

Reducción del Tiempo y Costo de Construcción

INFORME TÉCNICO

Comité Técnico D2 de la AIPCR/PIARC – Firmes de Carreteras

Declaraciones

La Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR/PIARC) es una organización sin fines de lucro establecida en 1909 para mejorar la cooperación internacional y promover el progreso en el campo de las carreteras y el transporte por carretera.

El estudio que es el tema del presente informe se definió en el Plan Estratégico de la AIPCR 2008 – 2011 aprobado por el Consejo de la Asociación Mundial de Carreteras, cuyos miembros son representantes de los gobiernos nacionales. Los miembros del Comité Técnico responsable de este informe fueron nombrados por los gobiernos nacionales miembros por sus competencias especiales.

Toda opinión, hallazgo, conclusión y recomendación expresada en esta publicación es de los autores y no necesariamente refleja los puntos de vista de sus organizaciones o agencias de origen.

Número de Libro Estándar Internacional **XXXXXXX**

El presente informe se encuentra disponible en el sitio de Internet de la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR/PIARC): <http://www.piarc.org>

Copyright de la Asociación Mundial de Carreteras. Todos los derechos reservados.

*Asociación Mundial de la Carretera (AIPCR/PIARC)
La Grande Arche, Paroi nord, Niveau 5
92055 La Défense cedex, FRANCIA*

El presente informe ha sido preparado por el Grupo de Trabajo 1, dirigido por el Subcomité Técnico D2c Firmes de Hormigón del Comité Técnico D2 Firmes, de la Asociación Mundial de Carreteras AIPCR/PIARC. El Subcomité Técnico D2c fue presidido por Raymond Debroux (Bélgica); Anne-Séverine Poupeleer (Bélgica), Thierry Sedran (Francia) y Juan J. Orozco (México) fueron los secretarios de habla inglesa, francesa y española, respectivamente.

La versión en idioma inglés de este informe fue editada por Luc Rens (Bélgica) y la traducción al francés fue realizada por Raymond Debroux y al español por Juan J. Orozco con la colaboración de Carlos Jofré (España) y Diego Calo (Argentina).

Miembros del Grupo de Trabajo que contribuyeron a este documento:

Ralf Alte-Teigeler (Alemania)
Randolf Anger (Alemania)
Anne Beeldens (Bélgica)
Diego Calo (Argentina)
Raymond Debroux (Bélgica)
Stefan Höller (Alemania)
Carlos Jofré (España)
Katalin Karsai (Hungría)
Franci Kavcic (Eslovenia)
Solomon Kganyage (Sudáfrica)
Hennie Kotze (Sudáfrica)
Beata Krieger (Alemania)
Anne-Séverine Poupeleer (Bélgica)
Justine Rasoavahini (Madagascar)
Luc Rens (Bélgica): Coordinador del Grupo de Trabajo
Thierry Sedran (Francia)
Juan J. Orozco (México)
Bryan Perrie (Sudáfrica)
Johannes Steingenberger (Austria)
Tim Smith (Canadá)
Suneel Vanikar (EEUU)

Otros Colaboradores:

R. Bader (Alemania)
Betty Bennet (EEUU)
Rudi Bull-Wasser (Alemania)
T. Bors (Hungría)
L. Gaspar (Hungría)
Karin Keglevich (Austria)
Lars Keller (Alemania)
Nick Kong Kam Wu (Sudáfrica)
Becca Lane (EEUU)
Franz Lecker (Austria)
Junichi Noda (Japón)
Bernd Nolle (Alemania)
Reinhard Pichler (Austria)
Arno Piko (Austria)
P. Schöller (Austria)
Kurt Smith (EEUU)

Shiraz Tayabji (EEUU)

TABLA DE CONTENIDO

Resumen ejecutivo	2
1. Introducción	3
2. Inventario y análisis de métodos para reducir el tiempo y costo de construcción	4
2.1 Inventario	4
2.2 Criterios de evaluación	5
2.3 Análisis	6
2.4 Estudios de caso	12
3. Conclusiones y recomendaciones	15
APÉNDICE A – Estudios de caso (en idioma inglés)	

Resumen ejecutivo

Por muchas razones diferentes, las autoridades viales que requieren construir, rehabilitar o reparar un firme o pavimento, desean hacerlo en el menor tiempo posible y con el costo inicial más bajo. Estas razones están relacionadas ya sea con la siempre limitada disponibilidad de recursos, con el beneficio de los usuarios de las carreteras al minimizar la interrupción del flujo de tránsito, o con la existencia de una política de cuidado ambiental o de seguridad vial.

