentadora contiene el modelo de la superficie del pavimento, instruyendo al sistema de pavimentación de los cambios de dirección y de cota. Un equipo similar puede instalarse en un distribuidor, sólo para el control en horizontal o en conjunto con el control del alzado. Los otros equipos del tren pavimentador, tales como los que dan la textura y el curado, normalmente se controlan por medios mecánicos.



Figura 136. Estación total robótica



Figura 138. Controles por computación en una pavimentadora

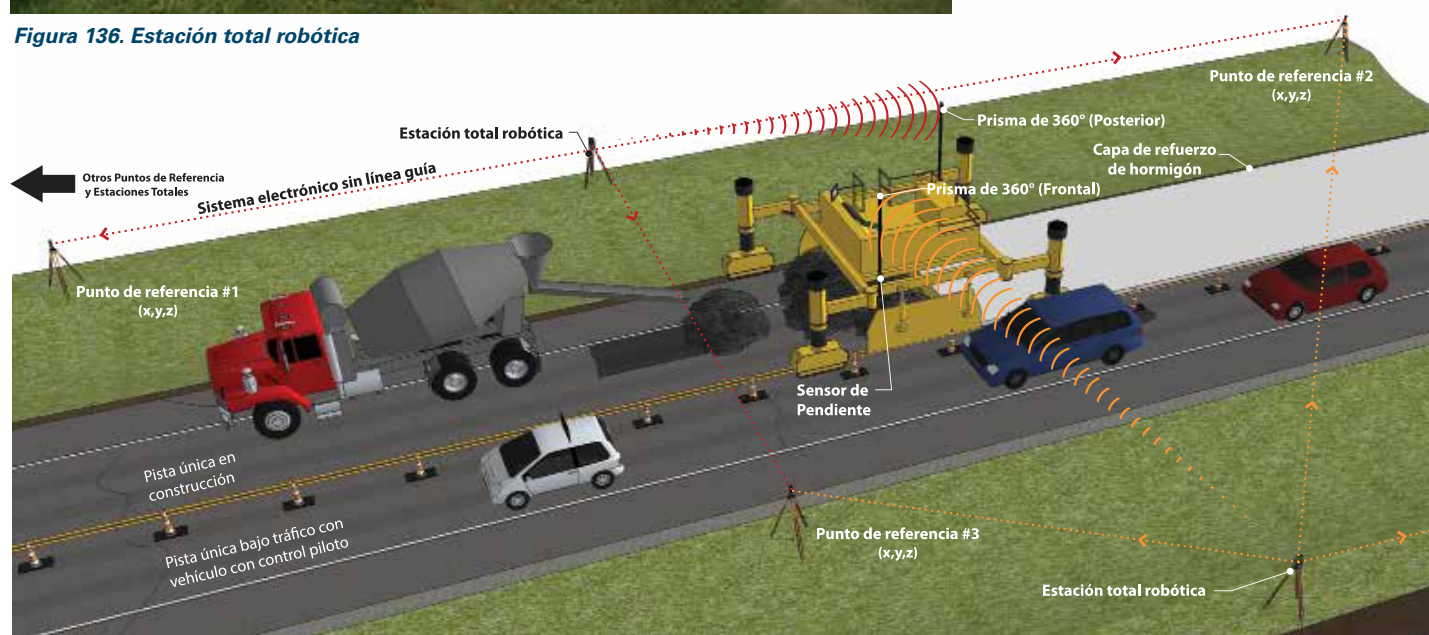


Figura 137. Sistema 1- Operación de pavimentación sin línea guía utilizando estaciones totales y puntos de referencia

Sistema N° 2

Un segundo sistema sin línea guía, mostrado en las Figuras 139 – 141, utiliza comunicaciones GPS y láser para entregar instrucciones tanto para desplazamientos horizontales como verticales al equipo pavimentador. Se basa en un sistema inicial de referencia dentro del control primario o en los puntos de referencia cada 300 m (1.000 ft) del departamento de carreteras, con coordenadas X, Y, Z. Las coordenadas X e Y pueden determinarse con equipos topográficos GPS, pero Z debe establecerse mediante operaciones digitales o por el sistema de nivelación de los tres hilos, para lograr una precisión de 3 a 9 mm (0,01 a 0,03 ft). El contratista o el propietario deben mapear la superficie del pavimento existente, definir una superficie proyectada mediante perfiles del eje y bordes del pavimento y calcular las cantidades y espesores del hormigón, para que se ajuste a los requerimientos del propietario.



Figura 139. Laser rotatorio sobre un punto de referencia



Figura 140. Sistema 2, equipo pavimentador

En esta operación el equipo pavimentador se controla por una unidad láser rotatorio, instalado en cualquier costado de la carretera, que se comunica con el tren pavimentador; ver la Figura 139. El equipo se auto localiza con un punto de referencia conocido, previamente instalado (distanciados aproximadamente entre 150 a 180 m (500 a 600 ft) dentro del control primario o a los puntos de referencia cada 300 m (1.000 ft) del departamento de carreteras. La altura del láser (coordenada Z) se establece mediante una vara para medir la distancia vertical entre el láser y el punto en el terreno. El láser se auto nivela y las patas del trípode se ajustan verticalmente para que la punta de la vara vertical toque el punto en el terreno y la estructura del láser. El láser rotatorio emite una banda de 10 grados vertical hacia la unidad en la pavimentadora.

Los receptores de la pavimentadora son los dos elementos como mástiles que se muestran en la Figura 141. La parte superior del mástil es un receptor GPS (coordenadas X, Y) que se utiliza para comunicar información para guiar horizontalmente al computador a bordo de la pavimentadora y al modelo de la superficie. Bajo el receptor GPS, hay un receptor corrector de 1 mm que relaciona al computador con la pavimentadora y/o localización del punto de referencia. El computador a bordo de la pavimentadora contiene el modelo de la superficie del pavimento e instruye de los cambios de dirección y elevación de la pavimentadora; ver la Figura 141. Este mismo láser rotatorio puede utilizarse para guiar el distribuidor del hormigón, sólo con el receptor GPS y el computador a bordo con el modelo de la superficie instalado. Los otros equipos del tren pavimentador normalmente se controlan por medios mecánicos.

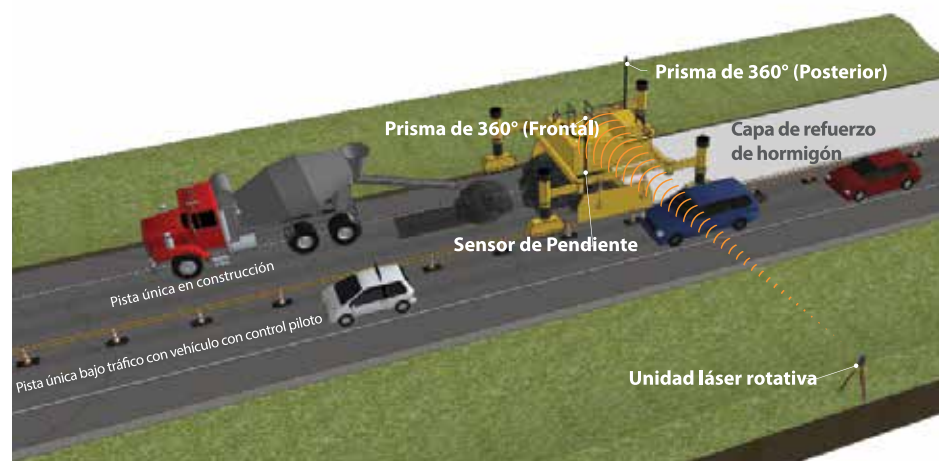


Figura 141. Sistema 2 – Pavimentación sin línea guía utilizando GPS, un laser rotatorio y puntos de referencia

Sistema N° 3

El tercer sistema, mostrado en las Figuras 142 – 144, es una nueva tecnología sin línea guía que es una mezcla de los elementos que actualmente se utilizan en los dos primeros sistemas, a los que se les han agregado elementos que pueden reducir el tiempo de los levantamientos, antes y durante la pavimentación. Se basa en utilizar GPS para guiar el tren pavimentador y un programa computacional que puede reaccionar lo suficientemente rápido a la señal altimétrica del GPS, para hacer correcciones en tiempo real a la pavimentadora de molde deslizante o el distribuidor de hormigón, proporcionando información altimétrica con una precisión de 3 mm (0,01 ft) lo que permite contar con información para ajustar los perfiles a las necesidades de la agencia de carreteras. El sistema GPS requiere de una estación base en el terreno con un radio de influencia de 3,2+ km (2+ mi) y coordenadas X, Y, Z conocidas, para el inicio, final y puntos en los tercios puntos para un proyecto típico de 8 km (5 mi) de longitud. La posición de la estación base también puede ligarse a otros punto de referencia topográficos localizados fuera del corredor del pavimento. La pavimentadora de molde deslizante y el distribuidor están equipados con un mástil con GPS y sensores de comunicación bidireccionales para ajustar los movimientos de la pavimentadora a la pendiente. El operador puede observar la operación de la pavimentadora desde la pantalla de un computador a bordo y realizar ajustes manualmente.

Una de las ventajas de este sistema es que permite utilizar un vehículo todo terreno equipado con una estación receptora base GPS y software que contenga el diseño del perfil por el eje y secciones

transversales; ver Figura 142. Desplazando el vehículo todo terreno a lo largo de un determinado y conocido sector de la carretera (8 a 24 km/h, 5 a 15 mph), el GPS en el vehículo todo terreno determina las cotas de la superficie existente. El software del vehículo, compara luego las cotas de la superficie con el perfil de diseño en determinados puntos para crear un modelo 3-D. Este modelo es luego provisto a la pavimentadora sin línea guía. Esta particular visión del vehículo contiene tanto el equipo de recolección de datos como la estación independiente receptora base GPS que actúa como un punto de referencia para la recolección de información y se comunica con el tren pavimentador. El software se alimenta con la información del perfil de la superficie existente, el perfil de diseño del eje y una sección transversal tipo, el que determina secciones transversales en estaciones especificadas a lo largo de la ruta.

La salida del software es un conjunto de secciones transversales del pavimento por estación más que un modelo de la superficie como ocurre con los dos primeros sistemas. Interpola los cambios entre estaciones, como los otros sistemas lo hacen entre puntos del modelo. El software se basa en los conceptos utilizados por los antiguos geodímetros y estaciones totales, pero depende en gran medida en la manipulación de las señales de los GPS mediante modelos matemáticos para lograr la precisión en alzado de 3 mm (0,01 ft). El equipo de control de la pavimentadora, que se muestra (Figura 143) es similar al que se utiliza en los otros sistemas. Se debe tener presente que este equipo no requiere de comunicación ya sea vía laser o radio entre puntos de referencia y el equipo pavimentador – sólo comunicaciones GPS.



