

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS EN LA REHABILITACIÓN DE  
PAVIMENTOS PARA CARRETERAS

JUAN CARLOS MALTEZ ROMILLO  
CARNÉ 100011990

Guatemala, julio 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS EN LA REHABILITACIÓN DE  
PAVIMENTOS PARA CARRETERAS

Informe final de Tesis para la obtención del grado de Maestro en Ciencias, con base en el “Normativo de Tesis para optar al Grado de Maestro en Ciencias” aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas de septiembre del 2004.

Asesora:

Inga. Civil Jessica Paiz Soto

Autor:

Ing. Civil Juan Carlos Maltez Romillo

Guatemala, julio 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano:	Lic. Eduardo Antonio Velásquez Carrera
Secretario:	Lic. Oscar Rolando Zetina Guerra
Vocal I:	Lic. Canton Lee Villela
Vocal II:	Lic. Álbaro Joel Girón Barahona
Vocal III:	Lic. Juan Antonio Gómez Monterroso
Vocal IV:	P.C. Efrén Arturo Rosales Alvarado
Vocal V:	P.C. José Abraham González Lemus

JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ  
EL EXAMEN GENERAL DE TESIS SEGÚN EL ACTA CORRESPONDIENTE

Presidente:	Msc. José Alberto Ramírez Crespín
Secretario:	Msc. José Rubén Ramírez Molina
Vocal 1:	Msc. Erick Rolando Hernández Ruiz
Asesora de Tesis:	Ing. Jessica Estela Paiz Soto

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo:

A Dios, por velar y cuidar siempre por mí

A mi esposa María José Ventura de Maltez y a mis hijos Xavier y André, por darme felicidad en mi vida.

A mi mamá, papá y hermanos

A mi abuelo y tíos

A mi gran familia política

A la promoción 2004 de la Maestría en Administración Financiera

A todos los que me apoyaron y de alguna manera contribuyeron a que culminaran estos estudios.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Económica, Universidad de San Carlos de Guatemala, por todo el apoyo, orientación y ánimos que me dieron para realizar esta tesis de graduación.

Al Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, mediante la Dirección General de Caminos, por la asesoría que me brindaron para realizar la investigación que estoy presentando.

Al personal de Cementos Progreso, por la asesoría técnica que recibí en especial a la gente del Centro Tecnológico y de la Unidad de Soluciones Viales.

## ÍNDICE GENERAL

	No. de página
<b>Resumen</b>	<b>i</b>
<b>Introducción</b>	<b>iii</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>GENERALIDADES</b>	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Marco teórico y conceptual	3
1.4 Metodología	5
1.4.1 Etapas del método científico	5
1.5 Hipótesis	6
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REHABILITACIÓN DE CARRETERAS</b>	
<b>2. Rehabilitación de carreteras</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS</b>	
<b>3. Nuevas tecnologías en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico. Sistema de losas cortas.</b>	<b>9</b>
3.1 Consideraciones del Sistema de Losas Cortas	9
3.1.1 Efecto del alabeo en las losas de concreto	10
3.1.2 Rigidez de las bases	11
3.1.3 Efecto del largo de la losa	12
3.1.4 Efecto de adherencia	12
3.2 Aplicación del Sistema de Losas Cortas en el tramo CA-09 Sur	14
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>FORMULACIÓN DEL PRESUPUESTO</b>	
<b>4. Formulación del presupuesto para la rehabilitación de tramos carreteros</b>	<b>18</b>

4.1 Definición de costos (beneficios) para la rehabilitación	
de carreteras	18
4.1.1 Costo inicial	18
4.1.2 Costo de mantenimiento	18
4.1.3 Costo de operación	19
4.1.4 Valor de rescate	20

## **CAPÍTULO V**

### **ADMINISTRACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN**

<b>5. Administración de costos de producción</b>	<b>21</b>
5.1 Desglose de actividades para la rehabilitación	21
5.1.1 Costos iniciales	21
5.1.2 Costos de mantenimiento	22

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS FINANCIERO**

<b>6. Análisis financiero</b>	<b>24</b>
6.1 Determinación de los parámetros utilizados	24
6.1.1 Determinación de costos	24
6.1.2 Selección de tasa de descuento apropiada	25
6.2 Utilización del Valor Actual Neto	27

<b>Conclusiones</b>	<b>29</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>31</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>32</b>
<b>Anexos</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- 1.1 Fotografía de pavimentos de concretos zona 1. Guatemala. 2
- 1.2 Diagrama de flujos en la construcción de carreteras 4

### CAPÍTULO II

- 2.1 Utilización de Whitetopping para rehabilitación de carreteras 7
- 2.2 Diferencias en la construcción de carreteras de concreto y asfalto 8

### CAPÍTULO III

- 3.1 Alabeo medido en una losa de piso industrial 10
- 3.2 Las losas más pequeñas tendrán menores fuerzas de retracción 11
- 3.3 Voladizo creado por la rigidez de las bases 11
- 3.4 Efecto del largo de la losa 12
- 3.5 Efecto de la adherencia en las losas de concreto 13
- 3.6 Software Winpas. ASSHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos 14
- 3.7 Software Pavement Evaluator – HDM4 – para losas de dimensiones estándar 15
- 3.8 Software Pavement Evaluator – HDM4 – para losas cortas 16
- 3.9 Fotografía del tramo CA-09 Sur 17

### CAPÍTULO VI

- 6.1 Diagrama de flujos para la rehabilitación de carreteras en concreto hidráulico 25
- 6.2 Análisis gráfico de las opciones de rehabilitación 28



## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO V

5.1 Desglose comparativo de costos entre las alternativas	21
5.2 Costo de construcción inicial por kilómetro	22
5.3 Costo de mantenimiento por kilómetro	23

### CAPÍTULO VI

6.1. Análisis comparativo del VAN con diferentes tasas de descuento	27
---	----

## RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación contiene, como su nombre lo indica, un análisis comparativo de costos entre las dos opciones más utilizadas para la rehabilitación de pavimentos de carreteras: el concreto asfáltico y el concreto hidráulico. En dicho trabajo primero se define lo que es la rehabilitación de pavimentos, tanto en concreto hidráulico como en concreto asfáltico, después se hace referencia a las nuevas tecnologías que en la actualidad se utilizan para este tipo de actividades, las cuales ya han comenzado a ser aplicadas en el país, y se comentan sus principios fundamentales.

Como paso siguiente se definen los parámetros que fueron utilizados para el análisis, partiendo de los costos que son tomados en cuenta y el por qué de su utilización, para establecer como se efectuó el análisis financiero de las alternativas. El Análisis de Costo de Ciclo de Vida, ACCV, es una herramienta económica que permite la comparación del valor de alternativas de igual desempeño y duración. La importancia de su uso se debe principalmente a que reconoce el valor del dinero en el tiempo y permite de esta manera evaluar las alternativas de una manera más eficiente desde el punto de vista financiero.

Con el objetivo de poner en práctica la teoría financiera y de la ingeniería desarrolladas en la investigación, se muestra un ejemplo real de rehabilitación de carreteras en uno de los tramos viales más importantes del país, el tramo CA-09 Sur, de Escuintla a Puerto Quetzal.

La investigación mostró en el ejemplo utilizado que los Costos Iniciales de la alternativa de pavimentos de concreto asfáltico eran 12.47 % menores. Sin embargo, en lo que son Costos de Mantenimiento, el pavimento de concreto hidráulico resultó ser una mejor alternativa, pues el valor del mantenimiento del concreto asfáltico fue 4.5984 veces mayor.

El análisis financiero consistió en la obtención del Valor Actual Neto para los costos de ambas alternativas. Se hizo con tres diferentes tasas de descuento: 0%, 4% y 12%, y en todos los resultados la opción de la rehabilitación con

pavimentos de concreto hidráulico obtuvo mejores resultados, esto indica una optimización en el uso de los recursos y comprueba la hipótesis planteada.

## INTRODUCCIÓN

Las carreteras son medios de comunicación, en el tiempo su importancia ha ido cambiando. En un principio fueron utilizadas para comunicar poblaciones, al mejorar la integración de los países y ser el medio por el cual se facilitaba la distribución de las mercancías; ahora constituyen un factor importante relacionado con el aumento de la producción, actividades, la economía de los países y el desarrollo social.

En un mundo más globalizado día a día, con un aumento considerable en el intercambio de bienes y servicios, se hace necesario optimizar los recursos con los que el país cuenta, para brindar al usuario la comodidad, seguridad y fluidez adecuadas, y contribuir al desarrollo económico deseado, al hacer inversiones rentables a lo largo del tiempo.

Las características originales en la construcción de carreteras, con el tiempo, se van deteriorando, y debido a que los costos de transporte, de personas o de mercadería, están relacionados directamente con los deterioros que estas vías de transporte presentan, se hace necesario invertir en su rehabilitación.

La utilización de nuevas tecnologías en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico ha permitido una reducción considerable en los costos de las mismas, siempre manteniendo igual calidad en su vida útil. Constituyen alternativas que bajo ningún punto de vista deben pasar inadvertidas por las personas encargadas de tomar decisiones en lo que concierne al mejoramiento de la red vial de un país.

El objetivo de esta investigación fue analizar financieramente las opciones que se tienen para la rehabilitación de pavimentos para carreteras. Debido a que todo pavimento se deteriora de manera diferente, cada rehabilitación es única y por lo tanto necesita un adecuado análisis de ingeniería. De esta cuenta se usó el caso específico de la rehabilitación de pavimentos de una importante carretera en Guatemala. La rehabilitación de la CA-9 Sur, de Escuintla a Puerto Quetzal, efectuada en el año 2005.

Primero se determinaron los costos en los que se incurrirá a lo largo de la vida útil. Se comparó financieramente la utilización de una rehabilitación de pavimentos tradicional con concreto asfáltico y de esta nueva tecnología de concreto hidráulico. Partiendo del análisis de costos se llegó a comparar las dos opciones financieramente para obtener el valor del dinero en el tiempo, y así poder establecer el costo real de la inversión y cual de las dos opciones optimiza el uso de los recursos económicos.

El Capítulo I establece las generalidades del tema a tratar, se plantean antecedentes, objetivos, Marco Teórico a utilizar, la metodología de la investigación y la hipótesis.

El Capítulo II resume lo que es la rehabilitación de carreteras tanto en concreto asfáltico como en concreto hidráulico.

El Capítulo III presenta una de las nuevas tecnologías en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, el Sistema de Losas Cortas. Se hace referencia a las consideraciones técnicas para su uso y se presenta un ejemplo real de aplicación en Guatemala.