No obstante lo anterior, el tiempo y el costo de construcción son parámetros contradictorios. Lograr un tiempo de construcción más corto puede requerir una mayor cantidad de equipo y mano de obra, lo que incrementa el costo del proyecto. Por otro lado, la reducción de costos puede implicar equipos de bajo rendimiento y personal con menos experiencia, lo que incrementa el tiempo de ejecución. Además de lo anterior, una vez que el trabajo ha sido concluido y pagado, existe la expectativa de que la construcción cumpla con su función durante la vida útil para la que fue diseñada. En otras palabras, la reducción del tiempo y/o costo de la construcción no debe poner en riesgo la calidad del trabajo. Efectivamente, una reducción del tiempo y/o costo de la construcción no siempre conduce a un mejor trabajo u obra. Por lo anterior, es mejor que se hable de la optimización del tiempo y el costo para lograr una calidad específica. En algunos casos, incluso el propietario de la carretera preferirá aceptar un costo y/o tiempo mayor de construcción para obtener un mejor resultado final, como puede ser una carretera con una vida útil más larga y que requiera de menos mantenimiento.

Los métodos que contribuyen a la optimización de las obras se pueden subdividir en tres ámbitos principales: condiciones de licitación, organización del sitio de trabajo (obra) y decisiones técnicas o tecnológicas adecuadas. Los métodos planteados no deberán tener un impacto negativo sobre el medio ambiente, o de preferencia deberán presentar una mejora con respecto al análisis ambiental del ciclo de vida (CO₂, energía, agua, desperdicio, entre otros). Los métodos se pueden analizar con los diferentes indicadores de costo, tiempo, calidad, economía, sociedad y medio ambiente para detectar sus puntos fuertes y débiles.

Este documento describe una lista de métodos, los analiza y brinda un número de Estudios de Caso que ilustran las diversas técnicas disponibles y sus usos a nivel mundial además de confirmar la dificultad de combinar la reducción del tiempo y costo, y al mismo tiempo nos enseñan que estos temas han adquirido mucha importancia y que las tareas de investigación y desarrollo aún se están llevando a cabo en estos campos.

Como conclusión y recomendación final, el tema de la “reducción” del tiempo y del costo de construcción deberá ser más bien planteado como una “optimización”. Efectivamente, el objetivo es encontrar una solución balanceada que cumpla todos los objetivos, tomando en cuenta las diferentes prioridades y condiciones específicas del proyecto. Únicamente se puede lograr una “mejor solución” cuando cada parte toma responsabilidad propia durante el proceso de construcción. Cada jugador, desde el diseñador y el calculista hasta el trabajador en la obra, debe ser consciente de la importancia de su contribución. Debe siempre recordarse que cada idea, iniciativa o acción tiene un impacto en el resultado final y que puede hacer la diferencia.

1. Introducción

Cualquiera que sea el tipo o tamaño de la obra, siempre surgen las dos mismas preguntas:

“¿Cuánto tiempo tomará?”; y

“¿Cuánto costará?”

En la mayoría de los casos el cliente espera obtener una respuesta que asegure el tiempo de construcción más corto y el costo inicial más bajo posibles. Lo mismo es cierto para las autoridades viales que quieren construir, rehabilitar o reparar un pavimento. Existen muchas razones por las cuales quieren hacerlo de esta manera:

- debido a que cuentan con recursos limitados y requisitos presupuestarios particulares o buscan la oferta económica más baja con el fin de respetar el presupuesto asignado anualmente;
- quieren mantener un flujo continuo de tránsito y obtener la máxima disponibilidad de la carretera, lo cual conduce a interrupción y costos sociales mínimos y un máximo de beneficios para los usuarios de las carreteras;
- es bueno para su imagen;
- en el caso de las compañías privadas, éstas quieren maximizar sus beneficios;
- una buena movilidad facilita y mejora las operaciones logísticas y la economía del país o región;
- un tiempo de construcción reducido significa menos embotellamientos o atascos, menor consumo de combustible y contaminación del aire. Por lo tanto, también es mejor para el medio ambiente.

La “reducción del tiempo y costo de construcción” ha sido elegido como uno de los temas de investigación dentro del comité técnico D2 “Firmes de Carreteras” de la AIPCR/PIARC.

No obstante, el tiempo y el costo de construcción son parámetros contradictorios. Lograr un tiempo de construcción más corto puede requerir una mayor cantidad de equipos y mano de obra, lo que incrementa el costo del proyecto. Por otro lado, la reducción de costos puede implicar equipos de bajo rendimiento y personal con menos experiencia, lo que incrementa el tiempo de ejecución.