Figura 142. Estación base GPS, móvil o estacionaria



Figura 143. Sistema de control GPS de una pavimentadora

Criterios para Seleccionar Sistemas sin Línea Guía

El contratista debe decidir sobre el tipo de sistema de pavimentación sin línea guía por utilizar. Esta decisión debe basarse en varios factores, tales como los siguientes:

- Controles de terreno provistos por el propietario. La agencia de carreteras puede no tener los recursos o el deseo de instalar puntos de referencia para la pavimentación. Puede que solicite al contratista desarrollar los controles en alzado y planta para la pavimentación.
- Accesibilidad al lugar de la construcción. La agencia de carreteras puede que no autorice colocar líneas guía en el eje o bordes externos debido a las necesidades del control del tránsito. Cuando se utilizan líneas guía en áreas de trabajo estrechas, puede verse limitado el acceso del público y de los equipos de construcción.
- Precisión y reiteración de especificaciones del equipo. El contratista debe sopesar la capacidad del equipo sin línea guía para ajustarse a las exigencias del perfil de proyecto, precisión y repetición de las especificaciones para la calidad del producto que la agencia requiere.

- Las metas de la agencia para el perfil y el rendimiento del hormigón ¿Puede el sistema proporcionar a la agencia y al contratista perfiles que se ajusten o superen las metas de la agencia y proporcionar información precisa sobre el rendimiento del hormigón?
- Opciones del contratista para cumplir con las metas del propietario. ¿Puede el sistema proporcionar información para controlar el equipo de modo que permita una construcción por etapas de tramos del pavimento y cumplir con las metas generales para el producto final en términos de construcción y del perfil?
- Buscar, ensayar y demostrar el rendimiento. El contratista debe probar el equipo del tren pavimentador por unos 150 a 300 m o más (500 a 1.000 ft), sin colocar hormigón. Los centros de referencia para pavimentar y las líneas guía, deben también instalarse para asegurar a todos que el sistema se encuentra trabajando en forma adecuada.
- Nivel de entrenamiento y apoyo disponible. El contratista debe conocer la cantidad de entrenamiento requerido para operar el sistema y cuanto proporcionará antes de iniciar la pavimentación.

El contratista debe mantener acceso a un sistema de respuestas rápidas durante la temporada de pavimentación que minimice las detenciones del trabajo debidas a problemas no previstos del sistema.

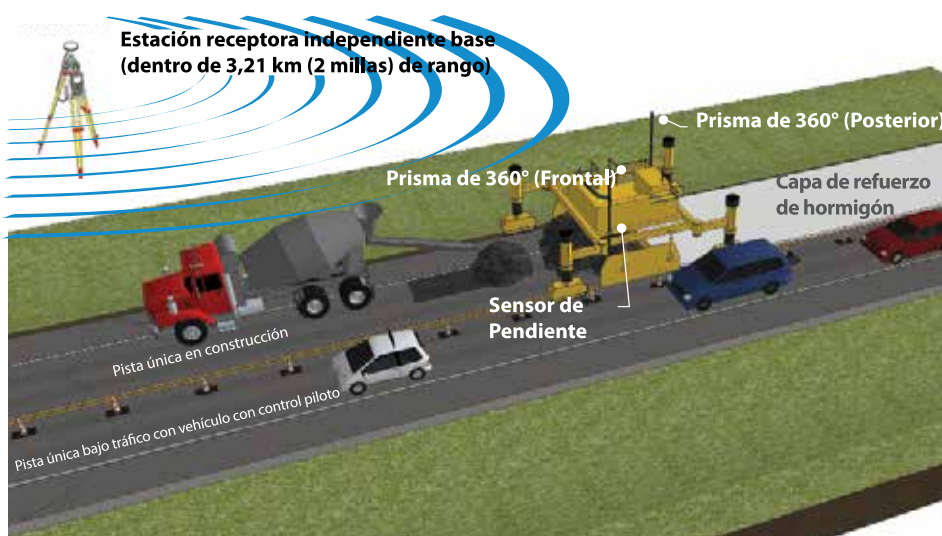


Figura 144. Sistema 3 – Pavimentación sin línea guía utilizando GPS

APÉNDICE G

CONSIDERACIONES PARA DESARROLLAR UN PROYECTO Y LAS ESPECIFICACIONES SUPLEMENTARIAS

Cada jurisdicción tiene su propio proceso para desarrollar un proyecto y las especificaciones para pavimentos de hormigón. Las siguientes pautas pueden utilizarse para desarrollar proyectos de capas de refuerzo, especificaciones suplementarias y disposiciones especiales. Se pueden aplicar tanto en proyectos con capas de refuerzo de hormigón adheridas como no adheridas a pavimentos existentes de hormigón, asfalto y compuestos.

Las pautas son específicas solamente para proyectos de capas de refuerzo con hormigón y no representan todos los aspectos necesarios por considerar en un proyecto de pavimentación con hormigón.

General

Consideraciones a Presentar al Contratista

- Método de la madurez para determinar cuándo entregar al tránsito.
- Dosificación de la mezcla para pavimentar de cada fuente de agregados por utilizar para revisión y aprobación por el ingeniero.
- Cuando se le solicite, deberá presentar antes de comenzar la construcción, un plan con la secuencia y programa de la construcción. Si los planes indican una secuencia/programa específico, el contratista debe verificar el cumplimiento con el programa o someter un plan alternativo para la aprobación del ingeniero. Para proyectos de capas de refuerzo que requieren de una construcción expedita y un programa para la apertura, se recomienda un plan detallado con las etapas y sus secuencias.

Programación y Conflictos

- Secuencia constructiva: se recomienda realizar una reunión antes de iniciar la construcción para analizar aspectos críticos tales como las etapas de construcción, resistencia para la apertura, momento para colocar el hormigón y la programación general.
- Normalmente, el programa para una capa de refuerzo con hormigón es más corto que la de un proyecto de pavimentación estándar.
- Evitar conflictos: presentar los posibles lugares conflictivos, antes de iniciar la construcción. Verificar las cotas y localización de cada uno y comprobar el espacio disponible para la construcción propuesta.

- Completar los elementos del trabajo que pudieran afectar el alineamiento y la rasante, antes de construir, salvo que se encuentre indicado en los planos.
- Plan de control del tránsito: el contratista debe desarrollar un plan para controlar el tránsito donde se requiera, basado en el *Manual of Uniform Traffic Control Devices* (MUTCD) (FHWA 2003b), el que debe ser aprobado por el ingeniero.

Limitaciones a las Operaciones

Además de las limitaciones a la operación de colocación del hormigón para pavimentos estándar, son aplicables las siguientes limitaciones para capas de refuerzo con hormigón:

- Con temperaturas del aire bajo 13°C (55°F), la apertura del pavimento debe establecerse con instrumentos que midan in situ la resistencia, tales como el método de la madurez (ASTM C-1074). A la colocación de hormigón en tiempo frío, deben aplicarse las restricciones por temperatura del aire de la jurisdicción.
- El ingeniero pudiera imponer una restricción a las cargas del equipo de construcción en los bordes de las losas terminadas hasta que hubieran alcanzado la resistencia para la apertura.
- Las capas de refuerzo con hormigón adherido deben colocarse de acuerdo con el programa de la jurisdicción local, basada en las temperaturas según estación.
- Las capas de refuerzo con hormigón no adherido no deben colocarse cuando la superficie del asfalto u hormigón excede la máxima temperatura permitida por el ingeniero. Normalmente, esta temperatura se encuentra alrededor de los 49°C (120°F). Se puede utilizar agua para enfriar el pavimento delante de la pavimentadora. La superficie debe encontrarse seca y sin agua apozada antes de pavimentar.

Método de Medición y Bases de Pago

Las cantidades de las varias partidas de trabajo involucradas en la construcción de capas de refuerzo con hormigón deben ser medidas por el ingeniero de acuerdo con las siguientes provisiones:

- La preparación de la superficie puede incluir fresado, tratamiento con aire, agua y arena – o granallado; ellas deben medirse y pagarse

en metros cuadrados (yardas cuadradas). El barrido y limpieza con aire comprimido es una labor de preparación de la superficie, pero muy a menudo se considera como parte de la pavimentación.

- Solamente la provisión de la capa de refuerzo con hormigón: la cantidad de hormigón provisto debe medirse en metros cúbicos (yardas cúbicas). Esta cantidad debe incluir el hormigón colocado en sectores ensanchados y en parches de profundidad parcial. Debe pagarse al contratista por el precio unitario del contrato por metro cúbico (yarda cúbica). Este pago debe constituir la compensación total por la provisión de todos los materiales y por la dosificación, mezclado y provisión del hormigón a la pavimentadora.
- Solo colocación de la capa de refuerzo con hormigón: solamente la cantidad de capa de refuerzo con hormigón colocada, debe medirse y pagarse por metro cuadrado (yarda cuadrada). Será la cantidad que muestran los documentos del contrato. El área donde se colocará la capa de refuerzo puede determinarse por la longitud y ancho del pavimento, incluyendo los sectores ensanchados. El pago debe ser la compensación total por la mano de obra y equipos necesarios para colocar, terminaciones, dar textura, proteger y curar el pavimento, incluyendo el aserrado y sellado de las juntas (si se solicita) y la provisión e instalación de barras de refuerzos (si se solicita).
- Capa separadora: el material de la capa separadora, sea una mezcla asfáltica en caliente u otro aprobado, debe medirse y pagarse por superficie o por peso.
- Si los documentos del contrato especifican un curado acelerado, tales como curado húmedo o mantas, el área curada debe medirse y pagarse al contratista por metro cuadrado (yarda cuadrada).

Materiales

- El coeficiente de expansión térmica de la capa de refuerzo de hormigón debe ser similar a la del pavimento existente. Normalmente esto se realiza utilizando agregados similares en la mezcla del hormigón. Si ello no fuera posible, se debe utilizar en la capa de refuerzo un agregado grueso que tenga un coeficiente de expansión térmica más bajo que el pavimento existente.
- El tamaño máximo del agregado grueso debe ser igual o menor que un tercio del espesor de la capa de refuerzo.

- Referirse a los requerimientos del contrato para los parámetros de la mezcla de hormigón.