El Capítulo IV es la formulación del presupuesto para la rehabilitación de carreteras. Se definen los diferentes costos y beneficios que se utilizarán en el trabajo de investigación.

El Capítulo V trata los costos de producción. Se presentan los costos iniciales y de mantenimiento que fueron utilizados para la rehabilitación del tramo CA-09 Sur, el cual fue la base del análisis financiero en el presente trabajo.

El Capítulo VI es el análisis financiero de los costos que tuvo la rehabilitación del tramo carretero previamente mencionado. Primero se determinaron los parámetros a utilizar y luego se obtuvo el Valor Actual Neto de las alternativas de concreto asfáltico y concreto hidráulico, con diferentes tasas de descuento.

Al final se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## **CAPÍTULO I GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

La construcción de carreteras data desde los tiempos de los egipcios. Según el padre de la historia, Herodoto, el rey Keops construyó un camino para el transporte de los materiales de la gran pirámide. Se mencionan también en sus escritos, caminos importantes en Babilonia, con cerca de 400 millas de longitud.

Sin embargo los trabajos más importantes de la antigüedad son los realizados por los romanos, los cuales diseñaron una red impresionante de calzadas que salían desde Roma y la comunicaban con casi todo el mundo conocido en ese entonces.

En Italia, coincidentemente, tienen sus orígenes las primeras carreteras diseñadas para el transporte de vehículos motorizados.

En una carretera, el pavimento es la superficie artificial creada para darle estabilidad y solidez al piso. Actualmente, en lo que a la construcción de carreteras se refiere, la ingeniería civil utiliza dos tipos de pavimentos principalmente. El primero es el pavimento flexible, el cual está hecho a base de asfalto, y el segundo el pavimento rígido, elaborado a base de losas de concreto hidráulico.

Los pavimentos más utilizados a la fecha son los flexibles, los cuales representan cerca del 95% del total de carreteras en el mundo. Esto se debe principalmente a dos causas, la primera es que por mucho tiempo ha persistido la idea de que los costos que representaba la construcción de pavimentos rígidos eran mucho mayores; y la segunda es que anteriormente existía abundancia y bajos costos del material asfáltico, derivado del petróleo.

En la actualidad y como resultado del avance en los estudios de la utilización de concreto para pavimentos, nuevas metodologías se han desarrollado, presentando una opción competitiva no sólo en costos, sino que en materia de duración y bajo mantenimiento.

En Guatemala la utilización de pavimentos de concreto hidráulico data de los años sesenta del siglo XX, en fechas recientes y derivado de la buena experiencia que se ha tenido en tramos carreteros se ha comenzado a utilizar con mayor frecuencia la alternativa de los pavimentos rígidos.

*Figura 1.1 Fotografía de pavimentos de concreto zona 1. Guatemala.*



Fuente: Ing. Estuardo Herrera. Centro Tecnológico, Cementos Progreso.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar, mediante un análisis financiero comparativo, cuál de las alternativas para rehabilitar pavimentos de carreteras, en concreto asfáltico o concreto hidráulico, optimiza el uso de los recursos a invertir.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Establecer los costos relacionados con la rehabilitación de pavimentos de carreteras.
- Establecer comparativamente el costo inicial de construcción por kilómetro cuadrado de pavimentos de concreto asfáltico y de concreto hidráulico.

- Establecer comparativamente los costos de mantenimiento para pavimentos de concreto asfáltico y de concreto hidráulico.
- Determinar el valor presente de los diversos flujos de efectivo futuros que se tendrán en una carretera, en un período de tiempo determinado, Valor Actual Neto (VAN), para la rehabilitación de pavimentos de carreteras en concreto asfáltico y en concreto hidráulico.

### **1.3 Marco teórico y conceptual**

El “Análisis de Costo de Ciclo de Vida”, ACCV, es una metodología que sirve para comparar diseños alternativos de pavimento. Es un proceso económico usado para establecer que alternativa tiene el mejor valor mediante el estudio de los diferentes costos en que se incurre a lo largo de la vida útil de una carretera.

Es necesario mencionar que este análisis es una herramienta financiera y en ningún momento determina el rendimiento de la vía: qué tan bien o cuánto va a durar. Es por eso que el estudio de ingeniería es tan importante, pues asegura que cada alternativa cumpla con los mismos criterios y provea resultados similares.

El ACCV se divide en dos partes, un análisis primario, donde se estudia si es necesario hacer el proyecto, al tomar en cuenta incluso la alternativa de no hacerlo. El análisis secundario compara las alternativas que satisfacen el primario, la comparación muestra el mejor valor.

La forma más común del ACCV es un Valor Presente: que es la suma de todos los costos y beneficios en términos monetarios. Utiliza costos iniciales con costos futuros de mantenimiento, costos de rehabilitación y un valor de rescate al final del período de análisis. Estos costos se descuentan utilizando una tasa de descuento adecuada al valor en el tiempo del dinero. Ambas alternativas deben de tener iguales períodos de análisis para hacer válida esta comparación.



La siguiente ecuación calcula el Valor Presente:

$$VP = CI + \sum \left[ \frac{CM}{(1+i)^n} + (CO) + CRF \right] - \frac{VR}{(1+i)^n}$$

En donde:

VP = Valor Presente

CO = Costo de Operación

CI = Costo Inicial

CRF = Costo de Rehabilitación

CM = Costo de Mantenimiento

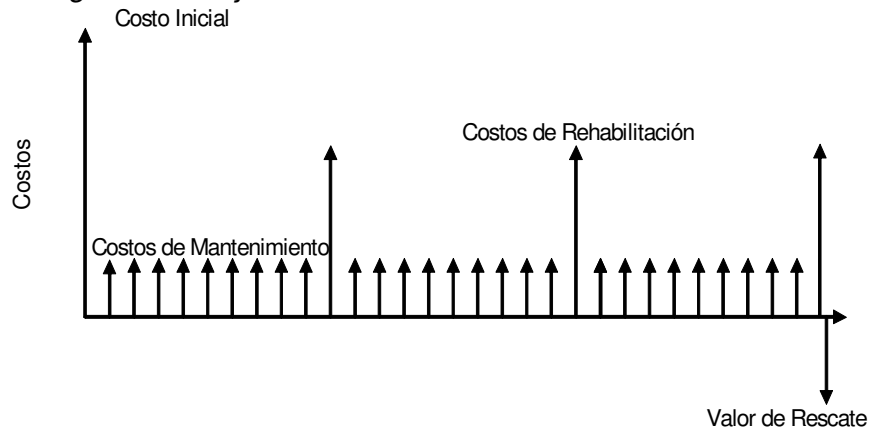
Futuro

i = Tasa de descuento

VR = Valor de Rescate

n = Número de años para el análisis

Figura 1.2 Diagrama de flujos en la construcción de carreteras



Fuente: Elaboración propia.

Para la rehabilitación de carreteras no todos los parámetros mostrados anteriormente se utilizan, por lo que para esta investigación se seleccionaron solamente aquellos que están relacionados directamente con el caso particular, por lo cual se definen a lo largo de la investigación los diferentes costos (beneficios) que se emplearon.

El análisis de ingeniería brinda dos alternativas iguales en tiempo y calidad, con el fin de compararlas y determinar así la mejor opción.

## 1.4 Metodología

Para esta tesis se utilizó como método de trabajo el **Método Científico**, debido a que es una investigación con referencia empírica, la cual fue tomada en un caso en específico en el país. La investigación plantea respuestas a los problemas enfrentados y se apoya en sus afirmaciones por medio de la verificación empírica.

Además, la investigación fue de carácter Autocorrectiva, de manera que se ajustaron o rechazaron las propias conclusiones, estando abierta a nuevos aportes y la utilización de nuevas técnicas y procedimientos. La investigación se trató de hacer objetiva, procurando no distorsionarse en su realización.

### 1.4.1 Etapas del método científico

1. Percepción de la dificultad. El hecho de tener opciones al momento de escoger la forma de rehabilitar una carretera, es tener que reflexionar para seleccionar la mejor opción.
2. Identificación y definición de la dificultad. El análisis del costo de ambas inversiones es prioritario para la escogencia de la mejor opción.
3. Solución propuesta para el problema. Hipótesis: La utilización de pavimentos de concreto hidráulico para la rehabilitación de carreteras optimiza el uso de los recursos invertidos, comparado con los pavimentos de concreto asfáltico.
4. Deducción de la consecuencia: Si la hipótesis es verdadera, seguirán definitivamente ciertas consecuencias.
5. Verificación de la hipótesis: El uso de herramientas financieras verificará o no, la hipótesis planteada.

## **1.5 Hipótesis**

La utilización de pavimentos de concreto hidráulico para la rehabilitación de carreteras optimiza el uso de los recursos invertidos, comparado con los pavimentos de concreto asfáltico.

## CAPÍTULO II

### REHABILITACIÓN DE CARRETERAS

Una rehabilitación de carreteras se considera un segundo nivel en lo que es la conservación y el mantenimiento la cual se realiza cuando las condiciones originales con las que la vía fue construida, han llegado a un deterioro considerable. La rehabilitación de carreteras debe basarse en el tipo y la extensión de daños en el pavimento.

En el caso de los pavimentos de concreto asfáltico, la rehabilitación se hace mediante un reforzamiento de la carpeta de rodadura o un agrandamiento de la misma. Otra manera de rehabilitar las carreteras de asfalto es mediante lo que se conoce como Whitetopping, que es una capa de concreto sobre la antigua superficie de asfalto, previamente fresada. Este último método ha demostrado ser realmente efectivo en el caso de las rehabilitaciones, debido a que el asfalto en la capa inferior, no permite el paso del agua a la estructura de la carretera, protegiéndola; además, el asfalto distribuye las cargas a la estructura de la carretera, mientras que en el caso del concreto, la misma carpeta de rodadura de concreto recibe las cargas, por lo que la transmisión de las cargas a la estructura se reduce considerablemente.

