



**Copyright 2011, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP**

Este Trabajo Técnico, elaborado para ser presentado en el *XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto* a realizarse entre el 20 y el 25 de noviembre de 2011 en Rio de Janeiro, fue seleccionado por el Comité Técnico del evento para dicho fin, de concordancia con las informaciones contenidas en el resumen sometido por el/los autor(es). Tal cual presentado, su contenido no fue revisado por el IBP. Por ende, los organizadores no traducirán ni corregirán los textos recibidos. La versión original del material presentado no refleja necesariamente las opiniones del *Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis*, sus Asociados y Representantes. El/los autores de este Trabajo Técnico tienen pleno conocimiento de esto y aprueban su publicación en los Anales del *XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto*.

## Resumen

Este estudio evaluó el desempeño en campo de pavimentos asfálticos con y sin aplicaciones de lechada asfáltica, desarrolló modelos de desempeño para pavimentos sin lechadas asfálticas y con lechadas asfálticas aplicados en varios momentos posteriores a la construcción, e identificó el tiempo óptimo para la aplicación de lechadas asfálticas en pavimentos dentro del condado de Washoe, en la región de Nevada. Esto fue alcanzado a través de la evaluación del desempeño a largo plazo de los pavimentos utilizando el programa MicroPAVER por los últimos 15 años y la costo-efectividad de los lechadas asfálticas aplicados a pavimentos tanto nuevos como existentes en los años 0,1,3,5,7 y 9 años después de la construcción. Este estudio encontró que la aplicación de la lechada asfáltica inmediatamente después o un año después de la construcción de la capa asfáltica no es efectiva en términos del beneficio a los usuarios como la tasa de beneficio-costo para la agencia.

Por propósitos de uniformidad y como resultado de la investigación se recomendó que la agencia aplique los tratamientos de lechada asfáltica después de la construcción de la capa asfáltica tanto para nuevas construcciones como para sobrecapas.

## Abstract

This study evaluated the field performance of asphalt pavements with and without slurry seal applications, developed performance models for asphalt pavements without slurry seals and asphalt pavements receiving slurry seals at various times following construction, and identified the optimum time for the application of slurry seals on asphalt pavements within the Washoe County, Nevada region. This was achieved by evaluating the long-term pavement performance data collected using the MicroPAVER system for the last 15 years and the cost-effectiveness of slurry seals applied to new and existing flexible pavements at years 0, 1, 3, 5, 7 and 9 after construction. This study found that the application of the slurry seal immediately after or 1 year after construction of the asphalt layer is not effective in terms of both the benefit to the users and the benefit cost ratio for the agency.

For uniformity purposes and as a result of the research, it was recommended that the agency applies slurry seal three years after the construction of the asphalt layer for both new and overlay constructions.

## 1. Introducción

A la luz de presupuestos cada vez menores, hay más presión en las agencias de ser más costo-efectivas en su entrega de servicios al público. Desafortunadamente, la infraestructura del transporte por naturaleza se deteriora justo en

<sup>1</sup> PHD, Ingeniería Civil - LanammeUCR

<sup>2</sup> PHD, Ingeniería Civil – UNR

<sup>3</sup> PHD, Ingeniería Civil - UNR

<sup>4</sup> Ms.C, Ingeniería Civil - LanammeUCR

el momento que es colocada. El mantenimiento preventivo de las carreteras da a los usuarios viajes más cómodos y seguros y ha mostrado que puede reducir costos de transporte cuando los tratamientos de mantenimiento son adecuadamente seleccionados y programados. Por ello, para las agencias de infraestructura la selección y planeamiento de las actividades de mantenimiento para la infraestructura de transporte existente se ha convertido en un punto de interés. El desempeño a largo plazo de una carretera existente es altamente dependiente de las condiciones de tráfico, propiedades del material del pavimento, condiciones ambientales e historia de mantenimiento. Dependiendo del deterioro de la carretera y otros factores, las agencias deben seleccionar un tratamiento de mantenimiento apropiado para ralentizar y retardar el deterioro. La oportunidad para las agencias de ahorrar dinero, ocurre cuando conocen el tiempo óptimo en el cual una carretera se beneficiaría más de la aplicación de un tratamiento de mantenimiento preventivo.

Aun cuando la selección de un mantenimiento apropiado es crítico para un pavimento de larga duración, este estudio se enfoca en la determinación del tiempo óptimo de la aplicación de un tratamiento de mantenimiento probado, la "lechada asfáltica". Una lechada asfáltica según Peshkin (1962), es una mezcla de un asfalto emulsificado de lenta colocación, agregado fino bien graduado, un relleno mineral y agua. Es usado para llenar grietas y sellar áreas de viejos pavimentos, para restaurar una textura uniforme en la superficie, para sellar la superficie para prevenir intrusión de aire y humedad al pavimento y para mejorar la resistencia al deslizamiento.

Este reporte resume los resultados de un estudio conducido por el Programa de Pavimentos/Materiales en la Universidad de Nevada, Reno (UNR) para la Comisión Regional de Transporte Washoe (RTC) para evaluar el desempeño en campo de slurry seals en pavimentos asfálticos.