Capa Separadora para Capas de Refuerzo No Adheridas

- Si como material para la capa separadora se utiliza asfalto, debe diseñarse para evitar el desprendimiento del asfalto por la presión de poros provocada por el tránsito pesado. Debe darse especial consideración cuando se prevean pavimentos para altas velocidades y tránsito pesado. Se sabe que estas variables contribuyen al desprendimiento del asfalto.
- Telas: la tecnología para utilizar telas geotextiles como capa separadora está rápidamente evolucionando. Sin embargo, debe tenerse cuidado al elegir la tela geotextil, debido a que no todos los productos se comportan igualmente bien en esta aplicación.

Construcción

Reparaciones Previas

- Las reparaciones previas incluyen: estabilización y nivelación de losas, reparaciones de espesor parcial, reparación de drenes de borde, restauración del traspaso de cargas y fresado. Si fresar es parte de la reparación, debe completarse antes que otras reparaciones.
- Los materiales removidos en la operación de preparación puede almacenarse temporalmente en las bermas, salvo que esté especificado de otra forma en los documentos del contrato. Los materiales deben retirarse antes de la remoción de la señalización de faena.
- Los equipos para preparar la superficie deben estar sujetos a la aprobación del ingeniero. Los equipos de fresado, aire, agua, esmerilado con arena y granallado deben ser motorizados y ser capaces de preparar y limpiar la superficie existente de acuerdo con los documentos del contrato.

Capas de Refuerzo con Hormigón Adherido de Pavimentos de Hormigón

- La superficie del pavimento existente debe prepararse ya sea tratándolo con granalla, esmerilando con arena y/o fresado. Si se fresa, luego debe seguir un tratamiento mediante granallado o con agua a alta presión, de manera de remover todo hormigón dañado, producto del fresado (que se evidencia por las micro grietas).
- La preparación debe ser la adecuada para remover de la superficie y bordes en los que se apoyará el nuevo hormigón, toda suciedad, aceite y otros materiales extraños, así como lechada de cemento o material suelto.
- Limpiar la superficie con aire a presión para

remover restos sueltos y prevenir que el área limpiada vuelva a ensuciarse. La superficie debe quedar libre de aceite u otros fluidos de automóviles. La superficie del pavimento no se debe mojar o humedecer o tener agua apozada al momento de colocar el hormigón del refuerzo.

Capas de Refuerzo con Hormigón Adheridas al Asfalto

- Una forma de determinar cuándo es necesario fresar es medir las distorsiones de la superficie del asfalto; se necesita si tienen 50 mm (2 in) o más. En ese caso, es importante dejar a lo menos 75 a 100 mm (3 a 4 in) de asfalto, para colocar la capa de refuerzo. El fresado debe remover el asfalto hasta el plano de liga (con otra capa) más cercano.
- Después de fresar, debe inspeccionarse la superficie para definir cualquier reparación previa necesaria. La operación de fresado puede dejar expuesta grietas térmicas anchas. Si las grietas tienen un ancho mayor que el tamaño máximo del agregado, deben rellenarse con una lechada de cenizas volantes, arena u otro material apropiado.
- Siguiendo al fresado, deben completarse las reparaciones de espesor parcial y total, con hormigón, para asegurarse que se adherirán a la capa de refuerzo.
- Todos los parches de hormigón, deben aislarse del resto del refuerzo utilizando patrones normales de juntas.

Capas de Refuerzo con Hormigón No Adheridas al Hormigón

- Para obtener un soporte uniforme para la capa de refuerzo, las reparaciones de todo el espesor deben ejecutarse con hormigón.
- La superficie del hormigón debe limpiarse antes de colocar la capa separadora. Si se requiere una capa niveladora, debe realizarse con la misma capa de refuerzo de hormigón y no con la capa separadora de asfalto.

Capas de Refuerzo con Hormigón No Adheridas al Asfalto

Todas las reparaciones de espesor parcial y total deben realizarse con asfalto. Los parches de hormigón del pavimento asfáltico existente deben aislarse para prevenir que se adhieran a la capa de refuerzo con hormigón. Antes de colocar la capa de refuerzo, deberá aplicarse al parche un agente anti adherencia, una tela u otro material que impida la adherencia.

Limpieza de la Superficie

Capas de Refuerzo con Hormigón Adheridas al Hormigón o Asfalto

- La superficie del pavimento existente debe limpiarse mediante barrido, seguido por aire comprimido delante de la

pavimentadora. La pavimentación debe comenzar poco tiempo después de la limpieza para minimizar la contaminación.

- Debe limpiarse con aire a presión solamente cuando los contaminantes de la superficie resulten difíciles de remover o cuando exista barro u otro desperdicio. Si se limpia a presión, no se debe permitir que exista agua apozada antes de pavimentar. La pavimentación debe comenzar poco tiempo después de limpiar para minimizar la contaminación.

Capas de Refuerzo No Adherido al Hormigón o Asfalto

La limpieza de la superficie asfáltica existente se logra mediante barrido con una barredora mecánica o con aire a presión. La pavimentación debe comenzar poco tiempo después de limpiar para minimizar la contaminación.

Colocación del Hormigón

Control de la Rasante

- El ingeniero revisará y aprobará el sistema de control. Debe proporcionarse también información detallando del espesor del pavimento en los varios puntos de referencia topográfica y las cantidades de materiales.
- La pavimentadora de hormigón debe instalarse para pavimentar una sola pista, salvo que sea capaz de ajustar los bombeos de cada una de las pistas cuando coloca hormigón para varias.
- Cuando corresponda, el control de la rasante para las operaciones de pavimentación debe estar referenciado fuera de la superficie fresada, salvo que el equipo fresador se controle mediante una línea previamente establecida.

Colocación de la Capa de Refuerzo

- El ingeniero puede autorizar rociar con agua la superficie para ayudar a enfriar el pavimento en caso de condiciones extremadamente calurosas y cuando la superficie del pavimento existente alcanza o excede de 49°C (120°F). La superficie del pavimento no se deberá humedecer o mojar antes de la colocación de la capa de refuerzo.
- Para colocar, distribuir, consolidar y terminar la capa de hormigón no adherido, se deben seguir los procedimientos convencionales para pavimentos de hormigón. Cuando se especifican barras de traspaso de cargas, el anclado de los canastillos con las barras al pavimento subyacente, debe realizarse de acuerdo a los requerimientos de la jurisdicción. Alternativamente, puede utilizarse equipos que dispongan de un sistema para insertar las barras.
- La colocación debe realizarse de acuerdo con lo que señale un plan de control de la calidad, el que debe tener en consideración

las temperaturas del aire y del pavimento. En refuerzos con hormigón adherido al hormigón, no es conveniente que mientras la capa de refuerzo se está contrayendo debido a la retracción, el hormigón subyacente existente se esté expandiendo debido al calor del día. El mejor momento para colocar una capa de refuerzo adherido sobre un hormigón es cuando el diferencial de temperaturas entre el pavimento existente y la nueva capa de refuerzo es mínimo.

Curado con Membrana Líquida

- Aplicar un compuesto de curado inmediatamente después que la humedad superficial ha desaparecido y típicamente no después de 30 minutos de la terminación/textura. Aplicar el compuesto de curado líquido mediante un riego fino que forme una película continua y uniforme sobre las superficies horizontales y bordes del pavimento, soleras y respaldos de soleras.
- Utilizar un compuesto de curado líquido pigmentado.
- En capas de refuerzo de 150 mm (6 in.) o menos espesor, aplicar el compuesto de curado con 2 veces la tasa recomendada por el fabricante para pavimentos de hormigón estándar. No diluir el compuesto.
- Para capas de refuerzo de espesores mayores de 150 mm (6 in.), el compuesto de curado debe aplicarse con una tasa 1,5 veces la recomendada por el fabricante para pavimentos de hormigón estándar.
- Cuando el compuesto de curado con pigmentos se utiliza correctamente, la superficie del pavimento de hormigón debe aparecer completamente del color del pigmento de modo que no sea visible el gris.
- Si se utilizan moldes, aplicar a los bordes del pavimento y respaldo de las soleras, dentro de los siguientes 30 minutos después de retirado los moldes.
- Proteger el pavimento de hormigón durante el tiempo frío por a lo menos 5 días o protegerlo por un mínimo de al menos 24 horas y hasta que la resistencia a la flexotracción alcance 2,3 MPa (340 psi) para capas de refuerzo con hormigón no adherido, 2,9 a 3,3 MPa (420 a 480 psi) para capas de refuerzo con hormigón adherido al asfalto y de 3,7 MPa (540 psi) para capas de refuerzo con hormigón adherido a hormigón.

Aserrado de Juntas

General

- El contratista debe entregar un programa de aserrado de juntas que demuestre como se cortarán todas las juntas dentro de la estrecha ventana de tiempo disponible para ello. Los detalles deberán incluir el número de sierras y la tasa de aserrado esperada, así como los momentos estimados previsto para comenzar y terminar. Todo el aserrado debe terminarse dentro de la primera mitad del plazo que da la ventana de tiempo.

El contratista debe tener especial cuidado al colocar, consolidar y terminar el hormigón en y alrededor de las juntas.

- Cuando los documentos del contrato lo especifiquen, deberá utilizarse aserrado húmedo para controlar el polvo.

Ancho de las Juntas

- El espesor convencional de todas las hojas para aserrar es normalmente de 5 mm (0,19 in.) $\pm$ 1,5 mm (0,06 in.).
- Las hojas de las sierras para corte temprano, normalmente tienen un espesor de 3 mm (0,13 in.) $\pm$ 1,5 mm (0,06 in.); recomendándose una profundidad de corte del mínimo H/4.

Sellante para Juntas

- El sellante para las juntas debe ajustarse a los requerimientos de la jurisdicción. Cuando se utilizan cortes delgados (3 mm; 0,13 in.) y se requiere sellar, seguir los requerimientos jurisdiccionales para un sellante de bajo módulo colocado en caliente.

Aserrado a Tiempo

- Es necesario aserrar a tiempo para prevenir un agrietamiento aleatorio debido a la retracción. Esto es especialmente importante para capas de refuerzo de menos de 150 mm (6 in.) de espesor.

Capas de Refuerzo Adheridas al Hormigón

- Antes de construir una capa de refuerzo con hormigón adherido, debe identificarse la posición exacta de cada junta de contracción y expansión en el pavimento existente, incluyendo las creadas por reparaciones de todo el espesor y señalarlas a ambos costados del pavimento mediante un método confiable.