*Figura 2.1 Utilización de Whitetopping para rehabilitación de carreteras.*



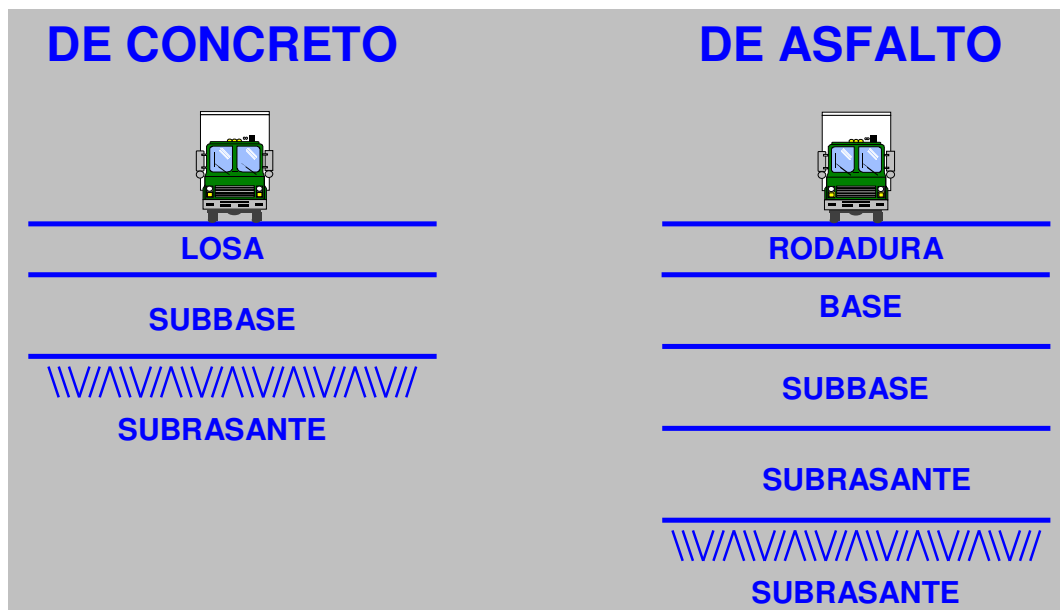
*Fuente: Arq. Raúl Rodríguez. Cementos Progreso.*

En el caso de la rehabilitación de pavimentos de concreto hidráulico, la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto, la American Concrete

Pavement Association, ACPA, muestra dos opciones, la primera es conocida como “Bonded Concrete Overlays”, Sobrecapas Unidas de Concreto, y la segunda es la “Unbonded Concrete Overlays”, Sobrecapas No Unidas de Concreto. La primera opción consiste en colocar una delgada capa de concreto en la parte superior de la capa de concreto existente para aumentar su capacidad estructural. La segunda opción es colocar una capa gruesa de concreto sobre otra capa de concreto existente, situando en medio de las capas, una delgada capa asfáltica, la cual actúa como amortiguador de capas y previene el reflejo de fallas desde la capa inferior.

Las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, también conocidas como Libro Azul, de la Dirección General de Caminos, del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, en la Sección 502 señala que el trabajo de rehabilitación para pavimentos de concreto de cemento hidráulico “consiste en el fresado de la superficie con discos de diamante, la reparación de espesor parcial, la reparación de espesor completo, la reparación de juntas, la reparación de grietas, el sellado inferior y estabilización de losas, la colocación de dovelas en las juntas y/o la pulverización de la superficie”.

*Fig. 2.2 Diferencias en la construcción de carreteras concreto y asfalto.*



*Fuente: Ing. Estuardo Herrera. Centro Tecnológico Cementos Progreso.*

## **CAPÍTULO III**

### **NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS**

#### **3. Nuevas tecnologías en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico. Sistema de losas cortas.**

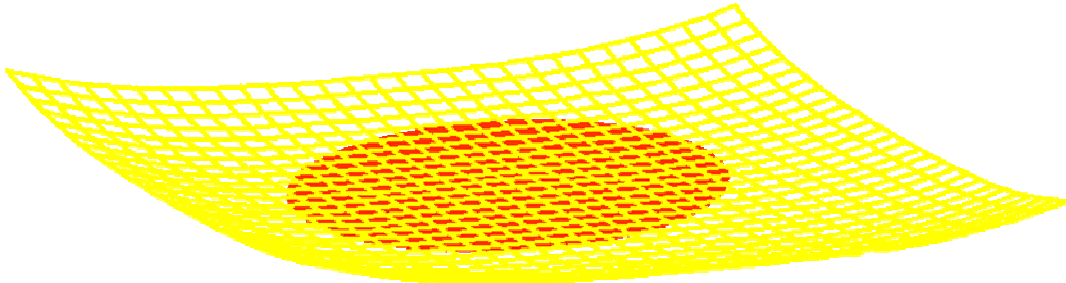
En los últimos años, el estudio de las losas de concreto y su comportamiento han dado como resultado la aplicación de nuevas tecnologías para el diseño de carreteras. Una de estas tecnologías es un Sistema de Losas Cortas, la cual fue utilizada en la rehabilitación de la CA-09 Sur, tramo carretero que comunica Puerto Quetzal con Escuintla y que se utilizó para desarrollar esta investigación al describir un análisis técnico del mismo. La recomendación técnica para la construcción fue diseñada por el Dr. Juan Pablo Covarrubias, miembro del Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, ICCH.

Este sistema consiste en rediseñar las dimensiones de las losas, losas tradicionales que generalmente están entre los 4.50m por 3.60m a losas cortas de 1.80m por 1.80m. Debido a este redimensionamiento se pueden disminuir los espesores de las capas de concreto para las carpetas de rodadura, además, se deja por un lado la utilización de acero de refuerzo, lo que ha reducido los precios en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.

#### **3.1 Consideraciones del Sistema de Losas Cortas**

La investigación del método de losas cortas habla de los esfuerzos que sufren las losas debido al alabeo y a la posición de los ejes traseros y delanteros de vehículos pesados en los bordes. Se consideran factores de deformaciones por alabeo, por la rigidez de las bases, del largo de las losas, tensiones propias del concreto y del efecto de adherencia.

Figura 3.1. Alabeo medido en una losa de piso industrial.



Fuente: Dr. Juan Pablo Covarrubias. Pavimentos delgados de hormigón.

### 3.1.1 Efecto del alabeo en las losas de concreto

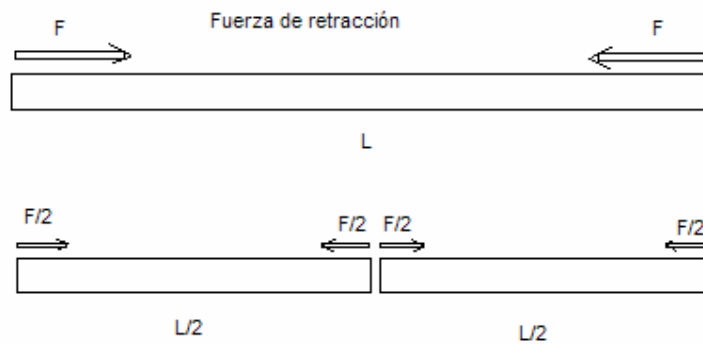
El alabeo se produce por una fuerza ubicada en la superficie de la losa, la cual se origina por el secado y la retracción causada por un diferencial térmico en la misma superficie de concreto.

El alabeo causado por secado se debe a un diferencial de humedad entre la parte superior e inferior de la carpeta, la parte superior siempre está seca mientras que la parte inferior se encuentra bajo la acción de la humedad de la tierra condensada bajo el pavimento. Esto produce un alabeo hacia arriba.

El alabeo por construcción se reduce considerablemente con la aplicación de buenas prácticas constructivas. Un proceso de curado eficiente mantendrá la humedad superficial en la losa antes de que se produzca la rigidez del elemento de concreto, no utilizar materiales impermeables bajo el pavimento, no saturar la base antes de colocar la carpeta y controlar la temperatura de la base son algunos de los factores que ayudan a reducir el alabeo.

La colocación del concreto en la tarde reduce el alabeo por retracción térmica de la losa, si se efectúa durante las horas más calurosas del día la parte superior de la carpeta se secará y endurecerá a mayor velocidad. Mientras mayor sea la longitud de la losa, mayores fuerzas de alabeo se presentarán.

Figura 3.2. Las losas más pequeñas tendrán menores fuerzas de retracción.



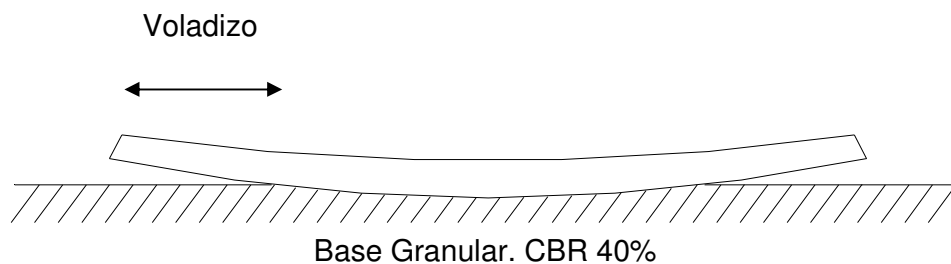
Fuente: Dr. Juan Pablo Covarrubias. Pavimentos delgados de hormigón.

### 3.1.2 Rigidez de las bases

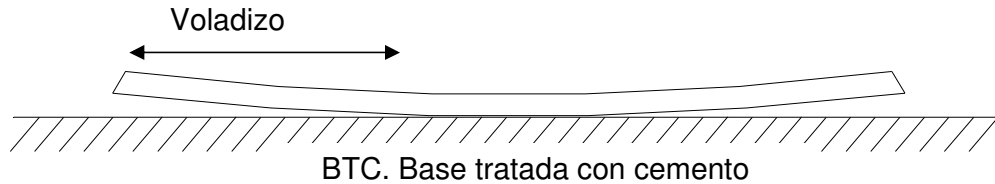
Una base muy rígida reduce el apoyo que la losa tendrá sobre la base al momento de que se produzca el alabeo, lo cual generará voladizos de mayor tamaño. Cuando una carga es aplicada en los bordes de la losa se producirán grandes esfuerzos de tensión en la superficie y grietas de la superficie hacia abajo. Si la base es muy blanda, una carga en el centro de losa producirá esfuerzos por tensión en la base de la losa y grietas desde la base hacia arriba, debido a que la losa estará completamente apoyada y se deformará sobre una superficie deformable.

Lo aconsejable es trabajar con valores soporte del suelo entre 30 y 50% para encontrar una rigidez ideal.

Figura 3.3 Voladizo creado por la rigidez de las bases.