## 2. Antecedentes

El desempeño del pavimento según el "National Research Council, Washington D.C." (1962), está definido como la tendencia de la serviciabilidad del pavimento a lo largo del periodo de diseño, donde la serviciabilidad indica la habilidad del pavimento de servir la demanda de tráfico en la condición existente. Un modelo de desempeño del pavimento está definido como una ecuación que relaciona el índice de desempeño del pavimento, tal y como lo es el índice de serviciabilidad del pavimento, con el tiempo y puede ser usado para predecir las condiciones futuras del pavimento basándose en los datos actuales de la condición del pavimento. En este sentido, comentan Li, et al (1962), que los modelos del desempeño del pavimento son críticos para el proceso de manejo del pavimento, ya que las actividades de mantenimiento y rehabilitación están basadas en la serviciabilidad actual del pavimento medidas en el campo y las condiciones futuras predichas por los modelos de desempeño del pavimento.

Hein y Watt (2004), indicaron que el método que las municipalidades han estado usando para priorizar y justificar los gastos en la infraestructura de transporte son índices de condición de la superficie que son resumidos usando un valor índice tal y como el índice de condición del pavimento (PCI). A través de la utilización de índices de condición de la superficie en conjunto con historias de construcción y mantenimiento, se pueden desarrollar modelos de predicción de la condición lo cual es imperativo para el desarrollo de un sistema completo del manejo del pavimento. Shahin (1994) presentó diferentes aspectos de la modelación de la condición del pavimento, enfatizando en mantenimiento costo-efectivo en lugar de la identificación de reparaciones emergencia.

Investigaciones de Rohde et al. (1998 y 2002) utilizaron el modelo del "World's Bank Highway Design and Maintenance" (HDM-IV) para calibrar los modelos de desempeño para lechadas asfálticas usando datos de campo provenientes de secciones de prueba específicas en Gauteng, Sudáfrica y datos de LTPP. HDM-IV usa los siguientes modos de falla para calibrar su índice de condición: iniciación de la falla, progresión de la falla, iniciación de las deformaciones, progreso de la generación de baches, progreso del ahuellamiento, desviación estándar del progreso del ahuellamiento y calidad de manejo. El índice de condición HDM-4 es un índice compuesto, calculado desde los modelos de predicción HDM para fracturamiento, profundidad de baches y rugosidad. Desafortunadamente, la investigación se enfocó solamente en calibrar los modelos de desempeño y no incluyó conclusiones del desempeño en campo de los slurry seals.

Liu et al. (2010) determinaron la efectividad de costo para lechadas asfálticas modificadas y de superficie, ultradelgadas y ligados con bitumen. La investigación usó información proveniente del "Pavement Management Information System" (PMIS) del "Kansas Department of Transportation". El desempeño fue analizado usando los siguientes tipos de falla: rugosidad, ahuellamiento, fatiga, y fracturamiento transversal. La investigación concluyó que un lechada asfáltica incrementó la vida de servicio en una autopista del estado de Kansas por 4.7 años (8).

La modelación del pavimento para este estudio es utilizada para la identificación de la efectividad de una aplicación de lechada asfáltica en un pavimento flexible con respecto al tiempo dentro del condado de Washoe. Para documentar el desempeño del pavimento, el departamento de ingeniería del condado de Washoe (WCED) usa el software de manejo de pavimento MicroPAVER que es apoyado, mantenido y periódicamente actualizado por los Laboratorios de Investigación en Ingeniería en Construcción (CERL) del centro de desarrollo e investigación ingenieril de la marina estadounidense.

El sistema MicroPAVER trabaja en conjunto con el estándar de inspección ASTM D6433 para determinar y monitorear el índice de condición del pavimento (PCI) para una sección de carretera determinada. El índice PCI de una

carretera está basado en los daños observados en la superficie. El índice PCI no es una medida directa de la capacidad estructural, resistencia al deslizamiento o rugosidad de la carretera; sin embargo es una herramienta objetiva para analizar las necesidades de la sección de carretera con respecto a un sistema completo de pavimentos.

Las condiciones ambientales de la región del condado Washoe pueden ser caracterizadas como desérticas, las cuales generalmente indican relativamente pocas tasas de precipitación, alrededor de 10 pulgadas, y para casi todas las locaciones en el condado debajo de 20 pulgadas, excepto por las regiones montañosas alrededor del lago Tahoe. Siendo un desierto, el área es sometida a relativamente altas temperaturas, periódicamente arriba de 100°F, y generalmente inviernos tibios, usualmente por arriba de 0°F. Sin embargo, la región está sometida a fluctuaciones de temperatura diaria significativas variando por 30 a 40°F, pero puede exceder 45°F, entre temperaturas de día y noche a lo largo del año.

### 3. Secciones de Pavimento Evaluadas

Con la finalidad de alcanzar los objetivos finales de este estudio, secciones de pavimento asfáltico fueron identificadas dentro de la jurisdicción del Condado de Washoe. La ciudad de Reno, y la Ciudad de Sparks. La evaluación cubrió pavimentos que fueron construidos recientemente y pavimentos que recibieron sobrecapas. Se utilizaron mezclas asfálticas en caliente (HMA, abreviatura en inglés) densamente graduadas con un tamaño máximo de agregado de 0.5 o 0.75 pulgadas con ligantes asfálticos no modificados AC-20, AR4000 o PG64-22. Las lechadas asfálticas fueron diseñadas de acuerdo con guías contenidas en la publicación A105, de la "International Slurry Surfacing Association" (ISSA). En general, las emulsiones asfálticas consistieron en mezclas modificadas por látex de un mínimo de 3% por peso del ligante de goma de látex siguiendo los requerimientos de las agencias. La mayoría de las carreteras bajo la dirección del condado están clasificadas como arterias menores, colectoras, y calles residenciales. Las clasificaciones funcionales del Condado de Washoe para las carreteras son definidas como sigue:

Arterias:

- Tráfico diario promedio aproximado (ADT) de 10,000 o superior.
- Arterias principales que sirven centros mayores de actividad de áreas urbanizadas y en áreas rurales funcionan primariamente a través del servicio de viaje tal y como las carreteras rurales. Arterias menores se interconectan y aumentan las Arterias mayores.
- Carreteras que no penetran barrios identificables y proveen conexión con carreteras colectoras urbanas y rurales.