Además de lo anterior, una vez que el trabajo ha sido concluido y pagado, existe la expectativa de que la construcción cumpla con su función durante la vida útil para la que se diseñó. En otras palabras, la reducción del tiempo y/o costo de la construcción no debe poner en riesgo la calidad del trabajo, la cual se puede medir con indicadores de desempeño. Efectivamente, una reducción del tiempo y/o costo de construcción no siempre conduce a un mejor proyecto. La reducción del tiempo y costo no debería de resultar en una pérdida de calidad, sino al contrario, el objetivo deberá ser la mejora de calidad en general. Por lo anterior, es mejor que se hable de la optimización del tiempo y el costo para lograr una calidad específica. En algunos casos, incluso el propietario de la carretera preferirá aceptar un mayor costo y/o tiempo de construcción para obtener un mejor resultado final, como puede ser una carretera con una vida útil más larga y que requiera de menos mantenimiento.

Se acordó para este tema:

“Identificar métodos para reducir el tiempo y el costo de construcción para diferentes tipos de pavimentos de carreteras sin afectar la calidad”.

Asimismo, el método elegido no deberá tener un impacto negativo sobre el medio ambiente, o de preferencia deberá ser una mejora con respecto al análisis ambiental del ciclo de vida (CO₂, energía, agua, residuos, entre otros).

2. Inventario y análisis de métodos para reducir el tiempo y costo de construcción

2.1 Inventario

Los métodos que pueden contribuir a la optimización del sitio de trabajo u obra, a partir de diferentes puntos de vista: del diseñador, del contratista, las autoridades, el usuario de la carretera; se pueden subdividir en tres ámbitos:

- Condiciones de licitación;
- Organización del trabajo en el sitio (obra); y
- Decisiones técnicas y tecnológicas adecuadas relacionadas con -
 - Aspectos generales;
 - Pavimentos de concreto; y
 - Pavimentos asfálticos.

Estos métodos pueden aplicarse tanto para la construcción de nuevas carreteras, así como para la conservación, la rehabilitación y las tareas de mantenimiento.

Para cada uno de los ámbitos se realizó un inventario de los métodos posibles:

Condiciones de licitación

- Bonificaciones – penalizaciones.
- Reducción de tiempo de construcción por parte del licitador
- Especificaciones basadas en el desempeño
- Asociaciones Público-Privadas
- Permitir la subcontratación – requerir personal o equipo especializados
- Sugerencias técnicas del licitador
- Criterios en la evaluación de la licitación (referencias, capacidad de trabajo, precalificación del licitador, solidez de la situación financiera, reputación, procedimientos de calidad)
- Renta de carril (*Lane rental*), concepto utilizado en algunos países que considera los costos de los usuarios de la carretera en la propuesta del licitador
- Situación del mercado “oferta y demanda”
- Calidad del diseño técnico

Organización del sitio de trabajo (obra)

- Manejo del tránsito
- Plan de calidad – control de calidad
- Trabajo nocturno
- Jornadas laborales de 24 horas diarias

- Trabajo durante el fin de semana o durante los 7 días de la semana
- Conciencia y comunicación pública
- Manejo del espacio en la obra

Decisiones técnicas adecuadas

Aspectos generales

- Optimización del diseño
- Capas de refuerzo (*overlay*) – Reposición parcial de capas (*inlay*) (concreto y asfalto)
- Reciclado en el sitio (concreto, asfalto, tratamiento de suelos, reciclado en el sitio con cemento, ligantes hidráulicos, cal, material bituminoso, etc.)

Pavimentos de concreto

- Concretos de desarrollo rápido de resistencia o *Fast Track* (concreto de fraguado rápido)
- Equipo: pavimentación sin cables ni línea guía de alambre (*stringless*), insertador de pasadores o pasajuntas, etc.
- Técnicas modulares (losas prefabricadas)
- Tableros de puentes

Pavimentos asfálticos

- Asfalto compacto
- Mezcla asfáltica tibia

2.2 Criterios de evaluación

Con respecto al difícil balance entre el tiempo de construcción, el costo de construcción y la calidad del trabajo, se realizará un análisis de los métodos seleccionados para efectos de definir sus fortalezas y debilidades. Los indicadores para estas fortalezas y debilidades se relacionarán con los objetivos finales (costo, tiempo, calidad) pero también con los diferentes aspectos de la construcción sustentable (consideraciones económicas, sociales y ambientales).

En la siguiente lista se resume un número de indicadores o criterios posibles:

- Análisis de costo-beneficio
- Costo inicial
- Costo del ciclo de vida
- Costos por demoras del usuario
- Tiempo de construcción
- Obstáculos para los usuarios de las carreteras
- Obstáculos para los residentes
- Calidad técnica y vida útil del pavimento
- Aceptación del público
- Flujo de tránsito
- Impacto ambiental
- Impacto sobre la salud y seguridad de los trabajadores
- Solución universal o solución limitada debida al desarrollo del país, condiciones climáticas, inversiones necesarias por parte de las autoridades o del contratista,...
- ...