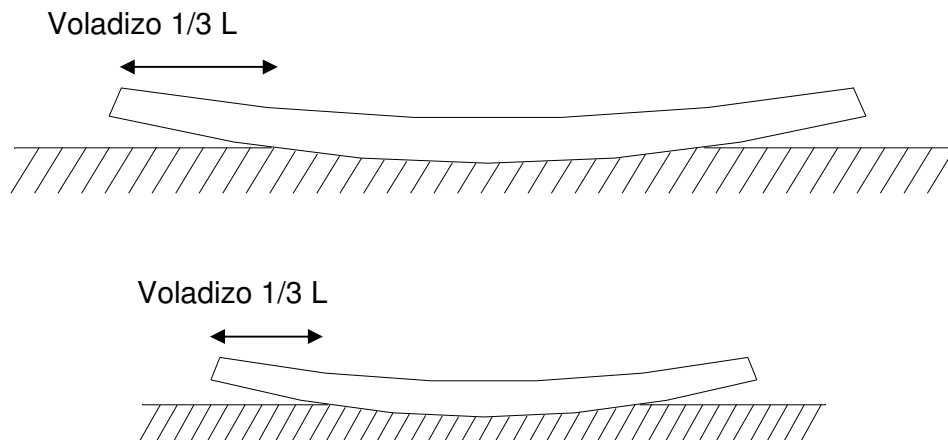


*Fuente: Dr. Juan Pablo Covarrubias. Pavimentos delgados de hormigón.*

### 3.1.3 Efecto del largo de la losa

Cuando una losa se alabea generalmente deja un voladizo que es aproximadamente un tercio de su longitud. Por lo tanto, cuanto mayor sea la losa, mayor será el voladizo que se generará. Es por lo mismo que se recomienda reducir las dimensiones de las losas.

*Figura 3.4 Efecto del largo de la losa.*



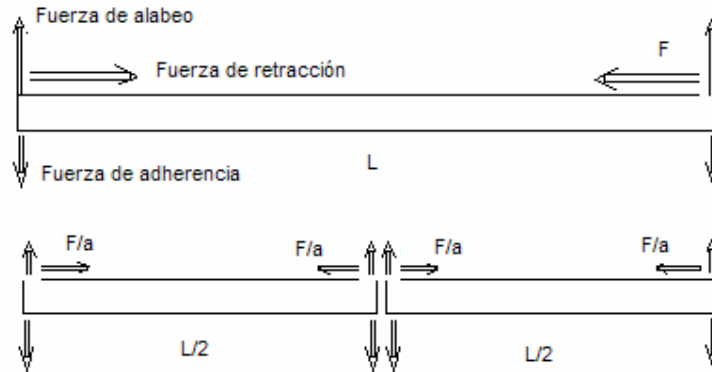
*Fuente: Dr. Juan Pablo Covarrubias. Pavimentos delgados de hormigón.*

### 3.1.4 Efecto de adherencia

El alabeo hace que se levanten los bordes de las losas del pavimento. Para compensar esta fuerza, la adherencia brinda una fuerza vertical contraria a la del alabeo. Si la fuerza de adherencia es igual o mayor al alabeo hará que la losa se mantenga plana sobre la base, es decir, no habrá voladizo ni esfuerzos

de tracción en la carpeta. Durante la construcción se debe tener cuidado especial en tratar de obtener la máxima adherencia de la losa a su base.

*Figura 3.5 Efecto de la adherencia en las losas de concreto.*



*Fuente: Dr. Juan Pablo Covarrubias. Pavimentos delgados de hormigón.*

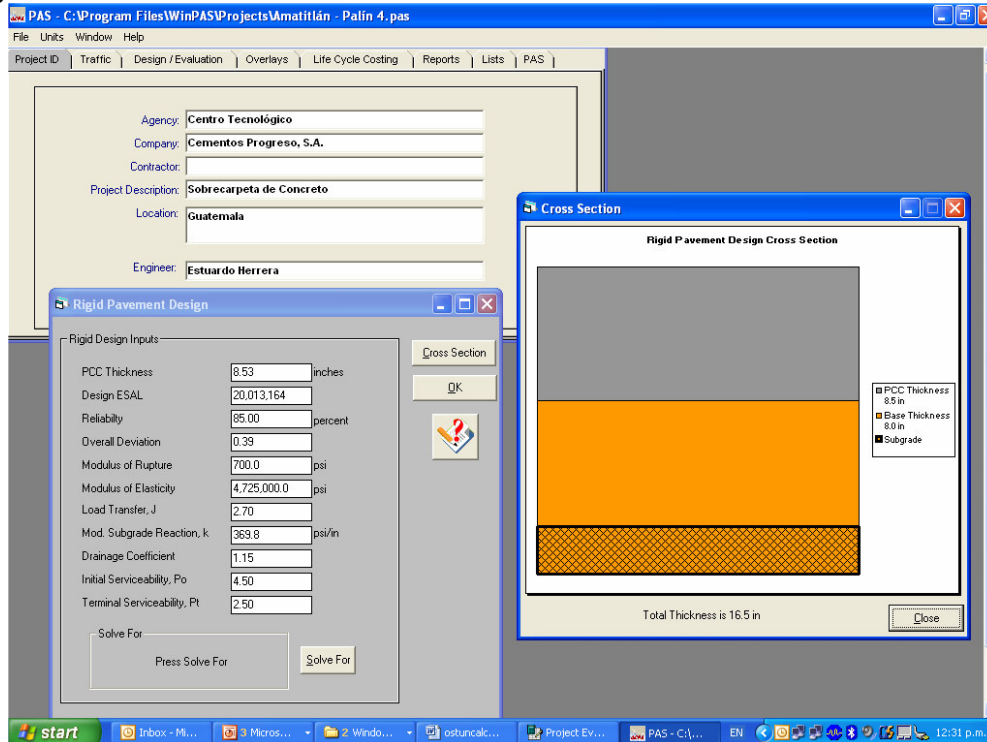
### 3.2 Aplicación del Sistema de Losas Cortas en el tramo CA-09 Sur

En la carretera CA-09 la primera alternativa para trabajar la rehabilitación era mediante un sistema tradicional de pavimentos de concreto: losas largas y un espesor de 22 centímetros.

La recomendación que se hizo propuso losas cortas de 1.80 por 1.80 metros y con un espesor de 15 centímetros.

Para hacer esta propuesta se partió de la utilización de la metodología y recomendaciones de diseño tomada de la Guía para el Diseño de Pavimentos (Design of Pavement Structures) de la American Association of State Highways and Transportation Officials, AASHTO, en su edición de 1993, con el cual se determinó un espesor para una serie de características determinadas, provenientes de este caso en particular.

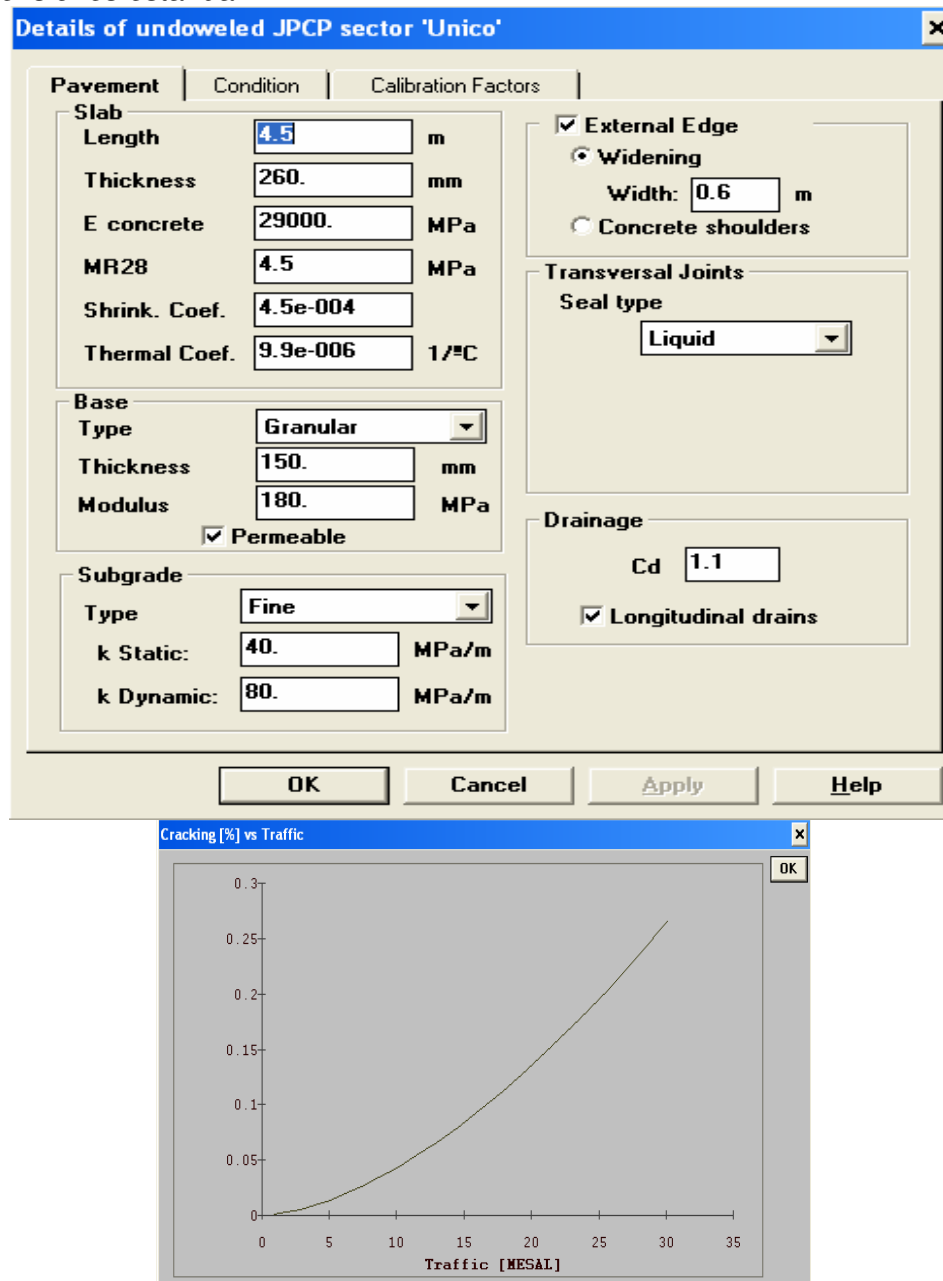
*Figura 3.6 Software WinPas. AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.*