- Las juntas transversales de la capa de refuerzo deberán construirse directamente sobre las juntas transversales existentes.
- Para prevenir despegues debido a movimientos, el ancho de las juntas transversales debe ser igual o mayor que el ancho de la grieta subyacente al fondo de las juntas transversales existentes.
- Aserrar todas las juntas transversales con la profundidad total de la capa de refuerzo más 13 mm (0,50 in.).
- Aserrar la junta longitudinal hasta H/2.

Capas de Refuerzo Adheridas al Asfalto

- Aserrar las juntas transversales a una profundidad mínima de H/4.
- Aserrar las juntas longitudinales a una profundidad de H/3.
- Las sierras livianas para ingreso temprano pueden requerirse salvo que esté especificado de otra manera en los documentos del contrato.
- Cuando se utilizan anchos de aserrado de 3,3 mm (0,13 in.) y se requiere sellar, seguir los requerimientos de la jurisdicción para sellante de vaciado en caliente de bajo módulo.

Capas de Refuerzo No Adheridas

- Aserrar las juntas transversales a una profundidad de H/4 (mínimo) o H/3 (máximo). Para corte temprano, la profundidad del aserrado debe ser de 30 mm (1,25 in.) o más.
- Aserrar todas las juntas longitudinales hasta una profundidad igual a H/3.
- El sellado debe ajustarse a los requerimientos de la jurisdicción.
- La profundidad del aserrado de capas de refuerzo a pavimentos asfálticos, pueden requerir de ajustes en zonas donde el asfalto se encuentra ahuellado, de manera de mantener la profundidad de corte requerida, igual a H/4 o H/3.
- Cuando se utilizan juntas de 3 mm (0,13 in.) de ancho y se requiere sellarlas, ajustarse a las especificaciones de la jurisdicción utilizando un sellante de bajo módulo colocado en caliente.

APÉNDICE H

REUNIONES PROPIETARIO-CONTRATISTA SUGERIDAS PARA ASEGURAR UN PRODUCTO DE CALIDAD

La siguiente información se entrega como punto de partida o guía para asegurar el comportamiento adecuado de las capas de refuerzo con hormigón. Se identifican los elementos clave que requieren tanto el propietario como por el contratista para cada proyecto. Este es un esquema para alcanzar el éxito sin ser detallado en su naturaleza de manera que se pueden agregar o eliminar partidas de acuerdo con las prácticas habituales de un determinado estado o gobierno local.

Para cumplir con los objetivos de la construcción de un proyecto de capas de refuerzo y definir en detalle algunos aspectos, es necesario que la agencia contratante y el (los) contratista(s) sostengan reuniones, durante los periodos de diseño (pre licitación) y de construcción (pre colocación/pre construcción). El propósito de las reuniones de pre licitación, pre colocación y pre construcción y los elementos clave (checklists) de cada uno se muestra más abajo.

Lista de Chequeo para la Reunión Pre Licitación

La reunión de pre licitación proporciona al propietario la oportunidad de revisar los requisitos del proyecto y recibir información de los contratistas que pudieran tener interés en licitar el proyecto. Aún cuando la reunión de pre licitación tiende a una revisión de asuntos administrativos y contractuales, es importante utilizarla para destacar las modificaciones implementadas en planos y especificaciones.

La reunión de pre licitación da a la agencia contratante la oportunidad para identificar nuevos y diferentes aspectos en el área de las especificaciones y de la construcción, que pueden esperarse durante la construcción del proyecto. Es también un buen momento para recibir sugerencias de los contratistas en aspectos importantes del diseño y la construcción, tales como la disposición de las juntas, preparación de la superficie del pavimento existente, diferencias en la pavimentación, la programación y las etapas. Es también una oportunidad para discutir cualquier cambio en el trabajo. Debe analizarse el suministro/disponibilidad de los materiales críticos y la aceptación de los requerimientos de ensayos específicos.

Minutas de la reunión deben distribuirse a todos los potenciales proponentes (aquellos que han solicitado los documentos de licitación),

hayan asistido a no. Abajo se incluye una lista de aspectos relacionados con la pavimentación.

Reunión Pre Licitación

I. Aspectos del Proyecto de Capa de Refuerzo que Requieren Especial Atención.

1. Diferencia entre la pavimentación convencional y las capas de refuerzo.
2. Plan de etapas y fases.
3. Criterios de programación, incluyendo cuales áreas son accesibles, restricciones en obra y horas de trabajo.
4. Programa de hitos con incentivos/desincentivos.
5. Mezclas admisibles y condiciones especiales tales como las fibras.
6. Requisitos de resistencia y métodos para medir la resistencia.
7. Control del tránsito, gálibos, requisitos para las áreas de estacionamiento y restricciones por eventuales caídas desde el borde del pavimento.
8. Solución para atrasos esperados y no previstos.
9. Localización de la planta mezcladora y áreas de estacionamiento.
10. Secuencia de colocación, espacios para la pavimentadora y limitaciones para los desniveles del pavimento.
11. Ubicación de los caminos para transporte.
12. Ensayos de aceptación por calidad (QA) y requerimientos de los ensayos de calidad (QC).
13. Emisión de los cambios de diseño y de las especificaciones.
14. Reparaciones previas y preparación de la superficie.
15. Condiciones especiales tales como, ubicación de barras de amarre, detalles de ensanches, etc.
16. Profundidad del aserrado, así como la oportunidad y la importancia de cortar las juntas tempranamente.
17. Curado, especialmente el curado de secciones delgadas del pavimento.
18. Incentivos y desincentivos aplicables a la construcción de capas de refuerzo.
19. Requisitos de suavidad para el pavimento terminado.

20. Importancia de reducir el tiempo para completar el trabajo.

II. Provisiones de Propuestas Alternativas.

1. Selección de materiales.
2. Método de manejo (convencional, A+B, etc.).

III. Discusión de las Preguntas del Potencial Contratista.

IV. Emisión de las Aclaraciones Contestando Preguntas Surgidas en la Reunión Pre Licitación.

1. Minutas de la reunión para todos los que asistieron y para aquellos que solicitaron documentos del proyecto.

Revisión de la Lista de Chequeo de Pre Colocación/Pre Construcción

Las reuniones de pre colocación y pre construcción pueden resultar muy productivas cuando al contratista se le asigna dirigir las tareas pertinentes. Puede realizarse como una sola reunión combinada o en dos reuniones, dependiendo del grado de detalle que el contratista sea capaz de entregar en la reunión de pre construcción. El contratista debe ser capaz de presentar el plan para dirigir cada una de las partidas de la lista de chequeo, el que debe ser revisado y comentado en esta reunión. Forzar al contratista a pensar sobre el proyecto y a construirlo sobre el papel antes de la reunión de pre construcción paga altos dividendos. El equipo que construirá las capas de refuerzo debe encontrarse comprometido con los trabajos previos, de manera que pueda recibir directrices y respuestas para asuntos no resueltos y/o identificar potenciales problemas que pudieran surgir de la forma en que el contratista piensa abordar el trabajo.

I. Aspectos Generales

1. Identificar la cadena de mando en el proceso de tomar decisiones.
2. Identificar roles y responsabilidades del equipo clave para todas las partes involucradas.
3. Revisar todos los cambios efectuados al diseño y la construcción, desde la licitación.

4. Certificación de las fuentes de los materiales.
5. Proposición de dosificaciones.
6. QMP/CQC (quality management program/corporative quality counsel) para laboratorios y certificación de personal.
7. Certificación de la planta mezcladora y ensayos de eficiencia de las betoneras.
8. Programa de construcción.
9. Programa de pavimentación.
10. Actividades de los sub contratistas.
11. Levantamientos topográficos para la construcción.
12. Caminos para el transporte y puntos de acceso.
13. Plan para el control del tránsito en cada fase del trabajo.
14. Días permitidos para trabajar y método para contarlos.
15. Fecha esperada de inicio.
16. Números telefónicos y direcciones de e-mail del personal clave, tal como los representantes del contratista y la agencia, el gerente de control del tránsito, proveedores de materiales y representantes de los servicios públicos.
17. Liquidación de daños (Multas del contrato).
18. Requisitos de EEO/AA (Equal Employment Opportunity/Affirmative Action Program).
19. Proceso que se utilizará durante la construcción para informar al público.
20. Planes para controlar la contaminación.
21. Inspecciones de seguridad.
22. Proceso para órdenes de cambios.
23. Convocar a una conferencia sobre capas de refuerzo.

II. Plan del Contratista para el Proyecto.

1. Identificar la cadena de mando de las decisiones y de la construcción.
2. Desglosar el programa por tareas mayores, fecha de inicio y duración esperada.
3. Ubicación del laboratorio de terreno.
4. Ubicación de las oficinas de terreno.
5. Documentación de los sub contratistas.
6. Fuentes de los materiales y certificados de calidad.
7. Laboratorio de ensayo de materiales y certificación de los técnicos.

8. Presentación de la dosificación del hormigón.
9. Fuentes del agua y ensayos.
10. Plan de control del tránsito para cada fase del trabajo.
11. Identificación y tiempo de uso de los caminos para transporte y ubicación de los puntos de acceso.
12. Topografía de construcción.
 - a. Método – contratista o propietario.
 - b. Tipo y cantidad de la información disponible.
 - c. Construcción con y sin línea guía.
 - d. Quién y cuándo diseñará la rasante y calculará las cantidades de hormigón (¿Hay un proceso de aprobación y fecha límite antes de la construcción?).
 - e. Replanteo de la faja vial y los puntos de referencia del eje.
13. Proceso de notificación al público a utilizar durante la construcción.

III. Preocupación por los Servicios Públicos: ubicación dentro de los límites del proyecto, personal clave a contactar y planes esperados para relocalizarlos donde resulte necesario.

IV. Preocupaciones por la Jurisdicción Local: coordinación con los proyectos locales de caminos o actividades especiales de la ciudad/comuna (ej. festivales).

V. Actividades para la Colocación del Hormigón. (Esto puede ser parte de la reunión de pre construcción o de una reunión pre colocación separada).

1. Actividades de mezclado.
 - a. Identificación de la mezcladora central o fuente de abastecimiento con camiones betonera.
 - b. Manejo de los acopios para eliminar la segregación.
 - c. Certificación de la planta mezcladora y pruebas de la eficiencia de la betonera.
 - d. Tasas previstas para la producción de mezcla.
 - e. Identificación de la ruta para el transporte del hormigón y estimación del número de camiones requeridos, de acuerdo con el tránsito existente en la ruta.
 - f. Consideraciones sobre mezclas alternativas para ajustarse a los cambios de clima.