Colectoras:

- ADT aproximado menor que 10,000.
- Carreteras que proveen tanto acceso por tierra como circulación de tráfico dentro de los vecindarios residenciales y áreas comerciales
- Carreteras que recolectan tráfico de calles residenciales y canaliza tráfico a las arterias.

Residenciales:

- ADT aproximado menor que 6000 con un alto porcentaje de camiones (>4%)
- Carreteras de menor volumen que proveen acceso directo a zonas comerciales e industriales.

Un total de 2700 secciones de pavimento fueron evaluadas en este estudio. Carreteras residenciales son por mucho las más abundantes en el estudio debido a la alta disponibilidad de esos pavimentos dentro de las áreas urbanas. Las secciones de pavimento fueron separadas en las siguientes categorías. Solamente secciones de pavimento que fueron sometidas al tratamiento de lechada asfáltica fueron incluidas en este estudio. Este estudio se concentra en las secciones de pavimento que recibieron 2 aplicaciones de lechada asfáltica. La mayoría de las secciones de pavimento que recibieron lechada asfáltica como tratamiento lo recibieron entre Junio y Septiembre, la cual es la temporada de construcción en la zona norte de Nevada.

- "Do-Nothing" No se aplicó lechada asfáltica al pavimento.
- Se aplicó el Lechada asfáltica en el momento de la construcción del pavimento
- Se aplicó el primer Lechada asfáltica en: 0, 1, 3 y 5 años después de la construcción.
- Se aplicó el segundo Lechada asfáltica en el año 5, 7 y 9 después de la construcción.

### 4. Modelos de Desempeño

Los datos de PCI recolectados por las agencias fueron usadas para desarrollar los modelos de predicción para las diferentes categorías de pavimentos tal y como se muestra en las tabla 1. El número de secciones representan el número de secciones identificadas por el sistema MicroPAVER. Esto indica que múltiples secciones pueden haber sido localizadas en la misma carretera. El valor de  $R^2$  indica la calidad del ajuste entre el modelo y los datos actuales.

Tabla 1. Modelos de Desempeño

Muestra	Año del Tratamiento	Número de Secciones	Modelo	R2
OL-C-0-7	0	15	-	-
	7	-	$-0,0395x^4 + 1,6286x^3 + -24,513x^2 + 153,73x + -260,28$	0,959
OL-C-0-9	0	17	-	-
	9	-	$-0,0853x^4 + 3,6414x^3 + -56,628x^2 + 371,11x + -772,95$	0,936
OL-C-1-7	1	13	$0,0025x^4 + -0,0636x^3 + 0,3471x^2 + -4,8768x + 104,34$	0,992
	7	-	$-0,0318x^4 + 1,285x^3 + -19,169x^2 + 120,21x + -187,49$	0,951
OL-C-1-9	1	10	$-0,0046x^4 + 0,131x^3 + -1,1386x^2 + -1,176x + 101,9$	0,993
	9	-	$-0,0119x^4 + 0,4477x^3 + -5,5291x^2 + 14,536x + 150,44$	0,983
OL-C-3-7	3	17	$-0,0625x^4 + 1,375x^3 + -11,688x^2 + 38,875x + 56,5$	0,944
	7	-	$0,0076x^4 + -0,4031x^3 + 7,3648x^2 + -59,809x + 267,21$	0,988
OL-C-3-9	3	12	$-0,0457x^4 + 1,1416x^3 + -10,54x^2 + 37,202x + 55,974$	0,99
	9	-	$-0,0005x^4 + -0,0233x^3 + 1,2645x^2 + -21,495x + 193,06$	0,988
OL-C-5-9	5	6	$0,1167x^4 + -2,925x^3 + 26,158x^2 + -104,8x + 262,5$	0,979
	9	-	$-0,0308x^4 + 1,5823x^3 + -30,31x^2 + 249,14x + -654,22$	0,983
NC-C-0-7	0	10	-	-
	7	-	$-0,0401x^4 + 1,8221x^3 + -30,014x^2 + 204,81x + -402,3$	0,991
NC-C-0-9	0	12	-	-
	9	-	$-0,2215x^4 + 10,258x^3 + -176,82x^2 + 1335,5x + -3637,3$	0,98
NC-C-1-7	1	15	$0,0025x^4 + -0,0636x^3 + 0,3471x^2 + -4,8768x + 104,34$	0,992
	7	-	$-0,0214x^4 + 0,9241x^3 + -14,652x^2 + 95,982x + -140,61$	0,956
NC-C-1-9	1	12	$0,0166x^4 + -0,3062x^3 + 1,7789x^2 + -7,9927x + 106,32$	0,977
	9	-	$-0,1279x^4 + 6,0189x^3 + -105,95x^2 + 819,19x + -2257,7$	0,995
NC-C-3-7	3	15	$0,1597x^4 + -3,1528x^3 + 22,59x^2 + -72,931x + 187,67$	0,948
	7	-	$-0,0032x^4 + 0,1351x^3 + -2,4789x^2 + 17,543x + 56,59$	0,983
NC-C-3-9	3	11	$-0,0519x^4 + 1,2266x^3 + -10,574x^2 + 36,15x + 57,839$	0,856
	9	-	$0,0224x^4 + -1,2347x^3 + 24,577x^2 + -215,9x + 799,08$	0,993
NC-C-5-9	5	7	$0,3417x^4 + -9,4083x^3 + 95,133x^2 + -424,12x + 804,5$	0,989
	9	-	$-0,0308x^4 + 1,5823x^3 + -30,31x^2 + 249,16x + -654,22$	0,99

En la figura 1, se muestran los gráficos de los modelos desarrollados para aplicaciones de lechada asfáltica con sobrecapa.