*Fuente: Ing. Estuardo Herrera. Centro Tecnológico Cementos Progreso.*

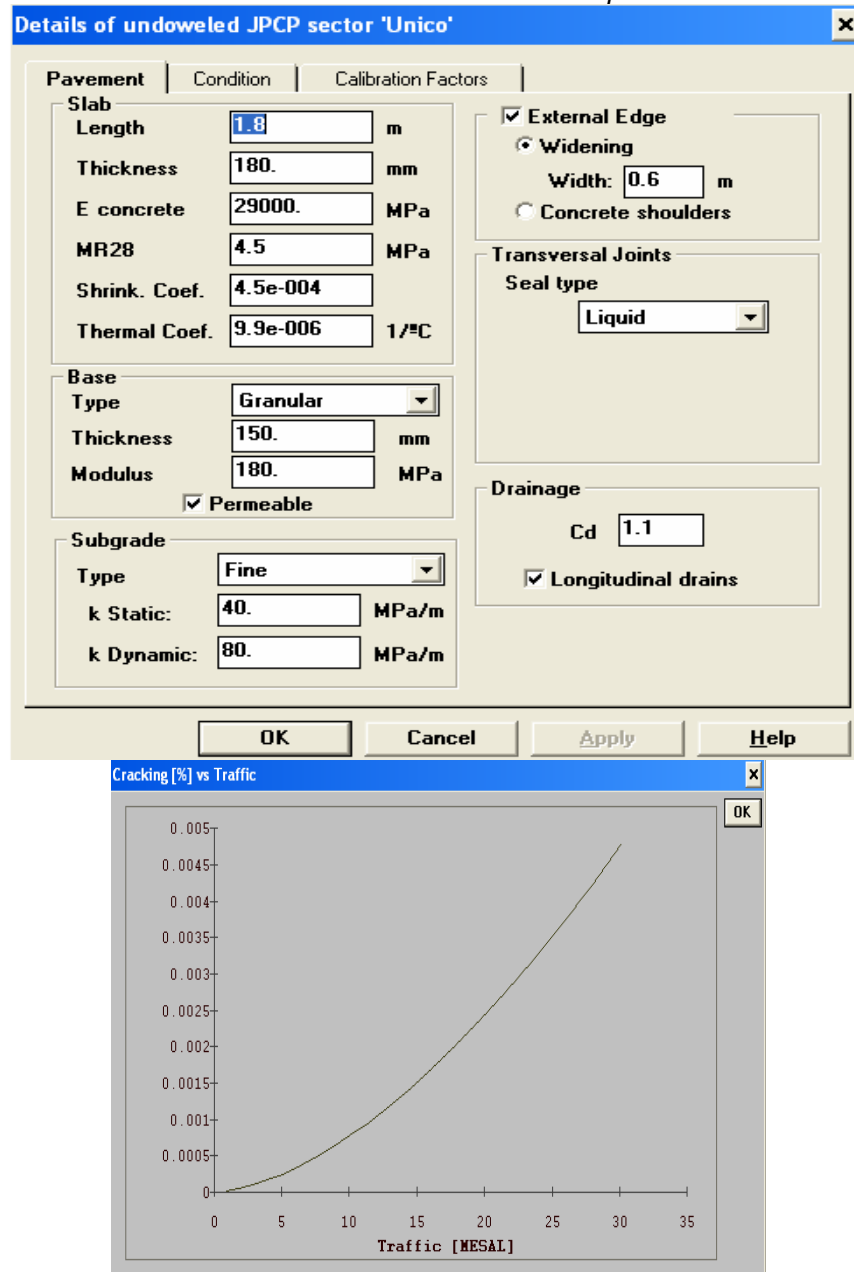
Después de la determinación del espesor se procede a utilizar el software Pavement Evaluator, en el cual se comparan las dimensiones y el espesor originales con losas cortas y de menores espesores mediante un análisis gráfico del comportamiento del porcentaje de agrietamiento de las losas a lo largo del número de ejes equivalentes que soportará la carretera a lo largo del tiempo.

Figura 3.7 Software Pavement Evaluator – HDM4 – para losas de dimensiones estándar.



Fuente: Ing. Estuardo Herrera. Centro Tecnológico Cementos Progreso.

Figura 3.8 Software Pavement Evaluator – HDM4 – para losas cortas.



Fuente: Ing. Estuardo Herrera. Centro Tecnológico Cementos Progreso.

*Figura 3.9 Fotografía del tramo CA-09 Sur.*



*Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.*

Después de haber realizado el análisis técnico y determinado un espesor ideal para este caso en particular, se propuso al gobierno la alternativa de construcción con los valores obtenidos, los cuales fueron aceptados y utilizados en este tramo. A finales del año 2005, se terminó la rehabilitación de la carretera, uno de los tramos viales más importantes del país.

La propuesta trajo consigo mejoras considerables en lo que es el agrietamiento y rotura de bordes en las juntas, calculado en 5% en el período de vida útil del pavimento, un Índice de Rugosidad Internacional, IRI, en proporciones muy bajas, 2.2 metros por kilómetro y un escalonamiento del 0%.

## **CAPÍTULO IV**

### **FORMULACIÓN DEL PRESUPUESTO**

#### **4. Formulación de presupuesto para la rehabilitación de tramos carreteros**

##### **4.1 Definición de costos (beneficios) para la rehabilitación de carreteras**

En el momento de evaluar los costos de la rehabilitación de carreteras se tiene que tener claro que existen tres tipos diferentes de costos, los cuales están interrelacionados, es decir, dependen de la calidad de la construcción con que se realice el primero, los costos en los que se incurrirá para los otros dos.

###### **4.1.1 Costo inicial**

Son los costos empleados para la construcción del pavimento, los cuales incluyen lo que son los estudios preliminares de factibilidad, diseño, compra de terreno, movimientos de tierra, preparación de la subrasante, base, subbase, carpeta de rodadura, obras de arte, obras complementarias, señalización e iluminación.

En la rehabilitación de carreteras, el caso particular, sólo se toman en cuenta los costos utilizados en la reparación del pavimento.

Como parte de los mismos costos iniciales se encuentran los costos directos e indirectos. Los costos directos son los relacionados con la construcción, costo de movimientos de tierra, de reparaciones a la estructura, señalización, etc.; los costos indirectos se originan alrededor de los costos directos: gastos administrativos, utilidad para la empresa, etc.

###### **4.1.2 Costo de mantenimiento**

Costos que se utilizan para mantener la carretera en funcionamiento durante su vida de servicio. Están a cargo de un responsable, el Estado, pero si la vía fue

dada en concesión, dependerán del concesionario. Según estudios realizados, en carreteras construidas con mala calidad, el costo de mantenimiento puede llegar a ser hasta diez veces superior al costo inicial.

El mantenimiento de un pavimento flexible está relacionado con el Tránsito Promedio Diario, TPD, dependiendo de su cantidad puede variar el bacheo anual desde 40 m<sup>2</sup>/km. hasta 100 m<sup>2</sup>/km. En los pavimentos rígidos el mantenimiento es mucho menos complicado, solamente se deben cambiar las juntas cada 5 años y prever una reconstrucción del 5% del área construida cada 15 o 20 años, así como una demolición del 5% del área construida en el mismo período.

#### **4.1.3 Costo de operación**

Es el costo que tiene para el usuario utilizar una carretera, durante su vida útil. Existen tres fuentes de gastos de operación:

- a) Costos por retraso: Son los que surgen debido a que la cantidad de vehículos disminuye debido a demoras en la construcción o rehabilitación de las vías. A este costo también se le asocian las desviaciones ocasionadas cuando se cierran las carreteras para efectuarse trabajos. El impacto en costos para los usuarios se origina cuando el uso de rutas alternas incrementa su tiempo de viaje.
- b) Costos por deterioro de la carretera: Estos costos vienen del aumento en los costos de operación de vehículos y el daño a los bienes de los usuarios. Mientras más deteriorado un camino esté, más costos a los usuarios habrán: mayores tiempos de viaje debido a la reducción de la velocidad para transitar por las condiciones de la vía, deterioro en vehículos y daño a bienes.
- c) Costos por accidentes: Son los que provienen de accidentes de vehículos. En carreteras construidas con los máximos estándares de calidad y seguridad, accidentes por exceso de velocidad son mínimos, se descartan también aquellos ocasionados por derrumbes, falla en puentes, etc.



En esta investigación se pretendió enfocar la globalidad de los costos, para hacer una comparación general entre pavimentos flexibles y rígidos, y no minimizarlos al detalle, al obtener así una herramienta útil para el análisis financiero. En Guatemala se toman en cuenta los costos iniciales y de mantenimiento. El costo de operación se descarta en la mayoría de estudios realizados internacionalmente. Las principales razones para no utilizarlo se basan en la dificultad para calcularlo y que muchas veces sobrestima los costos para el Estado. No es raro que incluso lleguen a ser 100 veces más grandes que aquellos costos para realizar el proyecto.

#### **4.1.4 Valor de rescate**

Es el valor beneficio que está relacionado con la continuación del uso de la vía, su demolición y disposición final. Tanto el concreto como el asfalto son productos reciclables por lo tanto tienen un valor en su última etapa de servicio, además una carretera casi nunca se deja de utilizar, por lo tanto, la Federal Highway Administration aconseja utilizarlo como un valor de uso continuo.

## CAPÍTULO V

### ADMINISTRACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN

#### 5.1 Desglose de actividades para la rehabilitación

##### 5.1.1 Costos iniciales

A continuación se hace un desglose por renglones de las diferentes actividades en las que se incurrió para la rehabilitación de la carretera CA-09 tramo Sur, con valores para noviembre 2004 provistos por el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

Las tablas 01 y 02 del anexo de cuadros muestran el desglose a detalle de las diferentes actividades que se necesitaron para la reconstrucción inicial del pavimento a rehabilitar. Existen varios renglones que se aplicaron no importando la opción que se utilizó. En el desglose de la tabla 5.1 se comparan los diversos renglones en costos iniciales de las dos alternativas en donde se establece que el costo total de la construcción en pavimento de concreto hidráulico es un 12.47% mayor que la de concreto asfáltico.