- g. Humedad de los agregados en los acopios.
 - h. Identificación de áreas donde limpiar los camiones.
2. Pavimentación con hormigón (colocación, terminación, textura y curado).
 - a. Planificación y manejo de las temperaturas de la capa de refuerzo (monitoreo de las condiciones climáticas en la faena, así como de quién y cómo se tomará la decisión de pavimentar o no pavimentar).
 - b. Programa de construcción de la pista.
 - c. Preparación de la base (bacheo, fresado, reciclado).
 - d. Procedimientos cuando los equipos fallan.
 - e. Tiempo máximo de transporte del hormigón.
 - f. Procedimientos de colocación (equipos y métodos).
 - g. Temperatura estimada de la mezcla al momento de colocarla.
 - h. Verificación del espesor durante la colocación.
 - i. Tiempo estimado entre la colocación y el aserrado de las juntas.
 - j. Especificaciones y precauciones para clima cálido/frío.
 - 1) Modificaciones en la mezcla debido al clima o cambios en los materiales.
 - 2) Identificación de los métodos y materiales por utilizar para proteger el hormigón en caso de cambios climáticos (lluvia, nieve o calor/frío). Control de las temperaturas de superficies asfálticas existentes.
 - k. Control de las temperaturas de superficies asfálticas existentes.
 - l. Pruebas del vibrador/aspectos de la consolidación.
 - m. Equipos, tasas y procedimientos de construcción para curar y dar textura.
 - n. Ubicación, inserción, alineación, espaciamiento, verificación de desplazamientos de las barras de amarre/ barras de transferencia de cargas.
 - o. Bordes rectos y tolerancia de desplome de los bordes.
 - p. Tratamientos para el agrietamiento por retracción plástica, desplome de bordes, desfloque de juntas y grietas en todo el espesor.

3. Juntas (longitudinales y transversales).
 - a. Revisión del plan de calidad (QC) para el aserrado de juntas (número, tipo y método de aserrado).
 - b. Consideraciones para aserrar temprano.
 - c. Disponibilidad de sierras de respaldo (número, personal y ubicación en el proyecto).
 - d. Condiciones bajo lluvia y aserrado saltándose juntas.
 - e. Tolerancias en la forma, profundidad del corte de la caja y dimensiones de la caja de las juntas.
 - f. Instalaciones y procedimientos para aceptar el sellado de las juntas.
 - g. Secuencia del aserrado y grado de aceptación para el desgranado.
 - h. Certificado de aprobación del sellante para juntas y del rodón de respaldo.
 - i. Requisitos para remover y limpiar los residuos del aserrado.
 - j. Procedimientos para biselar las juntas (si se requiere).
 - k. Métodos y requerimientos para el tiempo de curado del hormigón y el sellante para las juntas.
- l. Requisitos de esmerilado con arena, limpieza de las cajas y condiciones de humedad antes de sellar.
- m. Tolerancia para la profundidad del sellante, bomba para sellar, camión aljibe y equipo de aserrado.
- n. Temperaturas ambientales aceptables durante las operaciones de sellado y requisitos de las cajas para sellos de compresión.
- o. Procedimientos para inspeccionar las juntas.
4. Actividades de aceptación de calidad (QA)/control de calidad (CQ).
 - a. Delineamiento de las responsabilidades del propietario y contratista en los muestreos y ensayos.
 - b. Revisión del plan de control de calidad (QC) del contratista.
 - c. Requisitos e información de ensayos de laboratorio para la durabilidad, dureza, abrasión y granulometría del agregado.
 - d. Certificados para aprobación del acero para refuerzo y de las barras de traspaso de cargas.
- e. Procedimientos para tomar muestras y ensayarlas.
- f. Desarrollo y uso de gráficos de control.
- g. Dosificación de la mezcla de hormigón y resistencia en función de la razón agua-cemento.
- h. Muestro del hormigón, preparación, curado y procedimientos de los ensayos.
- i. Revisión del sistema de muestreo y cálculo del factor para pago.
- j. Documentación con los resultados de los ensayos y las desviaciones.
- k. Verificación de los ensayos para la aceptación de fallas, re muestreos y arbitraje de ensayos.
- l. Acciones a tomar si no se cumplen las especificaciones.
- m. Calendario y ensayos de la suavidad del pavimento.
- n. Tratamiento de grietas y juntas desflocadas prematuramente.
- o. Procedimientos para resolver atrasos, esperados y no previstos.

APÉNDICE I

MÉTODOS INNOVADORES PARA LA CONSTRUCCIÓN ACELERADA DE CAPAS DE REFUERZO CON HORMIGÓN

La Tabla 25 entrega un resumen de métodos innovadores para la construcción acelerada (adaptada de Simon et al. 2003).

Tabla 25. Aplicabilidad, pro y contra de varios métodos de construcción acelerada

Método	Aplicabilidad/Limitaciones	Pro (+)/Contra(-)
Asociación formal con consultores proyectistas, contratistas, autoridades locales y agencias regulatorias	• Este método no ha sido utilizado mucho con proyectistas y otras agencias. • Se ha ensayado poco y existe mucho escepticismo respecto a este método.	+ Proporciona un proceso constructivo más rápido y barato debido a menos conflictos, litigios y reclamaciones (situación ganar-ganar) + Trae un mejoramiento continuo en la calidad del servicio y del producto + Utiliza los recursos más efectivamente + Fácil de implementar porque ya se está utilizando en forma interna + Mejora las comunicaciones - Limita la estrategia de competencia del mercado - Crea una dependencia fuerte entre los socios
Métodos para acelerar la relocalización de servicios públicos	• En la construcción de carreteras, especialmente en áreas urbanas, a menudo se requiere relocalizar servicios públicos. • Básicamente la relocalización la realizan las compañías de servicio público. • Normalmente, existen pocas acciones a tomar contra atrasos. • Los servicios públicos deben pagar por la recolocación.	+ Alienta al administrador del proyecto a desarrollar medios más económicos + Acorta el plazo de ejecución del proyecto al utilizar menos documentación formal y una mejor comunicación + Reduce el personal ejecutivo + Produce una mayor continuidad durante el proyecto - Trae la necesidad de que ingenieros independientes revisen el trabajo - Alienta la superación de la "mentalidad de especialista" de la organización
Sistema inteligente de transporte y control del tránsito en la zona de trabajo	• Las áreas en que es aplicable, pero no limitada al control del tránsito son: guía en la ruta, sistemas automatizados, sensores para prevención de accidentes, información a los usuarios en el camino, manejo de la demanda de transporte, etc.	+ Aumenta la seguridad + Reduce la congestión + Mejora la movilidad + Minimiza los impactos ambientales + Aumenta la eficiencia energética + Promueve la productividad económica para una economía más sana - Requiere de entrenamiento adicional a los empleados - Su implementación tiene un costo
Opinión del público al proyectar las etapas de construcción	• Este método es aplicable en la construcción de proyectos que presentan un impacto significativo en el público.	+ Permite emplear métodos de construcción más expeditos - Requiere, al comienzo, un mayor esfuerzo de relaciones públicas
Múltiples formas de abordar los planes de control del tránsito	• Las soluciones con planes de control de tránsito aparentan a menudo ser trabajos pequeños y simples, pero deben investigarse completamente desde el comienzo del proceso.	+ Reduce tanto los costos de construcción como de los usuarios mediante un plan de control del tránsito óptimo - Requiere de mayores honorarios de consultoría para su desarrollo, por el más completo análisis del plan
Catalogo que describe las técnicas de construcción	• La aplicación de nuevas tecnologías podría extenderse, pero podría afectar las especificaciones.	+ Proporciona en línea un catalogo fácilmente accesible y apoyado por la FHWA y otros estados - Requiere esfuerzos de mantenimiento y actualización del catálogo
Preparación por el contratista del plan de control de tránsito basado en los requerimientos mínimos	• Este método alentara al contratista a la innovación pero puede ser posible solamente en proyectos pequeños y simples.	+ Reduce los esfuerzos + Entrega incentivos para innovaciones en la construcción - Aumenta los costos - Excluye el impacto en los negocios locales - Significa que el contratista puede ser desafiante frente al cumplimiento de los estándares de seguridad

Tabla 25. Aplicabilidad, pro y contra de varios métodos de construcción acelerada, continuación