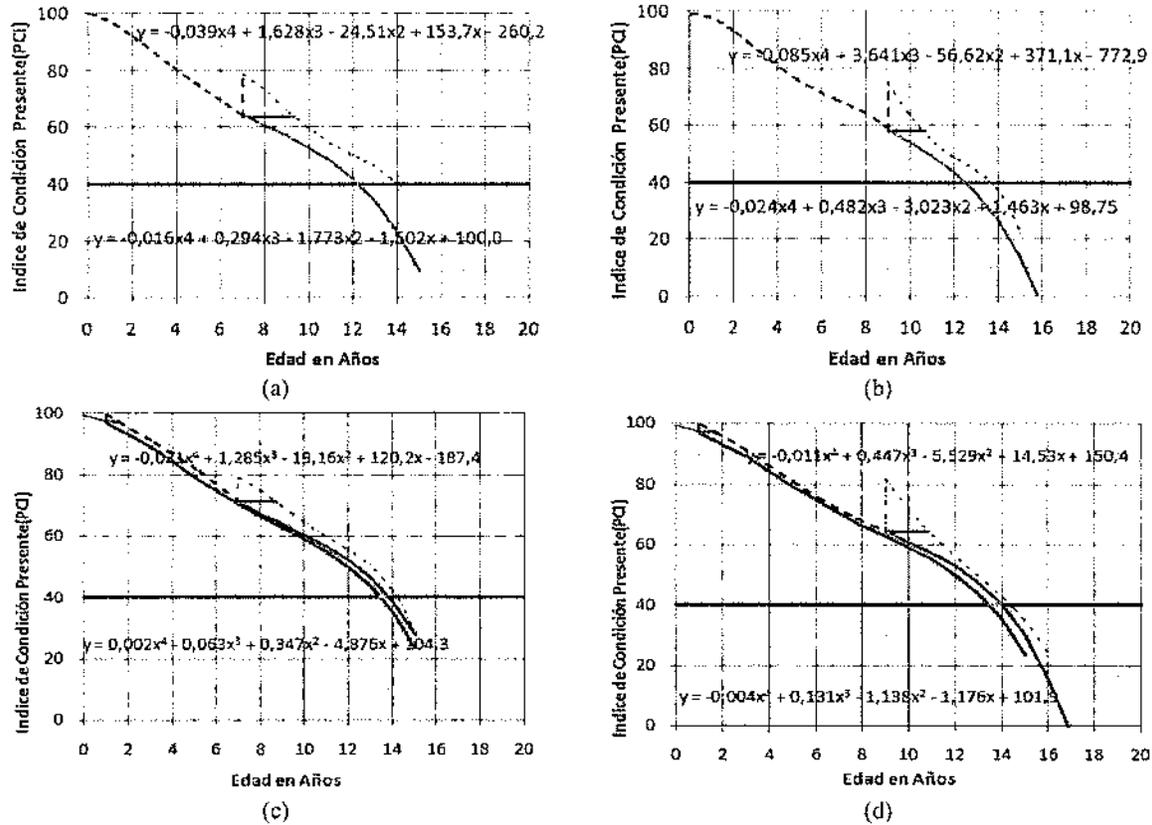


Figura 1. Modelos de Desempeño para Aplicaciones de Lechada asfáltica con Sobreccapa, para (a) Primera aplicación en el año 0, segunda en el año 7 (b) Primera aplicación en el año 1, segunda en el año 7 (c) Primera aplicación en el año 0, segunda en el año 9 (d) Primera aplicación en el año 1, segunda en el año 9

### 5. Análisis Beneficio Costo

El próximo paso en el análisis consistió en calcular el beneficio en desempeño al aplicar lechadas asfálticas a varios años después de la construcción. El beneficio B está definido como el área entre las curvas de desempeño del pavimento y las del pavimento con ambas aplicaciones del tratamiento, esto para el tipo de análisis (b), para el tipo de análisis (a), como se presenta en la figura 2, el beneficio B está definido como la diferencia entre la curva del desempeño para la primera aplicación y la curva de desempeño de la segunda aplicación. Es importante notar que el valor de desempeño PCI limite es de 40, por lo cual, las áreas se consideran a partir de este límite.