2.3 Análisis

<u>Grupo de métodos</u>	Método para reducir el tiempo y el costo de construcción	Fortaleza - Evaluación positiva	Debilidad – Evaluación negativa
<u>Métodos relacionados con las condiciones de licitación</u>	Bonificaciones - penalizaciones	Un sistema de bonificaciones y/o penalizaciones puede estar relacionado con un menor tiempo de construcción y puede ser muy efectivo dependiendo de las cantidades asignadas.	<p>Cuando las bonificaciones y/o penalizaciones se vuelven demasiado importantes, el contratista se concentrará solamente en las condiciones requeridas para obtener la bonificación o evitar la penalización, siendo en este caso el tiempo de construcción. La continuidad de la obra en condiciones climáticas adversas o en condiciones técnicas menos favorables puede resultar en una disminución en la calidad del trabajo final. Aun cuando se cumpla con los requisitos contractuales, las consecuencias aparecen después de algunos años. Sin embargo, esto se puede contrarrestar mediante la implementación de un sistema adecuado de bonificaciones relacionado con aspectos de calidad.</p> <p>Un sistema de bonificaciones/penalizaciones tendrá siempre un efecto adverso sobre el precio global del trabajo, ya sea por la suma de la bonificación que se tiene que pagar o bien por el riesgo de la penalidad que el contratista calcula en su oferta.</p>
	Renta de carril	Puede considerarse como una forma particular del sistema de bonificaciones y por lo tanto es un incentivo para que el contratista trabaje más rápido.	Ver “Bonificaciones – Penalizaciones”.

<u>Grupo de métodos</u>	Método para reducir el tiempo y el costo de construcción	Fortaleza - Evaluación positiva	Debilidad – Evaluación negativa
	Reducción del tiempo de construcción por el licitador (cotización de costo+ tiempo)	El contratista es la parte mejor ubicada para estudiar y fijar el tiempo necesario para finalizar un trabajo completo. También es un incentivo para el contratista hacer uso de las mejores técnicas y equipos disponibles, utilizar técnicas y/o procedimientos innovadores e involucrar personal adicional para reducir el tiempo de construcción de forma razonable.	En un sistema donde la cotización más baja de “costo+tiempo” obtendrá el trabajo, las compañías considerarán las condiciones más favorables para efectos de alcanzar el tiempo de construcción más corto en sus cotizaciones. Sin embargo, durante la ejecución las condiciones pueden no ser óptimas y la compañía contratista buscará por otros medios respetar el tiempo de construcción de acuerdo con lo establecido en la cotización.
	Especificaciones basadas en el desempeño	Esta forma de licitación permite al contratista hacer uso de su experiencia y destreza de la mejor manera posible para entregar un producto que cumpla con el desempeño requerido.	El contratista puede buscar los umbrales inferiores de los requisitos que podrían resultar en un menor ciclo de vida del pavimento. Por ello se deben considerar períodos de garantía adicionales.
	Asociación Público-Privada	En contratos típicos de DBFM (diseño - construcción- financiamiento- mantenimiento), las partes involucradas buscan estructuras de carreteras que permitan un buen índice de costo/beneficio a largo plazo, incluyendo la etapa de mantenimiento (de preferencia mayor de 30 años).	La participación de terceros en el financiamiento del proyecto incluye costos adicionales a largo plazo (bancos de financiamiento, compañías de seguros, oficinas de gestión, etc.).
	Permitir la subcontratación – Requerir personal o equipo especializado	Trabajo realizado por especialistas que se puede lograr de forma más rápida y eficiente.	La participación de otras compañías conduce a costos de gestión mayores. Los trabajadores y las técnicas especializadas pueden ser más costosos con respecto a la inversión en el costo inicial.