Método	Aplicabilidad/Limitaciones	Pro (+)/Contra(-)
Método de programación lineal y productividad precisa con información rápida y establecimiento de la meta de duración del proyecto	- Este método puede utilizarse para proyectos repetitivos en los que no existe dependencia/restricciones entre las actividades del proyecto. - Las capas de refuerzo estructural y el mejoramiento de las bermas son dos tipos de proyectos adecuados para el método de programación lineal.	+ Proporciona un mejor entendimiento del proyecto + Permite al planificador donde y cuando debe realizarse un cambio de recursos para satisfacer las metas del proyecto + Ayuda a identificar las relaciones existentes y alienta al equipo de proyecto a intentar alternativas diferentes + Acorta los plazos al traslapar actividades en vez de secuenciarlas - Puede resultar más difícil definir con programación lineal los proyectos que involucran grandes cortes y terraplenes
Contratos A+B (costo más tiempo)	- Las licitaciones A+B pueden utilizarse para motivar al contratista a minimizar el tiempo de entrega en carreteras de alta prioridad y con mucho tránsito. - Debe existir un equilibrio entre los beneficios de una terminación rápida y cualquier incremento en los costos de construcción. - Este sistema requiere de incentivos y desincentivos para ser efectivo.	+ Incluye consideraciones del componente tiempo en el contrato de construcción + Incluye un trato favorable de los contratistas hacia los recursos más disponibles para completar el proyecto + Incluye incentivos a los contratistas para que compriman el programa de construcción + Incluye un mayor potencial para una rápida terminación del proyecto - Requiere un manejo cuidadoso de los incentivos y desincentivos - Significa que los costos están definidos en tanto que los beneficios se distribuyen al público
Incentivos al contratista por cumplimiento de hitos	- Los incentivos deben ser relevantes. - Las metas deben ser alcanzables. - Los incentivos no deben ser conflictivos.	+ Alienta al contratista a terminar a tiempo - Las quejas impactan a los contratistas a que sean altamente investigados - Son problemáticas las quejas por desacuerdos sobre que demoras son compensables
Paquetes de Contratos multi-prima	Este método puede utilizarse cuando un proyecto específico de una carretera se compone de varios tramos importantes o es muy grande.	+ Aumenta la competencia entre los proponentes + Reduce los costos, especialmente los gastos generales y la utilidad + Reduce el tiempo del proyecto al traslapar el diseño con la construcción o fuerzas de trabajo múltiples + Requiere de un control más directo por parte del propietario - Presentan a la agencia desafíos de administración - Lleva a interferencias físicas entre contratistas
Proponentes precalificados basándose en el cumplimiento de plazos en el pasado	Los proponentes se califican basándose en varios ítem claves, incluyendo experiencia en un tipo específico de proyecto, experiencia individual, comportamiento en el pasado, capacidad de la firma y localización de la firma matriz.	+ Proporciona un proceso de selección más corto y sencillo + Posiblemente proporciona mejores contratistas - Reduce la competencia - Requiere que se mantenga bien la información de cumplimiento del programa - Requiere que la agencia reconozca los otros impactos no contractuales del programa y que ellos sean definidos equitativamente
Incentivos para desarrollar programas de control del tránsito con un contratista quien valorara el compartir el ahorro en los de costos de ingeniería	- Para utilizar este método, buscar comprometer las municipalidades locales para que financien el incentivo (ej. 5 por ciento del ahorro de los usuarios). - Este método requiere un estudio cuidadoso para determinar las reales economías en tiempo.	+ Lleva a ideas innovadoras para un plan de control del tránsito exitoso - Los ahorros son difíciles de estimar
Incentivos para el avance del trabajo del contratista por contrato "lane-rental" (arriendo de las pistas)	- Los incentivos deben describirse explícitamente en los documentos de licitación. - Los cánones de renta deben ser significativos y dirigidos a pistas de alto impacto.	+ Lleva a ideas innovadoras para un plan de control del tránsito exitoso + Minimiza el impacto del contratista en el tránsito - La administración de quejas es dificultosa
Aumentar la cantidad de multas imposiciones rutinarias por daños y perjuicios	- Tan importantes como los perjuicios que ocurren en el contrato son las quejas por daños. Sin embargo, el tiempo y esfuerzo involucrado en seguir estas quejas es una limitante. Deben sopesarse contra potenciales beneficios. - Posibilita proporcionar incentivos para terminar los proyectos antes de tiempo.	+ Motiva al contratista a un mejor comportamiento - Requiere de documentación rigurosa y de rápida solicitud de información para imponer los requerimientos
Incentivos "sin excusas"	Estos incentivos descartan quejas por atrasos del contratista, entrega al contratista incentivos para que termine prontamente y requiere de un programa realista.	+ Resulta en considerables mejoramientos en el desempeño del programa - Transfiere riesgos al contratista y por lo tanto puede, en promedio, incrementar los costos con el tiempo

Tabla 25. Aplicabilidad, pro y contra de varios métodos de construcción acelerada, continuación

Método	Aplicabilidad/Limitaciones	Pro (+)/Contra(-)
Herramientas y mejores prácticas para implementar trabajo con múltiples turnos y/o trabajo nocturno	- Nuevas tecnologías (tales como alarmas contra intrusos), planes de control del tránsito modificados y nuevos métodos para monitorear el tránsito, proveen mejoras en la seguridad de la zona de trabajo de noche. - Estos mejoramientos llevan a una mayor productividad nocturna.	+ Aumenta la seguridad a los usuarios del camino y trabajadores + Reduce el costo usuario + Permite terminar antes - Requiere de investigación y costos por diseño
Sistema colaborador utilizando la Web	Para ser eficiente, el acceso a la información debe ser rápida y sin dificultades. Reducir costos subiendo documentos a un sistema basado en la red puede utilizarse para rastrear los productos del proyecto, rastrear en línea tareas del proyecto, recibir alertas por mail en la medida que las partidas están en deuda, compartir documentos y reducir la producción y entrega de documentos administrativos. Esto es práctico para dibujos CAD o cualquier otra cosa que deba ser compartida con el equipo del proyecto.	+ Mejora las comunicaciones en el proyecto + Facilita la colaboración con el gerente de proyecto, proyectistas, contratistas, vendedores y el público + Mantiene a todos dentro del círculo + Permite seguir el proyecto en línea, lo que minimiza los tiempos y mejora la productividad - Requiere de muchas instalaciones y tiene costos de aprendizaje - Carencias de normas
Alentar la utilización de tecnologías de construcción automatizadas	- Numerosas investigaciones y esfuerzos de implementación se realizan en la actualidad para automatizar la construcción de infraestructura convencional, evaluación de su condición y actividades de mantenimiento, tales como movimiento de tierras, compactación, construcción de carreteras y mantenimiento. - En el comercio se encuentran disponibles algunos sistemas.	+ Es posibles que resulten ahorros + Presenta oportunidades para comprimir significativamente el programa de trabajo - Requiere de algún entrenamiento - Requiere ser implementado por el contratista
Utilización de métodos para trabajar en zonas continuas	Estos métodos pueden utilizarse donde la geometría del camino y la programación para los fines de semana y la noche lo permiten.	+ Disminuye la duración y los costos unitarios + Aumenta la seguridad vial - Puede resultar en mayores costos para los usuarios y congestión
Utilización de ventanas entre hitos	Este método puede usarse donde los hitos no están basados en restricciones muy severas. Los hitos deben estar relacionados de manera de permitir al contratista una máxima flexibilidad para que realice eficientemente los recursos del proyecto.	+ Menores costos del proyecto + Menores costos de los usuarios - Reduce la aptitud para que “el contratista esté al pie del cañón”
Programar según días calendario	La programación por días calendario se puede aplicar a proyectos en que terminar a tiempo es crítico y un gran volumen de tránsito es encuentra afectado.	+ Genera un mejor manejo del clima + Proporciona un método directo de aceleración - Para que sea creíble por el público, requiere de un apego estricto al programa, aún con problemas por fallas o clima
Acortar el tiempo de construcción cerrando completamente el camino en vez de cierres parciales	El cierre total puede utilizarse en áreas donde existe a lo menos una ruta alternativa para los conductores y el volumen es limitado.	+ Acorta el tiempo de construcción - Puede originar congestión en las rutas alternativas
Seguimiento de los efectos de la duración y productividad, asociados con diferentes tecnologías	- La información recopilada puede ser muy útil en la estimación de costos para planes de optimización. - Las opciones tecnológicas pueden ser limitadas, según las condiciones del proyecto y equipos.	+ Produce una más rápida y más dependiente explotación de nuevas tecnologías - Requiere de personal que dedique tiempo para monitorear adecuadamente y registrar la información - Se percibe como oneroso
Programación óptima de los turnos y eliminación de largos periodos de horas de trabajo	- La programación puede acortarse utilizando cuadrillas adicionales en turnos regulares, múltiples turnos o sobre tiempos selectivos. - La programación de sobre tiempos puede utilizarse donde sea apropiado, pero sus efectos deben evaluarse cuidadosamente.	+ Proporciona probables economías + Aumenta la productividad + Reduce el tiempo de ciclos de tareas, lo que mejora el programa - Si la planificación se realiza descuidadamente puede generar resultados negativos - Crea al contratista la necesidad de implementarlo
Personal seleccionado de terreno entrenado en métodos de programación y quejas	La flexibilidad del programa puede ser en la práctica mínima, pero para trabajos complejos un amplio entendimiento en los aspectos de programación deberían ayudar a acelerar el programa.	+ Crea un equipo de proyecto flexible y de fácil adaptación + Lleva a una terminación más rápida del proyecto - Lleva a que posiblemente muchas personas estén tratando de administrar
Lecciones aprendidas en formas de manejar información en programas expeditos	Esta información puede ser ampliamente aplicable, pero está limitada por restricciones legales y de política.	+ Requiere de una rápida referencia para la implementación de las medidas de aceleración - Crea la necesidad de mantener una base de datos

FUENTES

REFERENCIAS

3M. 2013. *Geotextile Seaming Cylinder Spray Adhesive*. Tech Data Sheet. Industrial Adhesives and Tapes Division.

American Association of State Highway Officials (AASHTO). 1962. *The AASHTO Road Test. Report 5 Pavement Research*. Washington, DC: Highway Research Board.

———. 1993. *Guide for Design of Pavement Structures*. 4th ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.

———. 1998. *Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.

———. 2007. *Transportation—Invest in Our Future: A New Vision for the 21st Century*. Washington, DC: AASHTO.

———. (no year). *AASHTOWare Pavement ME Design*. www.aashtoware.org [accessed March 9, 2014]

ACI Committee 302. 2010. *Guide for Concrete Floor and Slab Construction*. Publication ACI 302-1R-04. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.

ACI Committee 325. 2006. *Concrete Overlays for Pavement Rehabilitation*. Publication ACI 325.13R-06. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.

ACI Committed 330. 2008. *Guide for the Design and Construction of Concrete Parking Lots*. Publication ACI 330R-08. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.

American Concrete Pavement Association (ACPA). 1990a. *Guidelines for Bonded Concrete Overlays*. Technical Bulletin TB-007P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 1990b. *Guidelines for Unbonded Concrete Overlays*. Technical Bulletin TB-005P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 1991. *Guidelines for Concrete Overlays of Existing Asphalt Pavements (Whitertopping)*. Technical Bulletin TB-009P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 1998. *Whitertopping—State of the Practice*. Engineering Bulletin EB210.02P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 1999. *Construction Specification Guideline for Ultra-Thin Whitertopping*. Information Series IS120P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 2000. *Traffic Management Handbook for Concrete Pavement Reconstruction and Rehabilitation*. Publication EB213P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 2012. *Bonded Concrete Overlay on Asphalt (BCOA) Thickness Designer*. (<http://apps.acpa.org/apps/bcoa.aspx>, accessed March 9, 2014)

———. 2012. *StreetPave*. (<http://acpa.org/streetpave>, accessed March 9, 2014)

———. 2013. *National Concrete Overlay Explorer*. (www.overlays.acpa.org/webapps/overlayexplorer/index.html, accessed March 9, 2014)

Applied Pavement Technology, Inc. 2002a. *Conventional Whitertopping Overlays*. Technical Brief. Publication FHWA IF-03-008. Washington, DC: Federal Highway Administration. (<http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/010933.pdf>, accessed March 10, 2014)

Applied Pavement Technology, Inc. 2002b. *Unbonded Portland Cement Concrete Overlays*. Technical Brief. Publication FHWA-IF-03-006. Washington, DC: Federal Highway Administration. (<http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/010935.pdf>, accessed March 10, 2014)

Bordelon, A. C. 2011. *Flowable Fibrous Concrete for Thin Concrete Inlays*. PhD diss., Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign. (<https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/29805>, accessed March 10, 2014)

Bordelon, A. and J. Roesler. 2011. "Flowable Fibrous Concrete for Thin Concrete Inlays." *1st Transportation and Development Institute Congress 2011*. Ed. I. Al-Qadi and S. Murrell. Chicago, Illinois: American Society of Civil Engineers. pp. 874-883.