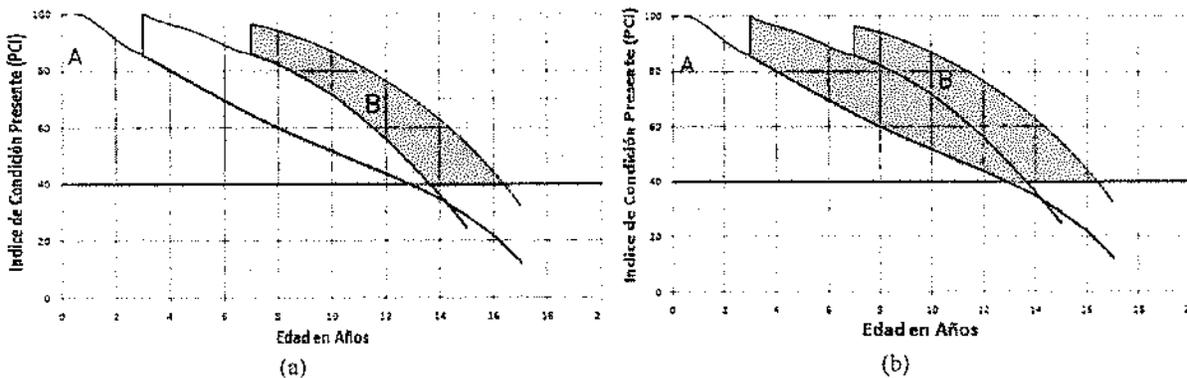


Figura 2. Beneficios de aplicación. Análisis tipo (a), tipo (b)

El beneficio relativo está definido como la tasa del beneficio de la aplicación de la lechada asfáltica sobre el área de control A, arriba de un valor PCI de 40. El beneficio relativo difiere del beneficio de desempeño, en el sentido de que relaciona el incremento de la serviciabilidad del pavimento debido a la aplicación de la lechada asfáltica con la serviciabilidad relativa de la carretera existente. El beneficio relativo puede ser visto entonces como un mejoramiento porcentual de la serviciabilidad del pavimento, el cual está directamente relacionado con la satisfacción del usuario.

En el ejemplo de la figura la aplicación del primer lechada asfáltica, creó un mejoramiento de aproximadamente 14 puntos en el valor del PCI, mientras que la segunda aplicación, mejoró el índice en un valor de 10.5 puntos. Si solamente se hubiera aplicado el primer tratamiento, la vida del pavimento se hubiera incrementado en 0.7 años, mientras que el resultado de aplicar ambos tratamientos resultó en un incremento de 3.659 años, lo cual es bastante significativo.

El costo de la aplicación del Lechada asfáltica fue estimado basándose en las figuras de costo del 2009 (año 0 después de la construcción) en \$11,070 carril/milla. Una tasa de descuento de 3% fue determinada basándose en datos históricos a lo largo de 15 años (1991-2005) para la región y fue utilizada para estimar las figuras de costo para los diversos años de aplicación del Lechada asfáltica. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 2. Resultados del Análisis

Muestra	Tipo de Análisis	Tasa de Beneficio	Costo (\$/carril-milla)	Area de Beneficio (B)	Tasa Costo-Beneficio
OL-C-0-7	(a)	-	11,070	-	-
	(b)	14,77%	17,76	54,849	3,088
OL-C-0-9	(a)	-	11,070	-	-
	(b)	9,08%	23,17	35,328	1,525
OL-C-1-7	(a)	7,69%	11,402	35,351	3,100
	(b)	13,83%	17,76	60,161	3,387
OL-C-1-9	(a)	6,32%	11,402	29,173	2,559
	(b)	12,91%	23,17	56,158	2,424
OL-C-3-7	(a)	30,18%	12,459	147,943	11,874
	(b)	57,23%	17,76	232,266	13,078
OL-C-3-9	(a)	16,56%	12,459	86,746	6,963
	(b)	47,27%	23,17	195,960	8,457
OL-C-5-9	(a)	8,02%	14,440	44,147	3,057
	(b)	44,06%	23,17	181,832	7,848
NC-C-0-7	(a)	-	11,070	-	-
	(b)	24,67%	17,76	94,656	5,330
NC-C-0-9	(a)	-	11,070	-	-
	(b)	21,25%	23,17	83,420	3,600
NC-C-1-7	(a)	11,69%	11,402	51,680	4,533
	(b)	16,60%	17,76	70,278	3,957
NC-C-1-9	(a)	14,70%	11,402	68,534	6,011
	(b)	22,88%	23,170	99,547	4,296
NC-C-3-7	(a)	32,35%	12,459	157,290	12,625
	(b)	71,59%	17,76	268,483	15,117
NC-C-3-9	(a)	19,86%	12,459	118,472	9,509
	(b)	66,66%	23,17	285,938	12,341
NC-C-5-9	(a)	13,88%	14,440	73,219	5,071
	(b)	47,17%	23,17	192,531	8,309

La tasa de beneficio costo está definida como la relación del beneficio (B) dividido entre el costo (C) de la aplicación del lechada asfáltica. La tasa de beneficio costo fue usada para determinar la costo-efectividad relativa del tratamiento del lechada asfáltica con respecto a los varios momentos de aplicación. La tabla anterior resume estos datos para las diversas muestras, tanto para nueva construcción como para sobrecapa. Las figuras 3, 4, 5, y 6, muestran los beneficios relativos de acuerdo al tipo de análisis escogido.