<u>Grupo de métodos</u>	Método para reducir el tiempo y el costo de construcción	Fortaleza - Evaluación positiva	Debilidad – Evaluación negativa
	Sugerencias técnicas por parte del licitante o “Ingeniería de Valor”	La libertad que los contratistas tienen para incluir sugerencias técnicas en la cotización los impulsará a desarrollar y utilizar técnicas y aplicaciones innovadoras, lo cual les permite beneficiarse de las técnicas de propiedad de la compañía. Éstas pueden tener un impacto positivo sobre el tiempo de construcción, precio o calidad del trabajo.	No todas las compañías tienen la misma experiencia, personal, maquinaria, etc., lo que podría resultar en una competencia injusta entre las mismas. El beneficio puede estar presente para el contratista pero no necesariamente para el propietario de la carretera.
	Criterios en la evaluación de la licitación	Se puede escoger el mejor contratista posible al tomar en cuenta múltiples criterios, tales como: <ul style="list-style-type: none"> - Precio de oferta - Referencias - Precalificación - Solidez de la situación financiera - Reputación - Procedimientos de calidad 	Hasta una compañía con buenas referencias puede haber sufrido una reestructuración y por lo tanto ya no cumple con los requisitos. O buenas referencias se pueden obtener mediante el trabajo de subcontratistas que ya no trabajan para la compañía.
	Situación del mercado “Oferta y demanda”	Durante los períodos en los que pocos trabajos se licitan, los precios serán menores debido a que habrá competencia más intensa.	Cuando existe una alta demanda de contratistas (períodos de alta coyuntura), los precios de oferta aumentarán.
	Calidad del diseño técnico	Un diseño completo y bien pensado conduce a una competencia justa con un mínimo de trabajos adicionales durante la ejecución.	Diseños malos conducen a especulación durante los procedimientos de licitación y resultarán en costos adicionales durante la ejecución.

<u>Grupo de métodos</u>	Método para reducir el tiempo y el costo de construcción	Fortaleza - Evaluación positiva	Debilidad – Evaluación negativa
<u>Métodos relacionados con la organización del sitio de trabajo</u>	Manejo del tránsito	Mejor flujo del tránsito, costos sociales menores.	Costos de administración adicionales.
	Conciencia y comunicación pública	Incrementa la aceptación del público.	Costos adicionales para campañas de comunicación a través de diferentes medios.
	Plan de calidad – control de calidad	Mejor calidad conduce a costos menores del ciclo de vida.	Costos adicionales por el control de calidad, administración adicional.
	Trabajo nocturno	Menos interrupción al tránsito, costos sociales más bajos, mejor aceptación del público.	Riesgo de obtener menor calidad en el trabajo terminado. Costos adicionales por horas irregulares. Mayor presión social sobre los trabajadores (vida familiar, salud).
	Jornadas laborales de 24 horas al día	Menor tiempo de construcción.	Costos adicionales por horas irregulares. Mayor presión social sobre los trabajadores (vida familiar, salud).
	Trabajo durante el fin de semana o los 7 días de la semana	Menor tiempo de construcción.	Costos adicionales por horas irregulares. Mayor presión social sobre los trabajadores (vida familiar, salud).
	Manejo de espacio en la obra.	La buena organización del tránsito en la obra puede reducir el tiempo y el costo.	Posibles costos adicionales por vías temporales en la obra u otra infraestructura.
<u>Métodos relacionados con decisiones técnicas adecuadas</u>	<u>Relacionados con aspectos generales</u>		
	Optimización del diseño	Optimización = cumplir con las especificaciones requeridas al mejor precio o en el mejor tiempo posibles. La investigación sobre la situación real es una cuestión importante en el enfoque de optimización.	Optimización = menor margen de seguridad en el diseño y por lo tanto, mayor variabilidad en el desempeño.

<u>Grupo de métodos</u>	Método para reducir el tiempo y el costo de construcción	Fortaleza - Evaluación positiva	Debilidad – Evaluación negativa
	Capa de refuerzo (<i>overlay</i>) – Sustitución parcial de capas (<i>inlay</i>)	<p>La utilización de la estructura existente como subbase de la nueva carretera significa:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menos trabajos de demolición; - Menor uso de materiales vírgenes; - Menos transporte y por lo tanto, menor daño a carreteras adyacentes o de acceso. <p>En general se puede considerar como una solución rentable en cuanto a costo y tiempo.</p>	<p>Es necesario tener un buen conocimiento de la estructura existente para asegurarse de que pueda resistir las cargas del nuevo diseño. Esto puede ser de acuerdo con las mediciones obtenidas con el deflectómetro de impacto (FWD, por sus siglas en inglés) y georadares, así como la toma de corazones o núcleos. No siempre es posible elevar el perfil de la carretera debido a la infraestructura (puentes) y edificaciones existentes.</p>
	Reciclaje en el sitio	<p>Menor uso de materiales vírgenes. Menos transporte (acarreo) de materiales. Respetuoso del medio ambiente. Más barato que medios convencionales.</p>	<p>Control de calidad adicional requerido. Los materiales reciclados no siempre son adecuados para concreto nuevo en todos los casos. Puede requerirse la instalación de una unidad de cribado y triturado en la obra para lograr un tamaño mínimo y máximo.</p>
<u>Relacionados con pavimentos de concreto</u>			
	Concretos de desarrollo rápido de resistencia o <i>Fast track</i> (concreto de fraguado rápido)	Menor tiempo de construcción, más pronta habilitación al tránsito.	Se debe asegurar la durabilidad a largo plazo. Puede haber dificultades con la trabajabilidad de la mezcla de concreto. Los precios del material pueden ser mayores.
	Equipo: pavimentación sin cables o línea guía de alambre o inalámbrico (<i>stringless</i>)	<p>Ahorro en costos de mano de obra. Mayor seguridad en la obra. Mejor regularidad superficial.</p>	<p>Confianza en los sistemas de GPS. Costos por equipo.</p>