Burnham, T. R. and B. I. Izevbekhai. 2012. Performance of Thin Jointed Concrete Pavements Subjected to Accelerated Traffic Loading at the MnROAD Facility, in *Advances in Pavement Design through Full-scale Accelerated Pavement Testing*, ed. David Jones, John Harvey, Angel Mateos, Imad Al-Qadi, 289–297. Monograph of 4th International Conference on Accelerated Pavement Testing. Boca Raton, FL: CRC Press.

Cable, J. K. 2012. *Concrete Overlay Field Application Program, Iowa Task Report: US 18 Concrete Overlay Construction under Traffic*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University. (www.intrans.iastate.edu/research/documents/research-reports/US_18_overlay_construction_web.pdf, accessed March 9, 2014)

Cable, J. K., C. Bauer, E. J. Jaselskis, and L. Li. 2004. *Stringless Portland Cement Concrete Paving*. Iowa Department of Transportation/Iowa Highway Research Board Project TR-490. Center for Portland Cement Concrete Pavement Technology.

Cervantes, V., and J. R. Roesler. 2009. *Performance of Concrete Pavements with Optimized Slab Geometry*. Final Report, FHWA ICT-09-053. Urbana, IL: Illinois Center for Transportation, University of Illinois.

Christopher, B. R. 2000. *Maintenance of Highway Edgedrains*. NCHRP Synthesis of Highway Practice 285. Washington, DC: Transportation Research Board. (<http://ntl.bts.gov/lib/17000/17600/17652/PB2001102763.pdf>, accessed March 10, 2014)

Cole, L. W., and P. A. Okamoto. 1995. Flexural Strength Criteria for Opening Concrete Roadways to Traffic. *Transportation Research Record* 1478:53–61.

Covarrubias T and Covarrubias V. 2008. TCP Design for Thin Concrete Pavements. *9th International Conference on Concrete Pavements*, San Francisco, CA.

Covarrubias V, J. P. 2011. Optipave2 v 1.0. (www.tcpavements.com/index.php?op=4_1&lang=en, accessed March 14, 2014)

- Covarrubias V, J. P., Covarrubias, and T. Roesler. 2010. Design of Concrete Slabs with Optimized Geometry. *11th International Symposium on Concrete Roads*, October 20–22, Sevilla, Spain.
- Daleiden, J. 1998. *Video Inspection of Highway Edgedrain Systems*. Publication FHWA SA-98-044. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Federal Highway Administration (FHWA). 1994. *Guidelines for Timing Construction Joint Sawing and Earliest Loading for Concrete Pavements*. Volume 1. FHWA-RD-91-079. Washington, DC: FHWA.
- . 2003a. *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*. 4th revised ed. Publication FHWA RD-03-031. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- . 2009. *Manual on Uniform Traffic Control Devices*. 2003 ed. with revisions 1 and 2 incorporated. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Fick, G. 2010. *Concrete Overlay Cost: Frequently Asked Questions*. Concrete Overlay Field Application Program. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.
- Fournier, B., M-A Berube, K. J. Folliard, and M. Thomas. 2010. *Report on the Diagnosis, Prognosis and Mitigation of Alkali-silica Reaction (ASR) in Transportation Structures*. FHWA-HIF-09-004. Washington, DC: Federal Highway Administration. (www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif09004/hif09004.pdf, accessed March 10, 2014)
- Hall, K. T., C. E. Correa, S. H. Carpenter, and R. P. Elliott. 2001. *Rehabilitation Strategies for Highway Pavements*. NCHRP Project C1-38. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Harrington, D. 2008. *Guide to Concrete Overlays: Sustainable Solutions for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements*. 2nd ed. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.
- Harrington, D., D. DeGraaf, R. Riley, R. O. Rasmussen, J. Grove, and J. Mack. 2007. *Guide to Concrete Overlay Solutions*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.
- Harrington, D., G. Fick, and P. Taylor. 2014 (tentative). *Preservation and Rehabilitation of Urban Concrete Pavements Using Thin Concrete Overlays: Solutions for Joint Deterioration in Cold Weather States*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.
- Hoerner, T. E., K. D. Smith, H. T. Yu, D. G. Peshkin, and M. J. Wade. 2001. *PCC Pavement Evaluation and Rehabilitation: Reference Manual*. NHI Course 131062. Arlington, VA: National Highway Institute.
- Illinois Department of Transportation—Bureau of Materials and Physical Research (IDOT—BMPR). 2013. *Approved/Qualified Product List of Synthetic Fibers*. Springfield, IL: Illinois DOT. (www.dot.state.il.us/materials/syntheticfibers.pdf, accessed March 10, 2014)
- Kosmatka, S.H., and M. L. Wilson. 2011. *Design and Control of Concrete Mixtures*, 15th Edition. PCA Bulletin EB001.15. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Ley, M.T., R. Felice, and J. M. Freeman. 2012. *Assessment of Air Void System Requirements for Durable Concrete*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University (www.intrans.iastate.edu/research/documents/research-reports/mda_air_void_w_cvr.pdf, accessed March 17, 2014)
- Leykauf, G., and D. Birmann. 2006. Concrete Pavements with Geotextile Interlayer in Germany: Measurements and Long-term Behavior. Proceedings, *10th International Symposium on Concrete Roads*. Brussels, Belgium: European Cement Organisation (CEMBUREAU), World Road Association (PIARC). CD-ROM.
- Mallela, J., G. Larson, T. Wyatt, J. Hall, and W. Barker. 2002. *User's Guide for Drainage Requirements in Pavements: DRIP 2.0 Microcomputer Program*. DTFH61-00-F-00199. Champaign, IL: ERES Consultants. (<http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/010942.pdf>, accessed March 10, 2014)
- Minnesota Department of Transportation (MnDOT). 2013. The Effect of Joint Sealing on the Performance of Thin Whitetopping Sections at MnROAD. *MnROAD [Safer, Smarter, Sustainable Pavements through Innovative Research]*. (www.dot.state.mn.us/mnroad/reports/PDF%27s/jointsealing.pdf, accessed March 10, 2014)
- National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). 2004. *Development of the 2002 Guide for the Design of New and Rehabilitated Pavement Structures: Phase II*. NCHRP 01-37A. Washington, DC: Transportation Research Board. (<http://apps.trb.org/cmsfeed/TRBNetProjectDisplay.asp?ProjectID=218>, accessed March 10, 2014)
- . 1982. *Resurfacing with Portland Cement Concrete*. Synthesis 99 (discontinued).
- . 1994. *Portland Cement Resurfacing—A Synthesis of Highway Practice*. Synthesis 204 (discontinued).
- . 2007. *AASHTO Mechanistic-Empirical Design Guide*. Version 1.0 NCHRP Project 1-37a. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Okamoto, P.A., P. J. Nussbaum, K. D. Smith, M. I. Darter, T. P. Wilson, C. L. Wu, S. D. Tayabji. 1994. *Guidelines for Timing Contraction Joint Sawing and Earliest Loading for Concrete Pavements*, Volume 1: Final Report. FHWA RD-91-079. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Portland Cement Association. 1984. *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Raphael, J. M. 1984. Tensile Strength of Concrete. *ACI Journal* 163:158–165.
- Rasmussen, R. O., and S. I. Garber. 2009. *Nonwoven Geotextile Interlayers for Separating Cementitious Pavement Layers: German Practice and U.S. Field Trials*. International Technology Scanning Program. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Rasmussen, R. O., and D. K. Rozycki. 2004. *Thin and Ultra-Thin Whitetopping*. NCHRP Synthesis of Highway Practice 338. Washington, DC: Transportation Research Board.
- Riley, R. 2006. Modified ACPA Ultra-Thin Whitetopping Design Software.
- Roesler, J., A. Bordelon, A. Ioannides, M. Beyer, and D. Wang. 2008. *Design and Concrete Materials Requirements for Ultra-Thin Whitetopping*. Urbana, IL: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Roesler, J. R., V. G. Cervantes, and A. N. Amirkhanian. 2013. Accelerated Performance Testing of Concrete Pavement with Short Slabs. *International Journal of Pavement Engineering*, doi:10.1080/10298436.2011.575134.
- Simon, E., G. E. Gibson, C. T. Haas, J. T. O'Connor, B. Somali, and Z. Zhang. 2003. *Development of a Tool for Expediting Highway Construction While Retaining Quality*. FHWA/TX-03/4386-1. Austin, TX: Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.
- Smith, K. D., H. T. Yu, and D. G. Peshkin. 2002. *Portland Cement Concrete Overlays: State of the Technology Synthesis*. Publication FHWA IF-02-045. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Smith, K. D., T. E. Hoerner, and D. G. Peshkin. 2008 (draft). *Concrete Pavement Preservation Reference Manual*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.