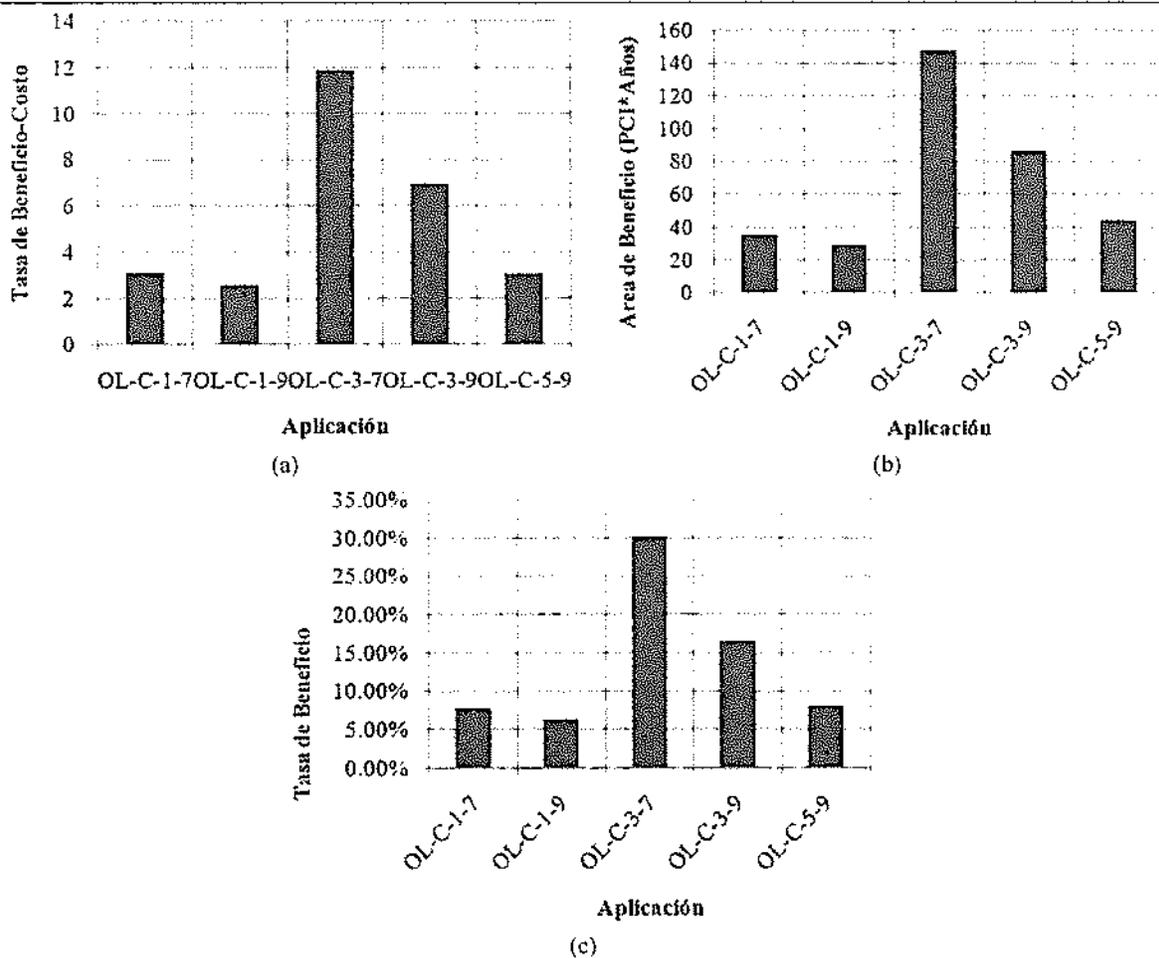


Figura 3. (a) Gráfico de Tasa de Costo-Beneficio para las secciones Sobrecapa, análisis tipo [b] (b) Gráfico de Área de Beneficio para las secciones Sobrecapa, análisis tipo [b] (c) Gráfico de Tasa de Beneficio para las secciones Sobrecapa, análisis tipo [b]