<u>Grupo de métodos</u>	Método para reducir el tiempo y el costo de construcción	Fortaleza - Evaluación positiva	Debilidad – Evaluación negativa
	Equipo: insertador de pasajuntas para pavimento de concreto con juntas (JPCP, por sus siglas en inglés); colocación con máquina de firmes con refuerzo continuo (CRCP, por sus siglas en inglés)	La colocación de pasajuntas o refuerzos longitudinales con equipos automáticos puede ser rentable en cuanto a tiempo y costos.	Se debe asegurar la posición exacta de las pasajuntas o barras de acero. Necesidad de dispositivos adicionales en la pavimentadora de encofrado deslizante.
	Técnicas modulares (losas prefabricadas)	Rápida construcción y habilitación al tránsito. No hay necesidad de curado en la obra. Concreto de alta calidad.	Sistemas caros. Diferentes tipos de técnicas; se requiere mano de obra calificada.
	Tableros de puentes	Mejor transición entre el pavimento y el tablero de puente con los mismos materiales. Rentable por el ahorro de pavimento asfáltico.	La rehabilitación de superficies es más difícil.
<u>Relacionados con pavimentos asfálticos</u>			
	Pavimentos asfálticos compactos (colocación de asfalto en caliente)	Reducción del tiempo de construcción mediante la colocación de la capa superficial y la capa intermedia en una sola operación. Ahorro de espesor en la capa de rodadura. Reducción del costo global.	Se requiere una máquina especial para pavimentar o una pavimentadora convencional modificada.
	Mezcla asfáltica tibia	Reducción del tiempo de construcción y del tiempo de cierre de carriles debido al alto rendimiento a temperaturas más bajas. Reducción del costo de combustible en la planta de asfaltos. Reducción de las emisiones de CO ₂ .	Incremento del costo de mezclas asfálticas.

Es evidente que siempre se puede trabajar ya sea de manera más fácil o barata, pero reducir tanto el costo como el tiempo de un proyecto de carretera sin afectar la calidad del resultado final parece casi imposible. El reto es optimizar la relación de costo-tiempo-calidad para un proyecto específico. A partir de la tabla anterior, se hicieron las siguientes observaciones:

- Algunos métodos apuntan hacia la reducción del tiempo de construcción pero al mismo tiempo requieren mayores costos de inversión, materiales o mano de obra. Esto aplica para pavimentos de asfalto y de concreto;
- Para algunos procedimientos, el costo aparente se contrarresta parcialmente por otros costos que muchas veces están ocultos, y de los que solamente algunos aparecerán después de la construcción a través del bajo desempeño del pavimento;
- Los métodos de ejecución automatizados (basados en GPS, equipo específico, etc.) pueden ser rentables únicamente si hay suficiente retorno sobre la inversión para el equipo y si los sistemas funcionan adecuadamente con un muy alto grado de confianza;
- El éxito de las medidas que se tomen depende en gran parte del factor humano: esfuerzos, habilidades y atención de los trabajadores y operadores de las máquinas; disponibilidad y motivación de los individuos, especialmente para trabajar en turnos, en la noche y durante el fin de semana.

2.4 Estudios de caso

Se recolectaron 19 estudios de caso, la mayoría de los cuales describen brevemente una obra o proyecto donde uno o más de los métodos abordados en el párrafo anterior se implementaron.

14 estudios de caso están relacionados con los pavimentos de concreto y 5 con aplicaciones de asfalto o bitumen. Todos han sido evaluados de la misma forma y la siguiente tabla nos proporciona para cada uno los métodos que se utilizaron para la reducción del tiempo y costo de construcción.