*Tabla 5.1 Desglose comparativo de costos entre las alternativas*

No.	Renglón	1 Pavimento de concreto hidráulico	2 Pavimento de concreto asfáltico	3 Diferencia ( 1 - 2 )
1	Diseños	Q 362,637.20	Q 362,637.36	Q (0.16)
2	Requerimientos del proyecto	Q 1,404,484.01	Q 1,380,494.51	Q 23,989.50
3	Movimiento de tierra, subbase y base	Q 1,695,003.43	Q 4,292,015.79	Q (2,597,012.36)
4	Pavimento de concreto hidráulico	Q 40,719,048.30	Q 166,895.60	Q 40,552,152.70
5	Pavimento de concreto asfáltico	Q -	Q 32,580,305.63	Q (32,580,305.63)
6	Obras de drenaje mayor	Q 1,088,427.20	Q 1,088,427.20	Q -
7	Estructuras de drenaje	Q 90,144.24	Q 90,144.24	Q -
8	Señalización	Q 1,511,778.75	Q 1,511,778.75	Q -
9	Señales de tránsito de metal	Q 192,641.48	Q 192,641.48	Q -
10	Aspectos ambientales	Q 1,626,373.64	Q 1,626,373.64	Q -
	<b>Total de Costos Directos</b>	<b>Q 48,690,538.25</b>	<b>Q 43,291,714.20</b>	<b>Q 5,398,824.05</b>
	<b>Costos Indirectos</b>	<b>Q 14,607,161.48</b>	<b>Q 12,987,514.26</b>	
	Impuesto al Valor Agregado (IVA)	Q 7,595,723.97	Q 6,753,507.42	
	<b>Gran Total</b>	<b>Q 70,893,423.69</b>	<b>Q 63,032,735.88</b>	<b>Q 7,860,687.82</b>
	<b>Variación Relativa [(Concreto Hidráulico / Concreto Asfáltico) - 1] x 100]</b>			<b>12.47%</b>

*Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.*

Como resultado del estudio de los costos iniciales se puede obtener una referencia de la construcción inicial por kilómetro cuadrado como se presenta a

continuación en la tabla 5.2. Estos costos se aplicaron para un total de 43.883 kilómetros, longitud total del proyecto de rehabilitación.

*Tabla 5.2 Costo de construcción inicial por kilómetro*

<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Costo de construcción Q / Km</b>
Concreto Asfáltico	Q1,436,381.65
Concreto Hidráulico	Q1,615,509.96
<b>Variación Relativa</b>	12.47%

*Fuente: Elaboración propia.*

### **5.1.2 Costos de mantenimiento**

El costo de mantenimiento se estima a partir de los trabajos de bacheo, remoción de derrumbes, etc., calculados con base al período de tiempo de vida del pavimento.

En el tramo CA-09 Sur fueron colocadas losas aplicando el Sistema de Losas Cortas usado como un Whitetopping, es decir, sobre la superficie de un pavimento asfáltico; esto permitió reducir considerablemente los costos de mantenimiento de la carretera. Debido a que la carpeta de concreto asfáltico protege a la estructura de la carretera, conformada por base, subbase y subrasante tratada, del agua, se hicieron cortes de dos milímetros entre todas las losas, esto con el objetivo de evitar sellar las juntas, lo cual reduce el costo de mantenimiento de la carretera, pues se estima que es conveniente cambiar los sellos cada cinco años.

De acuerdo con los datos obtenidos por la Dirección General de Caminos, se estimó un costo de mantenimiento en 20 años por kilómetro de carretera, tanto para el mantenimiento del pavimento asfáltico como para el pavimento de concreto hidráulico. Los valores de estos costos son expresados en la siguiente tabla:

*Tabla 5.3 Costo de mantenimiento por kilómetro*

<b>Tipo de Pavimento</b>	<b>Costo de mantenimiento Q / Km</b>	
Concreto Asfáltico (CA)	Q	1,007,351.25
Concreto Hidráulico (CH)	Q	219,064.06
<b>CA / CH</b>		<b>4.5984</b>

*Fuente: Dirección General de Caminos.*

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el concreto presenta una clara ventaja en lo que son costos de mantenimiento. El costo del mantenimiento del concreto asfáltico es 4.5984 veces mayor que el de concreto hidráulico. El Análisis del Costo de Ciclo de Vida permitirá la comparación de ambas alternativas en el tiempo, así como la determinación de la alternativa que optimice la inversión de los fondos.

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS FINANCIERO**

#### **6.1 Determinación de los parámetros utilizados**

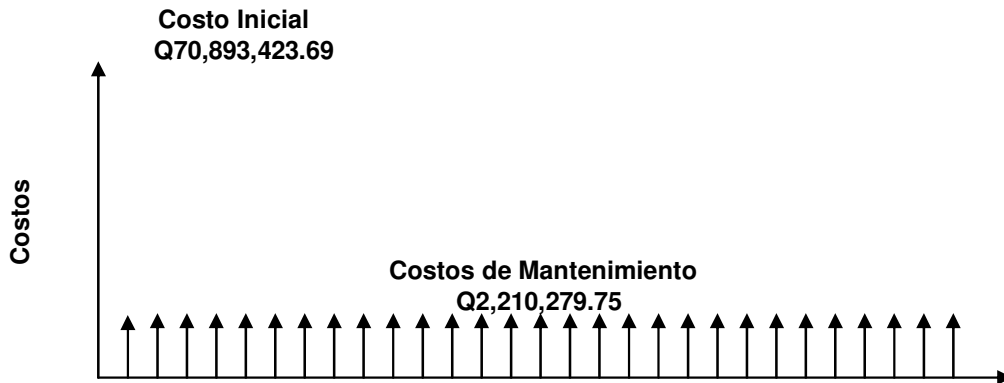
La teoría financiera ha puesto especial interés en métodos que evalúen las inversiones, que reconozcan el valor del dinero en el tiempo. Desde el punto de vista teórico, el Valor Actual Neto, VAN, es considerado como el mejor método, seguido por la Tasa Interna de Retorno, TIR. Esto debido a que la TIR supone que los flujos intermedios de un proyecto son reinvertidos a la tasa de descuento encontrada, cuando el VAN asume que la tasa de corte utilizada es la misma que la tasa de reinversión.

Como se recuerda, el Análisis de Costo del Ciclo de Vida, ACCV, tiene dos tipos de análisis, un primario y otro secundario. En el análisis primario es conveniente utilizar la TIR, debido a que el retorno debe de ser comparado con base en la inversión que se podría realizar en activos de capital, acciones, bonos, etc.; el análisis secundario puede ser presentado de varias maneras, la más utilizada es un VAN tomando en cuenta los diferentes flujos del proyecto a lo largo del tiempo.

##### **6.1.1 Determinación de costos**

Como ya fue definido anteriormente, en esta investigación se utilizaron los parámetros adecuados para hacer una comparación entre dos alternativas para rehabilitación, se tomaron en cuenta los costos iniciales y de mantenimiento a lo largo de un período de tiempo de 20 años.

Figura 6.1 Diagrama de flujos para la rehabilitación de carreteras en concreto hidráulico.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecidos los costos iniciales y de mantenimiento que la carretera tendrá en los veinte años de vida útil con la que fue diseñada la rehabilitación, se procede a establecer mediante un valor presente neto, VAN, cuál de las dos opciones optimiza el uso de los recursos a invertir.

La longitud del tramo rehabilitado es de 43.883 Km., las dos opciones cuentan con iguales secciones y la ingeniería al ser aplicada brindó diseños equivalentes y comparables, lo que implica niveles de servicios razonablemente similares para poder efectuar un correcto análisis financiero.

### 6.1.2 Selección de tasa de descuento apropiada

La tasa de descuento toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Analiza lo que es la inflación y el interés para determinar la tasa actual o real del aumento en el valor del dinero en el tiempo. La selección de una tasa adecuada es uno de los puntos más importantes para analizar el costo del ciclo de vida del proyecto.

Cuando se analiza la tasa de descuento se debe de tener en cuenta que los resultados no representan la cantidad de dinero que será utilizada en el futuro para realizar el proyecto. El Análisis de Costo del Ciclo de Vida, ACCV, es utilizado para comparar alternativas y no determina con precisión cuánto va a costar un pavimento en su vida total.

Para escoger el interés y la tasa de inflación apropiados el diseñador debe escoger aquellos valores que representen el costo de los recursos para quien invertirá en el pavimento.

La tasa de interés debe reflejar el costo de prestar los fondos a una entidad financiera, considerando si el proyecto va a ser financiado por una entidad pública o privada, por un préstamo monetario o activos de capital y la tasa de retorno para el proyecto o la industria. Si el gobierno local va a financiar el proyecto, la tasa de los bonos del gobierno a largo plazo es un buen indicador. Si el proyecto lo financia una entidad privada la tasa de bonos corporativos es el indicador adecuado.

En el análisis primario del ACCV se determina si es válido invertir en el proyecto, así como se toma en cuenta las opciones de invertir en el mercado, en algún otro proyecto social (por ejemplo, construir escuelas, hospitales, etc.) o la opción de no hacer nada. Por lo tanto es importante no confundir la selección de la tasa de descuento apropiada con el retorno que se puede obtener si se invierte en el mercado o el costo de oportunidad social, pues esto quedó establecido en el primer análisis.

Para establecer los valores de la inflación la fuente adecuada para el medio es la que proporciona el Banco de Guatemala, pues muestra con fidelidad los distintos valores de la inflación a lo largo de las últimas décadas. Los expertos en la materia señalan que a la hora de considerar una tasa de descuento para este tipo de análisis, ésta pudiera ser equivalente al Producto Interno Bruto, PIB, o no mayor a un 4%. La selección de tasas mayores favorecerá la idea de menores inversiones en el corto plazo, afectando directamente la rentabilidad de los proyectos.

En esta investigación se usaron 3 tipos de valores: 0%, 4% y 12%, con el objeto de tener una visión más amplia en los diferentes escenarios que presenta cada alternativa de tasa de descuento.

## 6.2 Utilización del Valor Actual Neto

Después de haber procedido a determinar, mediante el uso de una hoja electrónica, el Valor Actual Neto para las dos opciones y para cada una de las diferentes tasas de descuento, se obtuvo los siguientes valores.