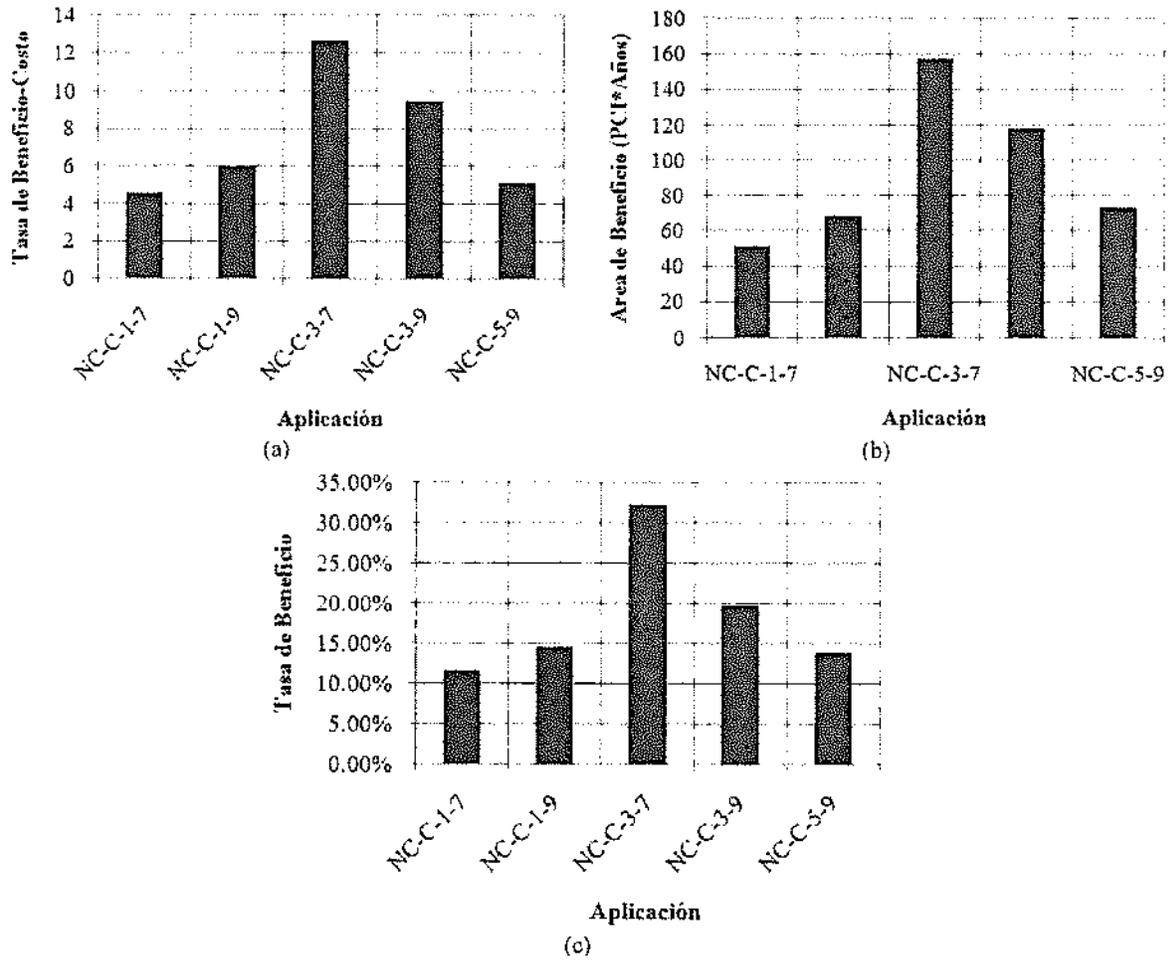


Figura 4. (a)Gráfico de Tasa de Costo-Beneficio para las secciones Nueva Construcción, análisis tipo [b] (b) Gráfico de Área de Beneficio para las secciones Nueva Construcción, análisis tipo [b] (c) Gráfico de Tasa de Beneficio para las secciones Nueva Construcción, análisis tipo [b]

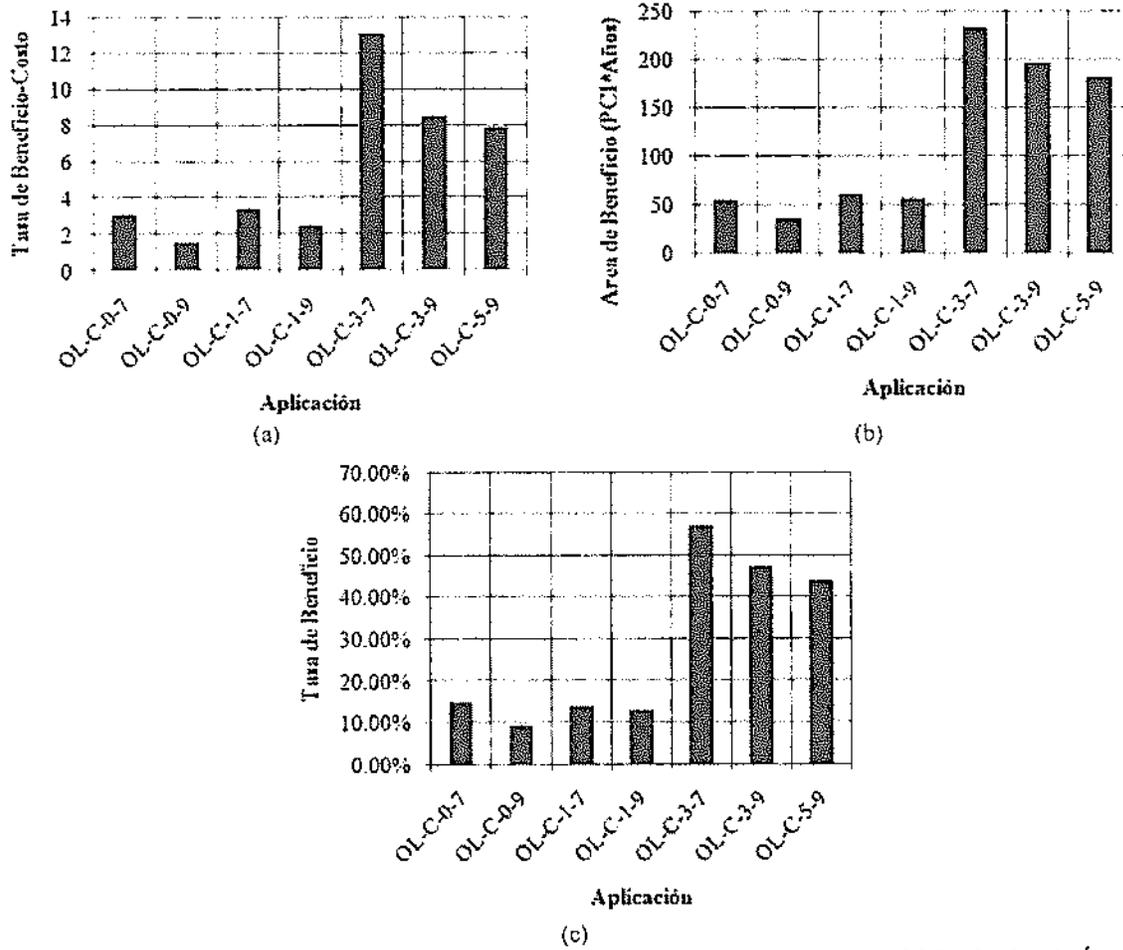


Figura 5. (a)Gráfico de Tasa de Costo-Beneficio para las secciones Sobrecapa, análisis tipo [a] (b) Gráfico de Área de Beneficio para las secciones Sobrecapa, análisis tipo [a] (c) Gráfico de Tasa de Beneficio para las secciones Sobrecapa, análisis tipo [a]