<u>País</u>	<u>Estudio de caso</u>	<u>Métodos aplicados para la reducción del tiempo y costo de construcción</u>
Bélgica	Reparación profunda de concreto continuamente reforzado en la autopista A10 Bruselas-Oostende (2002, 2003 y 2009).	<ul style="list-style-type: none"> - Oferta de Costo+Tiempo. - Fases en la planeación que permiten mantener el tránsito a su máxima capacidad. - Decisión técnica de reparación profunda. - Concreto de alta calidad para pavimentos que abren al tránsito después de los 6 días de curado. - Uso de pavimentadora de encofrado deslizante guiada automáticamente por medio de estaciones totales.
Bélgica	La rehabilitación de la Antwerp Ring Road (2004-2005)	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción del tiempo de construcción por parte del licitador. - Trabajo los 7 días de la semana.

<u>País</u>	<u>Estudio de caso</u>	<u>Métodos aplicados para la reducción del tiempo y costo de construcción</u>
		<ul style="list-style-type: none"> - Trabajos de colocación de concreto las 24 horas al día. - Optimización del flujo de tránsito en la obra. - Plantas en la obra. - Análisis del costo y ciclo de vida (LCCA, por sus siglas en inglés) y análisis de multicriterio. - Máximo reciclaje en la obra. - Importantes medidas para el manejo de tránsito. - Importante campaña de comunicación.
EEUU	Reconstrucción acelerada de intersecciones en el estado de Washington.	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla de concreto de fraguado rápido. - Trabajo en fines de semana. - Proceso de construcción por etapas. - Campaña de Relaciones Públicas.
EEUU	Reparaciones intermitentes de pavimentos de concreto con juntas mediante la utilización de paneles prefabricados de concreto.	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de tecnología prefabricada. - Trabajo nocturno.
Austria	Asociación Público-Privada en la región oriente de Austria.	<ul style="list-style-type: none"> - Asociación Público-Privada.
Sudáfrica	Reparaciones de un pavimento de concreto continuamente reforzado.	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla de concreto de fraguado rápido. - Trabajo nocturno. - Sugerencias técnicas.
Austria	Reconstrucción de la carretera A1 Regau – Seewalchen utilizando concreto reciclado.	<ul style="list-style-type: none"> - Reciclaje en el sitio. - Medidas para el manejo del tránsito.
México	Reconstrucción de pavimento de la carretera México-Querétaro (Tepalcapa – Palmillas)	<ul style="list-style-type: none"> - Reposición de capas (<i>inlay</i>). - Trabajo en fines de semana. - Etapas. - Manejo del tránsito. - Subcontratación. - Equipo: pavimentación sin línea guía de alambre (<i>stringless</i>), insertador de pasajuntas, plantas en el sitio.
Hungría	Capas de refuerzo delgadas (<i>Whitetopping</i>) sobre un pavimento asfáltico deformado de una intersección urbana de alto tránsito.	<ul style="list-style-type: none"> - Técnica de reparación profunda. - Mezcla de concreto de fraguado rápido.

<u>País</u>	<u>Estudio de caso</u>	<u>Métodos aplicados para la reducción del tiempo y costo de construcción</u>
Alemania	Reciclaje de una superficie de concreto y utilización de un agregado reciclado en la capa de base dentro del marco de trabajo de la reconstrucción completa de la autopista BAB A11 entre Berlin y Szczecin (Stettin) (2009).	<ul style="list-style-type: none"> - Reciclaje. - Plantas en el sitio. - Manejo del tránsito. - Manejo del espacio en la obra.
Alemania	Rehabilitación acelerada (<i>Fast track</i>) de losas de concreto en pavimentos de carreteras y aeropuertos en un sólo turno con la utilización de concreto de fraguado rápido.	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla de concreto de fraguado rápido. - Trabajo nocturno. - Equipo especial (mezcladoras móviles). - Organización de la obra.
Alemania	Reconstrucción de carreteras de concreto fatigadas y desgastadas mediante la utilización de una capa de refuerzo de concreto de extremadamente alto desempeño – una prueba de campo utilizando un carril de estacionamiento para vehículos pesados.	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla de concreto de fraguado rápido.
Francia	Pavimento Urbano Removible	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema modular
Japón	Pavimento de concreto con cemento de bajo costo que permite la apertura temprana al tránsito.	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla de concreto de fraguado rápido. - Trabajo nocturno.
Alemania	Método innovador y económico de pavimentación para pavimentos asfálticos.	<ul style="list-style-type: none"> - Asfalto compacto.
Alemania	Reconstrucción de las pistas norte y sur del Aeropuerto de Frankfurt con mezcla asfáltica tibia.	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla asfáltica tibia. - Trabajo nocturno. - Organización de la obra.
Alemania	Pavimentación asfáltica en caliente en Alemania.	<ul style="list-style-type: none"> - Asfalto compacto.
Canadá	Reciclaje en frío en Canadá.	<ul style="list-style-type: none"> - Técnica de reciclaje en el sitio.
Japón	Mezcla asfáltica tibia en Japón.	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla asfáltica tibia.