*Tabla 6.1 Análisis comparativo del VAN con diferentes tasas de descuento*

	1	2	3
	Pavimento de Concreto Asfáltico	Pavimento de Concreto Hidráulico	Diferencia (1 - 2)
Tasa de Descuento	0%	0%	
Valor Actual Neto	Q 107,238,330.78	Q 80,506,611.95	Q 26,731,718.83
Tasa de Descuento	4%	4%	
Valor Actual Neto	Q 93,071,158.93	Q 77,425,741.97	Q 15,645,416.95
Tasa de Descuento	12%	12%	
Valor Actual Neto	Q 79,542,295.83	Q 74,483,682.08	Q 5,058,613.75

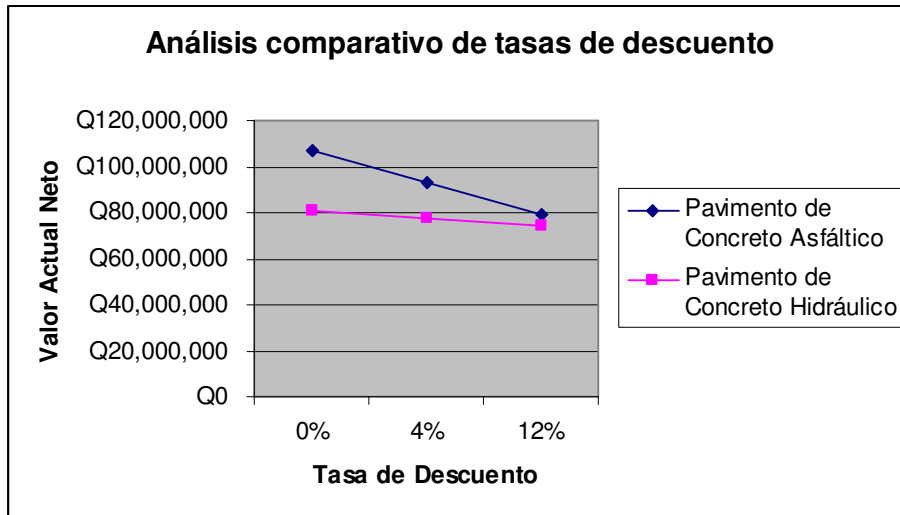
*Fuente: Elaboración propia.*

Se puede apreciar que con cualquiera de las tasas de descuento utilizadas, la opción del concreto asfáltico representa mayores costos que la del concreto hidráulico. De acuerdo con la bibliografía consultada, la tasa de retorno no debe ser mayor del 4%, en esta opción se tiene cerca de Q15.6 millones de quetzales de diferencia, resultado suficiente para poder determinar cuál de las alternativas optimiza el uso de los recursos.

En la siguiente gráfica se puede ver una ilustración de los diversos valores de VAN para las diferentes tasas de descuento con las que se trabajó. Es importante hacer notar que entre más elevada es la tasa, más se favorece la idea de una menor inversión en el corto plazo, además, las diferencias de VAN disminuyen a medida que aumentan las tasas de descuento, esto debido a la diferencia que existe en el costo inicial.



Figura 6.2 Análisis gráfico de las opciones de rehabilitación



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica también es importante para visualizar que a medida que la tasa de descuento es mayor, los flujos de los primeros años cobran más importancia. Cuando la tasa es menor, la importancia decrece y cobran más importancia los proyectos con flujos positivos absolutos mayores.

A pesar de que los costos iniciales de construcción del pavimento de concreto hidráulico son mayores en un 12.47%, la diferencia en los costos de mantenimiento hace que al ser analizados en el tiempo mediante la herramienta financiera del VAN, presenten menores costos durante su ciclo de vida, siendo el concreto hidráulico una mejor opción la cual optimiza el uso de recursos a invertir.

## CONCLUSIONES

1. Después de haber realizado el análisis financiero, al tener mucho cuidado en la selección de costos de las alternativas y los parámetros a utilizar, se pudo determinar que para el caso específico analizado la opción que optimiza la utilización de los recursos es la rehabilitación del pavimento con concreto hidráulico.
2. En el análisis de los costos iniciales se pudo determinar que la alternativa más económica fue la de concreto asfáltico, la cual tuvo en el caso específico, una diferencia del 12.47% con respecto a la de concreto hidráulico.
3. En el caso en particular el costo de mantenimiento para el pavimento de concreto asfáltico resultó ser 4.5984 veces más caro que el del pavimento de concreto hidráulico. Este resultado concuerda con los datos obtenidos en las diferentes bibliografías consultadas, pues el mantenimiento del pavimento de concreto hidráulico generalmente es mucho menor que el de concreto asfáltico. Además, el tipo de metodología de rehabilitación del pavimento, el Sistema de Losas Cortas, aplicado como un Whitetopping, reduce el costo del mantenimiento, pues evita el sello de juntas cada 5 años.
4. Con las diferentes tasas utilizadas para el análisis del Valor Actual Neto se obtuvo en todos los casos diferencias considerables de costos entre las dos alternativas, resultando siempre con menores costos la aplicación de pavimento de concreto hidráulico.
5. La gran diferencia de precios en los mantenimientos de ambas opciones, permitieron que, al considerarse el valor del dinero en el tiempo, la opción de concreto hidráulico presentara mejores resultados, por ende, una optimización en el uso de los recursos.
6. El Análisis de Costo del Ciclo de Vida es una herramienta económica usada para comparar dos alternativas. No establece qué tan bien o cuánto van a durar cada una. El valor del análisis de ingeniería permite proveer diseños que aseguren que cada opción rival proporcione resultados similares.

7. Cada rehabilitación es única, debido a las condiciones de desgaste propias de cada carretera, por lo tanto el ingeniero necesita analizar a detalle el estado de la vía, con el fin de establecer de manera adecuada la forma de trabajo en el tramo.
8. Como resultado de la investigación se puede afirmar que la hipótesis planteada se comprueba. Se demostró que la utilización de pavimentos de concreto para la rehabilitación de carreteras tuvo un valor menor en el análisis financiero realizado, por lo mismo, la escogencia de esta alternativa optimiza el uso de los recursos a invertir.

## RECOMENDACIONES

1. Cada rehabilitación es única, debido a las características de clima y tránsito propias de cada carretera, sin embargo, en el momento de rehabilitar, deben de tomarse en cuenta los mismos parámetros, costos iniciales y de mantenimiento, los cuales conservarán la mayoría de las veces aproximadamente la misma relación de diferencias de costos. Por lo mismo se aconseja utilizar herramientas económicas como el Análisis de Costo de Ciclo de Vida, el cual toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, para poder establecer las diferencias en el costo de utilizar ambas opciones y que esto permita la toma de decisiones adecuada.
2. Es importante estar actualizado en lo que concierne a las nuevas tecnologías que se desarrollan en el tiempo, las cuales buscan mejorar el funcionamiento de los sistemas tradicionales. En este caso en particular, pavimentos de concreto hidráulico, se utilizó un sistema que se ha venido desarrollando en los últimos años, el cual analiza factores de comportamiento de las losas y brinda respuesta para reducir los efectos negativos que generalmente se obtienen en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.
3. Es necesario analizar los flujos de efectivo que serán utilizados a lo largo del ciclo de vida de los proyectos y descontarlos a una tasa de interés apropiada, para poder tener una perspectiva real del cambio del valor del dinero en el tiempo y establecer el costo real de la inversión que se realiza.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **LIBROS Y TESIS**

1. Alarcón Ibarra, J. Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta. Tesis. Ing. Civil. 2003.
2. Amaya Morgan, CA. Estudio comparativo de los costos entre pavimentos rígidos y flexibles en la ciudad de Guatemala. Tesis. Ing. Civil. 1981.
3. Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes. Libro Azul. Diciembre 2000.
4. Paiz Soto, JE. Elaboración de inventario físico para mantenimiento de carreteras. Tesis. Ing. Civil. 2002.
5. Vides Tobar, A. Análisis y control de costos de ingeniería. Guatemala. Piedra Santa. 1981.

### **TEXTOS DE CONSULTA, REVISTAS Y OTROS DOCUMENTOS**

6. American Concrete Pavement Association. ACPA. Life Cycle Cost Analysis: A guide for comparing alternate pavement designs. Engineering Bulletin. 2002 .
7. Comité de Pavimentos. ICPC ASOCRETO. Colombia. 2001. Pavimento rígido o flexible. ¿Cuánto valen? Noticreto No 540. Pág. 56-59.
8. Herrera, E. 2006. Pavimentos de concreto. Presentación para feria de CONCYT 2006. 85 diapositivas. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
9. ISCYC. El Salvador. 2000. Análisis obligado que le ahorrará dinero en la elección de Pavimentos. Revista ISCYC. Pág. 4-8.
10. Presentación Sistema de Losas Cortas (2006, Guatemala) 2006. Trabajos Presentados. Covarrubias Torres, JP.
11. Rodríguez, RE. Pavimentos de concreto. Presentación 2005. 26 diapositivas. Ciudad de Guatemala, Guatemala.

## Anexo cuadros

Tabla 01. Desglose de costos iniciales de la alternativa en concreto asfáltico para el tramo CA-09 Sur, año 2005.

No.	Descripción	Pavimento de concreto asfáltico
<b>1</b>	<b>Diseños</b>	<b>Q 362,637.36</b>
1.1	Requerimientos de estudios	Q 164,835.16
1.2	Requerimientos de diseño	Q 109,890.11
1.3	Planos finales de la obra construida	Q 87,912.09
<b>2</b>	<b>Requerimientos del proyecto</b>	<b>Q 1,380,494.51</b>
2.1	Instalación del campamento, movilización y desmovilización	Q 1,030,219.78
2.2	Señales de tránsito durante la construcción	Q 103,021.98
2.3	Mantenimiento de la carretera durante la construcción	Q 247,252.75
<b>3</b>	<b>Movimiento de tierra, subbase y base</b>	<b>Q 4,292,015.79</b>
3.1	Retiro de estructuras, servicios existentes y obstáculos	Q 34,340.66
3.2	Limpia, chapeo y destronque	Q 679,945.05
3.3	Colocación de geotextil (incluye emulsión)	Q 2,597,012.36
3.4	Fresado de pavimento	Q 980,717.72
<b>4</b>	<b>Pavimento de concreto hidráulico</b>	<b>Q 166,895.60</b>
4.5	Demolición de losas y reconstrucción con suelo cemento	Q 166,895.60
<b>5</b>	<b>Pavimento de concreto asfáltico</b>	<b>Q 32,580,305.63</b>
5.1	Pavimento de concreto asfáltico	Q 13,807,366.07
5.2	Concreto asfáltico	Q 17,000,961.54
5.3	Bacheo de pavimento existente	Q 343,406.59
5.4	Riego de liga	Q 1,428,571.43
<b>6</b>	<b>Obras de drenaje mayor</b>	<b>Q 1,088,427.20</b>
6.1	Limpieza y reacondicionamiento de puentes (lado izquierdo)	Q 1,088,427.20
<b>7</b>	<b>Estructuras de drenaje</b>	<b>Q 90,144.24</b>
7.1	Bordillos	Q 69,539.84
7.2	Limpieza y reacondicionamiento de alcantarillas existentes	Q 20,604.40
<b>8</b>	<b>Señalización</b>	<b>Q 1,511,778.75</b>
8.1	Pintura termoplástica para señalización horizontal, línea lateral	Q 761,538.36
8.2	Pintura termoplástica para señalización horizontal, línea central	Q 386,813.19
8.3	Vialetas	Q 211,538.46
8.4	Línea y marcas de tránsito	Q 12,877.75
8.5	Delineadores	Q 139,010.99
<b>9</b>	<b>Señales de tránsito de metal</b>	<b>Q 192,641.48</b>
9.1	Rótulos de identificación del proyecto	Q 41,895.60
9.2	Señales preventivas	Q 51,098.90
9.3	Señales restrictivas	Q 14,835.16
9.4	Señales informativas	Q 62,043.96
9.5	Monumentos de kilometraje	Q 22,767.86
<b>10</b>	<b>Aspectos ambientales</b>	<b>Q 1,626,373.64</b>
10.1	Ejecutor ambiental	Q 68,681.32
10.2	Construcción de paradas de buses	Q 74,175.82
10.3	Construcción de bahías	Q 473,901.10
10.4	Conformación y colocación de capa vegetal en bancos de materiales	Q 103,021.98
10.5	Reforestación de bancos de materiales	Q 10,302.20
10.6	Revegetación de áreas utilizadas para depósito de materiales	Q 68,681.32
10.7	Revegetación de campamento y plantas de trituración y asfalto	Q 109,890.11
10.8	Reforestación del Derecho de Vía y Arreate Central	Q 257,554.95
10.9	Conformación y colocación de capa vegetal en taludes	Q 288,461.54
10.1	Reforestación de taludes de relleno	Q 171,703.30
	<b>Total de Costos Directos</b>	<b>Q 43,291,714.20</b>
	<b>Costos Indirectos</b>	<b>Q 12,987,514.26</b>
	<b>Impuesto al Valor Agregado (IVA)</b>	<b>Q 6,753,507.42</b>
	<b>Gran Total</b>	<b>Q 63,032,735.88</b>

Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

Tabla 02. Desglose de costos iniciales de la alternativa en concreto hidráulico para el tramo CA-09 Sur. Año 2005.

No.	Descripción	Pavimento de concreto hidráulico
<b>1</b>	<b>Diseños</b>	<b>Q 362,637.20</b>
1.1	Requerimientos de estudios	Q 164,835.00
1.2	Requerimientos de diseño	Q 109,890.11
1.3	Planos finales de la obra construida	Q 87,912.09
<b>2</b>	<b>Requerimientos del proyecto</b>	<b>Q 1,404,484.01</b>
2.1	Instalación del campamento, movilización y desmovilización	Q 1,054,209.28
2.2	Señales de tránsito durante la construcción	Q 103,021.98
2.3	Mantenimiento de la carretera durante la construcción	Q 247,252.75
<b>3</b>	<b>Movimiento de tierra, subbase y base</b>	<b>Q 1,695,003.43</b>
3.1	Retiro de estructuras, servicios existentes y obstáculos	Q 34,340.66
3.2	Limpia, chapeo y destronque	Q 679,945.05
3.3	Colocación de geotextil (incluye emulsión)	
3.4	Fresado de pavimento	Q 980,717.72
<b>4</b>	<b>Pavimento de concreto hidráulico</b>	<b>Q 40,719,048.30</b>
4.1	Pavimento de concreto hidráulico	Q 28,727,703.00
4.2	Mezcla asfáltica en caliente	Q 8,846,153.00
4.3	Bacheo de pavimento existente	Q 343,406.59
4.4	Riego de liga	Q 221,538.46
4.5	Demolición de losas y reconstrucción con suelo cemento	Q 166,895.60
4.6	Hombros de suelo cemento con tratamiento simple	Q 2,413,351.65
<b>5</b>	<b>Pavimento de concreto asfáltico</b>	<b>Q -</b>
<b>6</b>	<b>Obras de drenaje mayor</b>	<b>Q 1,088,427.20</b>
6.1	Limpieza y reacondicionamiento de puentes (lado izquierdo)	Q 1,088,427.20
<b>7</b>	<b>Estructuras de drenaje</b>	<b>Q 90,144.24</b>
7.1	Bordillos	Q 69,539.84
7.2	Limpieza y reacondicionamiento de alcantarillas existentes	Q 20,604.40
<b>8</b>	<b>Señalización</b>	<b>Q 1,511,778.75</b>
8.1	Pintura termoplástica para señalización horizontal, línea lateral	Q 761,538.36
8.2	Pintura termoplástica para señalización horizontal, línea central	Q 386,813.19
8.3	Vialetas	Q 211,538.46
8.4	Línea y marcas de tránsito	Q 12,877.75
8.5	Delineadores	Q 139,010.99
<b>9</b>	<b>Señales de tránsito de metal</b>	<b>Q 192,641.48</b>
9.1	Rótulos de identificación del proyecto	Q 41,895.60
9.2	Señales preventivas	Q 51,098.90
9.3	Señales restrictivas	Q 14,835.16
9.4	Señales informativas	Q 62,043.96
9.5	Monumentos de kilometraje	Q 22,767.86
<b>10</b>	<b>Aspectos ambientales</b>	<b>Q 1,626,373.64</b>
10.1	Ejecutor ambiental	Q 68,681.32
10.2	Construcción de paradas de buses	Q 74,175.82
10.3	Construcción de bahías	Q 473,901.10
10.4	Conformación y colocación de capa vegetal en bancos de materiales	Q 103,021.98
10.5	Reforestación de bancos de materiales	Q 10,302.20
10.6	Revegetación de áreas utilizadas para depósito de materiales	Q 68,681.32
10.7	Revegetación de campamento y plantas de trituración y asfalto	Q 109,890.11
10.8	Reforestación del Derecho de Vía y Arreate Central	Q 257,554.95
10.9	Conformación y colocación de capa vegetal en taludes	Q 288,461.54
10.1	Reforestación de taludes de relleno	Q 171,703.30
	<b>Total de Costos Directos</b>	<b>Q 48,690,538.25</b>
	<b>Costos Indirectos</b>	<b>Q 14,607,161.48</b>
	<b>Impuesto al Valor Agregado (IVA)</b>	<b>Q 7,595,723.97</b>
	<b>Gran Total</b>	<b>Q 70,893,423.69</b>

Fuente: Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

**Tabla 03. Cálculo del Valor Actual Neto para las dos opciones de rehabilitación**

Opción 1. Pavimento de Concreto Asfáltico						
	0	1	2	...	19	20
Costo Inicial	Q63,032,735.88					
Costo de Mantenimiento		Q2,210,279.75	Q2,210,279.75	...	Q2,210,279.75	Q2,210,279.75
tasa de descuento 0%	0%					
Valor Actual Neto		Q107,238,330.78				
tasa de descuento 4%	4%					
Valor Actual Neto		Q93,071,158.93				
tasa de descuento 12%	12%					
Valor Actual Neto		Q79,542,295.83				
Opción 2. Pavimento de Concreto Hidráulico						
	0	1	2	...	19	20
Costo Inicial	Q70,893,423.69					
Costo de Mantenimiento		Q480,659.41	Q480,659.41	...	Q480,659.41	Q480,659.41
tasa de descuento 0%	0%					
Valor Actual Neto		Q80,506,611.95				
tasa de descuento 4%	4%					
Valor Actual Neto		Q77,425,741.97				
tasa de descuento 12%	12%					
Valor Actual Neto		Q74,483,682.08				

*Fuente: Elaboración Propia.*

$$VP = CI + \sum \left[ \frac{CM}{(1+i)^n} + (CO) + CRF \right] - \frac{VR}{(1+i)^n}$$

En donde:

VP = Valor Presente

CI = Costo Inicial

CM = Costo de Mantenimiento

i = Tasa de descuento

n = Número de años para el análisis

CO = Costo de Operación

CRF = Costo de Rehabilitación Futuro

VR = Valor de Rescate



## GLOSARIO

Alabeo	Deformación que sufre una losa adquiriendo una forma curvada para arriba o para abajo encorvando sus bordes.
Base	Capa de espesor diseñado que constituye parte de la estructura del pavimento y está destinada a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Se coloca directamente debajo de la carpeta de rodadura.
Carpeta de rodadura	Parte superior del pavimento, sostiene directamente la circulación vehicular.
Curado	Proceso que consiste en propiciar y mantener un ambiente de apropiada temperatura y contenido de humedad en el concreto recién colocado para que desarrolle el potencial de las propiedades que se esperan de él.
Emulsión Asfáltica	Dispersión por medios mecánicos de asfalto en agua, a la cual se incorpora un emulsificador (producto necesario para la preparación de una emulsión y para mantener estable la dispersión).
Fresado	Conjunto de actividades realizadas con equipo especial con el objetivo de restablecer o mejorar las características de la carpeta de rodadura.
Geotextil	Tela de fibras de poliéster, polipropileno o de una combinación de ambos, que cumple con

una serie de requisitos y que se utiliza principalmente, según sus propiedades, para reforzar suelos de baja capacidad de soporte, como filtro para drenaje y en la construcción de muros de sostenimiento de tierras.

IRI	Índice de rugosidad internacional. Mide la irregularidad superficial de la carpeta de rodadura.
Pavimento flexible (asfáltico)	Pavimento compuesto por una o más capas de mezclas asfálticas que pueden o no apoyarse sobre una base granular y una subbase.
Pavimento rígido	Estructura conformada por losas de hormigón de cemento hidráulico.
Pavimento	Superficie artificial creada para darle estabilidad y solidez al piso.
Riego de liga	Aplicación de un ligante asfáltico en estado líquido sobre la superficie de una capa de mezcla asfáltica, a fin de producir su adherencia con la capa inmediatamente superior.
Subbase	Capas de material especificado y de espesor establecido según el valor soporte del suelo, colocado sobre una subrasante con la finalidad de sustentar la capa de base superior.
Subrasante	Capa de terreno para una carretera que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le

afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Talud	Tangente del ángulo que forma el paramento de un corte con respecto a la vertical.
Tasa de descuento	Coeficiente matemático utilizado para obtener el valor presente de unos flujos de fondos futuros, esta tasa está relacionada con los tipos de interés, la inflación y la fecha futura de los flujos.
TIR	Tasa interna de retorno. Tasa que iguala la inversión inicial al valor presente de los flujos futuros provenientes de dicha inversión. Es la tasa que hace que el VAN sea cero.
VAN	Valor actual neto. Consiste en actualizar a valor presente los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, descontados a un cierto tipo de interés, y compararlos con el importe inicial de la inversión.
Vialeta	Señalización para carreteras.
Voladizo	Viga anclada en un extremo y proyectada en el espacio.
Whitetopping	Capa de concreto que se coloca sobre la antigua superficie de asfalto, previamente fresada, como parte de la rehabilitación de un pavimento.