- Snyder, M. B. 2011. *Guide to Dowel Load Transfer Systems for Jointed Concrete Roadway Pavements*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.
- Sutter, I., K. Peterson, G. Julio-Betancourt, D. Hooton, T. Van Dam, and K. Smith. 2008. *The Deleterious Chemical Effects of Concentrated Deicing Solutions on Portland Cement Concrete*, Final Report. Publication SD2002-01-F. Pierre, SD: South Dakota Department of Transportation.
- Tayabji, S., J. Anderson, H. Barzegar, G. Fick, E. Gowder, J. Shilstone, P. C. Taylor, and M. Torres. 2007. *Supplemental Report for Proposed Specification for Construction of Concrete Airfield Pavement*. Report IPRF-01-G-002-04-1A. Washington, DC: Innovative Pavement Research Foundation.
- Taylor, P. C., ed. 2006. *Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual*. Publication FHWA HIF-07-004. Ames, IA: Center for Transportation Research and Education, Iowa State University.
- Taylor, P., R. O. Rasmussen, H. Torres, G. Fick, D. Harrington, and T. Cackler. 2012. *Guide for Optimum Joint Performance of Concrete Pavements*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.
- TC Pavements. 2010. *Optipave V2.0*. (www.tcpavements.com/index.php?op=0&lang=en, accessed March 10, 2014)
- The Transtec Group. No date. *Material Specifications*. (www.transtecgroup.com/nonwoven-geotextile-interlayers-concrete-pavements/ [search www.concreteontop.com], accessed February 25, 2014)
- Thomas, M. D. A., B. Fournier, K. J. Folliard, and Y. A. Resendez. 2011. *Alkali-Silica Reactivity Field Identification Handbook*. FHWA HIF-12-022. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
- Torres, H. N., J. Roesler, R. O. Rasmussen, and D. Harrington. 2012. *Guide to the Design of Concrete Overlays Using Existing Methodologies*. FHWA Project DTFH61-06-H-00011 (Work Plan 13). Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.
- Trevino, M., B. F. McCullough, and D. W. Fowler. 2004. *Techniques and Procedures for Bonded Concrete Overlays*. FHWA/TX-05/0-4398-2. Austin, TX: Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.
- Van Dam, T., P. Taylor, G. Fick, D. Gress, M. Van Geem, and E. Lorenz. 2012. *Sustainable Concrete Pavements: A Manual of Practice*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University. (www.cptechcenter.org/technical-library/documents/Sustainable_Concrete_Pavement_508.pdf, accessed March 10, 2014)
- Vandenbossche, J. M. and M. Barman. 2010. Whitetopping Overlay Design Considerations for the Development of Reflective Cracks and Joint Sealing. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.
- Vandenbossche, J., N. Dufalla, and Z. Li. 2012. *A Revised Thin and Ultra-Thin Bonded Whitetopping Design Procedure*. Presented at 2013 TRB Annual Meeting.
- Vandenbossche, J. 2013. *BCOA ME*. Swanson School of Engineering, University of Pittsburgh. (www.engineering.pitt.edu/Vandenbossche/BCOA-ME_DesignGuide/, accessed March 10, 2014)
- Wade, M. J., G. D. Cuttell, J. M. Vandenbossche, K. D. Smith, M. B. Snyder, and H. T. Yu. 1995. *Performance of Concrete Pavements Containing Recycled Concrete Aggregate*. Report No. DTFH61-93-C-000133-Task B. Interim Report. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Walker, W. W. and J. A. Holland. 2007. Performance-Based Dowel Design: Lift-truck design changes require a new look at joint durability. In *Concrete Construction* Jan. 2007.
- Yurdakul, E. 2010. *Optimizing concrete mixtures with minimum cement content for performance and sustainability*. MS Thesis. Ames, IA: Iowa State University.

FUENTES

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. 1993. *Guide Specifications for Highway Construction*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.

———. 2002. *Guide for Design of New and Established Pavement Structures*. Washington, DC: Transportation Research Board.

American Concrete Pavement Association (ACPA). 2000. *Repair of Ultra-Thin Whitetopping: Roadways and Airfields*. Publication PA397P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 2006. *Concrete Pavement Field Reference: Preservation and Repair*. Publication EB 239 P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 2007. *Subgrades and Subbases for Concrete Pavements*. EB204P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 1999. *Ultra-Thin Whitetopping*. Information Series IS100.02P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 2007. *Concrete Intersections: A Guide for Design and Construction*. TB019P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

———. 2008. *Concrete Pavement Field Reference: Pre-Paving*. EB237P. Skokie, IL: American Concrete Pavement Association.

Altoubat, S. A., J. R. Roesler, D. A. Lange, and K.-A. Rieder. 2008. Simplified Method for Concrete Pavement Design with Discrete Structural Fibers. *Construction and Building Materials* 22 (3): 384–393.

Anderson, S. D., G. L. Ullman, and B. C. Blaschke. 2002. *A Process for Selecting Strategies for Rehabilitation of Rigid Pavements*. NCHRP Project 10-50A. Washington, DC: Transportation Research Board.

Cable, J. K., M. L. Anthony, F. S. Fanous, and B. M. Phares. 2006. *Evaluation of Composite Pavement Unbonded Overlays*. IHRB Project TR-478. Ames, IA: Iowa State University.

Cable, J. K., L. E. Edgar, and D. R. Anderson. 2005. *Ultra-Thin Portland Cement Concrete Overlay Extended Evaluation*. IHRB Project TR-432. Ames, IA: Iowa State University.

Cable, J. K., F. S. Fanous, H. Ceylan, D. Wood, D. Frentress, T. Tabbert, S.-Y. Oh, and K. Gopalakrishnan. 2005. *Design and Construction Procedures for Concrete Overlay and Widening of Existing Pavements*. IHRB Project TR-511. Ames, IA: Iowa State University.

Cable, J. K., J. M. Hart, and T. J. Ciha. 2001. *Thin Bonded Overlay Evaluation*. IHRB Project HR-559. Ames, IA: Iowa State University.

Delatte, N., S. Chen, J. Davidson, A. Sehdev, N. Amer, and M. Endfinger. 2001. *Design and Quality Control of Concrete Overlays*. UTCA Report 01220. Tuscaloosa, AL: University Transportation Center for Alabama.

ERES Consultants. 1999. *Evaluation of Unbonded Portland Cement Concrete Overlays*. NCHRP Report 415. Washington, DC: Transportation Research Board.

Federal Highway Administration (FHWA). 1992. *Drainable Pavement Systems, Participant Notebook*. FHWA-SA-92-008. Washington, DC: Federal Highway Administration.

———. 1999. *Pavement Preventive Maintenance Reference Manual*. Washington, DC: Federal Highway Administration.

———. 2000. *Insights into Pavement Preservation: A Compendium*. Washington, DC: Federal Highway Administration.

———. 2001a. *Pavement Preservation: Selecting Pavements for Preventive Maintenance*. NHI Course 131058. Washington, DC: Federal Highway Administration.

———. 2001b. *PCC Pavement Evaluation and Rehabilitation*. NHI Course 131062. Washington, DC: Federal Highway Administration.

———. 2004. *Pavement Preservation: Integrating Pavement Preservation Practices and Pavement Management*. NHI Course 131104. Washington, DC: Federal Highway Administration.

———. 2007. *Thin Whitetopping—The Colorado Experience*. FHWA-HIF-07-025. Washington, DC: Federal Highway Administration.

———. 2012. *Alkali-Silica Reactivity Field Identification Handbook*. FHWA-HIF-12-022. Washington, DC: Federal Highway Administration.

Mack, J. W., L. D. Hawbaker, and L. W. Cole. 1998. Ultrathin Whitetopping: State-of-the-Practice for Thin Concrete Overlays of Asphalt. *Transportation Research Record* 1610:39–43.

Mathis, D. M. 1990. Pavement Drainage Rehabilitation. *Proceedings, Virginia Pavement Drainage Workshop*. Williamsburg, VA: Virginia Department of Transportation.

McGhee, K. H. 1994. *Portland Cement Concrete Resurfacing*. NCHRP Synthesis of Highway Practice 204. Washington, DC: Transportation Research Board.

National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). 2005. Versions 0.900 and 1.0 of the M-E Pavement Design Software. NCHRP Project 1-40A. Washington, DC: Transportation Research Board.

———. 2006. Technical Assistance to NCHRP and NCHRP Project 1-40a. NCHRP Project 1-40d. Washington, DC: Transportation Research Board.

———. 2007. *AASHTO Mechanistic-Empirical Design Guide. Version 1.0*. NCHRP Project 1-37a. Washington, DC: Transportation Research Board.

Rasmussen, R. O. 2008. *Geotextile Interlayers for Separating Cementitious Pavement Layers: European Practice and U.S. Field Trials*. Washington, DC: Federal Highway Administration and Transtec Group, Inc.

Riley, R. C., A. Gotlif, and J. Mallela. 2005a. Whitetopping: Atypical is Typical. *Proceedings of the International Conference on Best Practices for Ultrathin and Thin Whitetoppings*. Denver, CO, April 12–15.

Riley, R. C., L. Titus-Glover, J. Mallela, S. Waalkes, and M. Darter. 2005b. Incorporation of Probabilistic Concepts into Fatigue Analysis of Ultrathin Whitetopping as Developed for the American Concrete Pavement Association. *Proceedings of the International Conference on Best Practices for Ultrathin and Thin Whitetoppings*. Denver, CO, April 12–15.

- Roesler, J. R. 2004. Fracture of Plain and Fiber-reinforced Concrete Slabs under Monotonic Loading. *Journal of Materials in Civil Engineering* 16 (5): 452–460.
- Roesler, J. R. 2007. Design and Specification of Concrete Pavements with Structural Fibers. Paper presented at the International Workshop on Best Practices for Concrete Pavements, Recife, Brazil.
- Sheehan, M. J., S. M. Tarr, and S. D. Tayabji. 2004. *Instrumentation and Field Testing of Thin Whitetopping Pavements in Colorado and Revision of the Existing Colorado Thin Whitetopping Procedure*. Report CDOT-DTD-R-2004-12. Denver, CO: Colorado Department of Transportation.
- Tarr, S. M., M. J. Sheehan, and P. A. Okamoto. 1998. *Guidelines for the Thickness Design of Bonded Whitetopping Pavements in the State of Colorado*. Report CDOT-DTD-R-98-10. Denver, CO: Colorado Department of Transportation.
- Titus-Glover, L., J. Mallela, M. I. Darter, G. Voigt, and S. Waalkes. 2005. Enhanced Portland Cement Concrete Fatigue Model for StreetPave: Rigid and Flexible Pavement Design 2005. *Transportation Research Record* 1919:29–37.
- Vandenbossche, J. M., and A. J. Fagerness. 2002. Performance, Analysis, and Repair of Ultrathin and Thin Whitetopping at Minnesota Road Research Facility. *Transportation Research Record* 1809:191–198.
- VDOT. 1990. *Guidelines for Providing Improved Drainage Systems for VDOT Pavement Structures*. Charlottesville, VA: Virginia Department of Transportation.
- Winkelman, T. J. 2002. *Bonded Concrete Overlay Performance in Illinois*. Report FHWA/IL/PRR 143. Springfield, IL: Illinois Department of Transportation.
- Wu, C.-L., S. M. Tarr, T. M. Refai, M. A. Nagi, and M. J. Sheehan. 1999. *Development of Ultra-Thin Whitetopping Design Procedure*. PCA R&D Serial 2124. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Wells, G. K., and S. M. Wiley. 1987. *The Effectiveness of Portland Cement Concrete Pavement Rehabilitation Techniques*. FHWA/CA/TL-87/10. Washington, DC: Federal Highway Administration.
- Young, B. 1990. *Evaluation of the Performance of Fin Drains in Georgia*. FHWA-GA-90-8709. Atlanta, GA: Georgia Department of Transportation.

National Concrete Pavement
Technology Center



2711 South Loop Drive, Suite 4700
Ames, IA 50010-8664
515-294-5798
www.cptechcenter.org