Algunas de las observaciones a partir de los Estudios de caso:

- En la mayoría de los proyectos, el cliente o la sociedad fijan las condiciones de inicio y determinan el modo de proceder. Por ejemplo, el tiempo en que un aeropuerto debe estar en funcionamiento conduce a una ejecución distribuida en más de 600 noches, mientras que una rehabilitación integral obviamente requeriría un tiempo de construcción menor; sin embargo, esto no fue posible. Lo mismo aplica para las carreteras de tránsito intenso, en donde un número determinado de carriles siempre debe permanecer abierto o en donde las preparaciones deben suceder en una noche;
- La preparación y organización de la obra, que es principalmente una tarea del contratista, parece ser uno de los elementos claves para el éxito de otras medidas. O a la inversa, los materiales o técnicas innovadores están destinados a fracasar cuando los procedimientos en la obra no se definen ni se siguen de manera estricta;
- La innovación en el uso de materiales tiende a resolver los puntos débiles del uso o comportamiento del material. Para pavimentos de concreto, las mezclas especiales apuntan a mayor resistencia del concreto joven, mientras que para el asfalto el objetivo es mezclas que puedan ser producidas y colocadas a temperaturas menores. Ambos desarrollos tienen principalmente el mismo propósito: la reducción del tiempo de construcción, la reducción de molestias para los usuarios de las carreteras y un impacto positivo en general para el medio ambiente.

Los estudios de caso dan una buena idea acerca de las diferentes técnicas disponibles y su uso a nivel mundial. Confirman la dificultad de combinar la reducción de tiempo y costo y a su vez nos enseñan que estos temas han adquirido mucha importancia y que las tareas de investigación y desarrollo aún se están llevando a cabo en estos campos.

3. Conclusiones y Recomendaciones

Existe un gran número de herramientas disponibles para influenciar el tiempo y costo de construcción para un proyecto específico. Estas herramientas, que están relacionadas con los procedimientos de licitación, cuestiones técnicas y de organización, se han discutido y evaluado. Aunque las condiciones pueden ser muy divergentes para distintos proyectos, se necesita buscar una visión a largo plazo. Otras herramientas para el apoyo de decisiones, tales como el análisis del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) para medir el impacto ambiental y el análisis del costo y ciclo de vida (LCCA, por sus siglas en inglés) para medir el impacto económico son de mucha ayuda en la toma de decisiones correcta. Ciclos de vida completos, de principio a fin, incluyendo la etapa de utilización, se deben tomar en cuenta. Las consecuencias negativas de una reducción del tiempo o del costo sobre el comportamiento o impacto ambiental a largo plazo deben ser lo más bajas como sea posible. Por lo tanto, todos los métodos abordados en el presente documento deben ser utilizados con cuidado; por ejemplo, un contratista no debe seguir pavimentando en condiciones climáticas adversas únicamente por la bonificación que obtendrá al lograr un tiempo de construcción menor. Las bonificaciones por reducción de tiempo deben de ir de la mano con bonificaciones/penalizaciones por calidad del trabajo. Para el caso de las especificaciones basadas en el desempeño, se debe proporcionar un período extendido de garantía. La duración de este período de garantía deberá ser diferente para asfalto y concreto, debido a la que ambos pavimentos tienen una vida útil distinta. Para los contratos con asociaciones público-privadas tipo DBFM (Diseño - Construcción - Financiamiento - Mantenimiento), el período de mantenimiento que debe considerarse tiene que ser lo suficientemente extenso (30 años o

más) para estimular pavimentos de larga vida que requieran de mínimo mantenimiento a lo largo de la misma.

Como conclusión y recomendación final, el tema de la “reducción” del tiempo y costo de construcción deberá ser planteado mejor como una “optimización”. Efectivamente, el objetivo es encontrar una solución balanceada que cumpla con todos los objetivos, tomando en cuenta las diferentes prioridades y condiciones específicas del proyecto. Para proyectos más grandes, esto puede ser un ejercicio difícil y se podría utilizar un análisis de multicriterio para efectos de llegar a la solución más apropiada en relación con los criterios: costo, tiempo de construcción, calidad, medio ambiente, etc. Esta “mejor solución” puede lograrse únicamente cuando cada parte toma responsabilidad propia durante el proceso de construcción. Cada jugador, desde el diseñador y el calculista hasta el trabajador en la obra, debe ser consciente de la importancia de su contribución. Debe siempre recordar que cada idea, iniciativa o acción tiene un impacto en el resultado final y que puede hacer la diferencia.