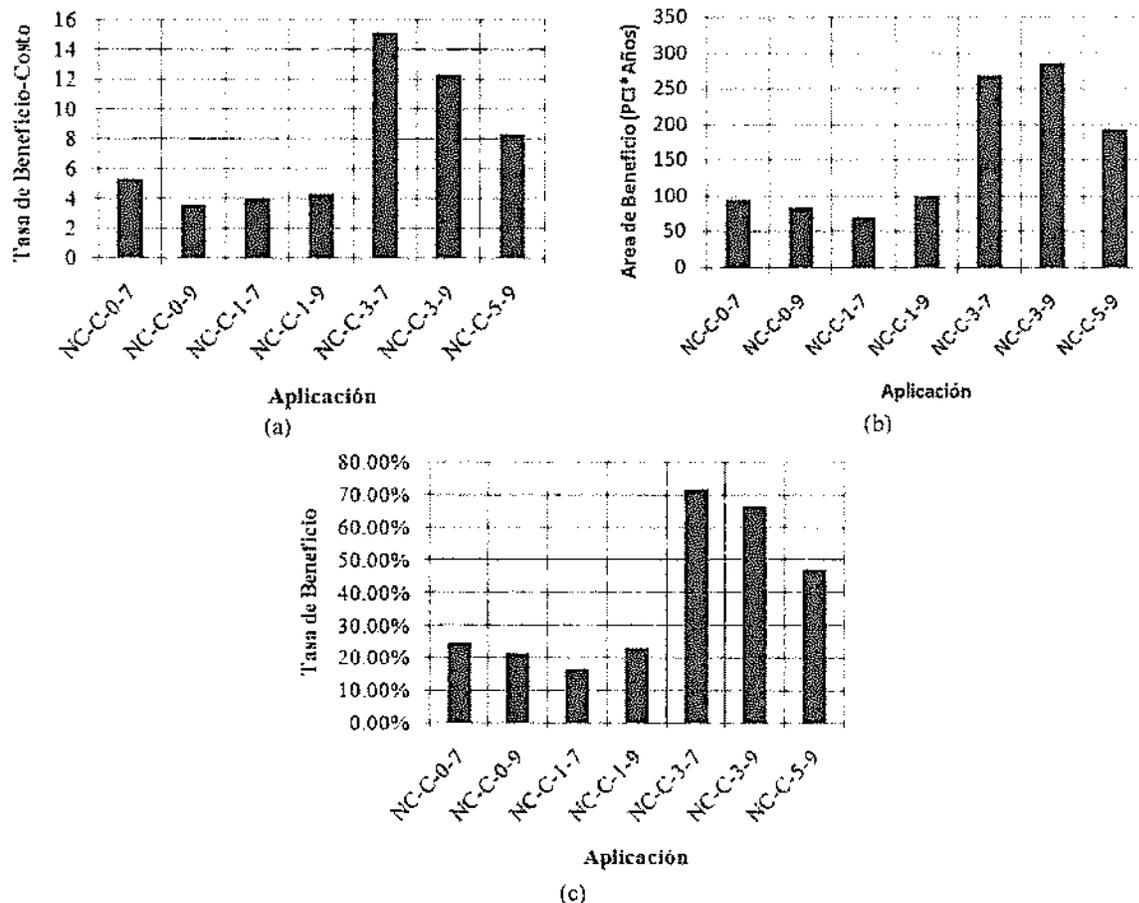


Figura 6. (a) Gráfico de Tasa de Costo-Beneficio para las secciones Nueva Construcción, análisis tipo [a] (b) Gráfico de Área de Beneficio para las secciones Nueva Construcción, análisis tipo [a] (c) Gráfico de Tasa de Beneficio para las secciones Nueva Construcción, análisis tipo [a]

Es importante observar que las muestras que tienen una aplicación del tratamiento en el año 0 (justo después de la construcción) no son consideradas en el análisis tipo (a) debido a que su gráfico es el mismo que como si fueran una aplicación simple del tratamiento, tal como se mostró en la figura, solo existe un salto en la curva de desempeño debido a que nunca se desarrolló la muestra en su estado "Do-Nothing" y apenas empieza a contar el período se tiene una curva de desempeño que refleja la aplicación de un tratamiento.

## 6. Conclusiones

De la revisión de los resultados de las tasas de beneficio y los desempeños de los diversos tipos de aplicación de tratamiento podemos obtener las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos corresponden a los principios básicos ingenieriles del proceso de reparación de pavimentos, los cuales nos indican que se debe permitir al asfalto curarse por un período de 3 años anteriormente a cualquier aplicación de reparaciones, esto se refleja en la poca efectividad observada en las muestras que tuvieron aplicaciones de reparación antes de este período.
- Se da un incremento muy importante en el beneficio de la aplicación de las reparaciones a partir del año 3 debido a que el pavimento ha alcanzado su resistencia óptima al ahuellamiento y al fracturamiento.
- Se da una disminución del beneficio cuando el primer tratamiento se aplica a los 5 años, tanto para la nueva construcción como cuando se emplean sobrecapas. Una razón de este comportamiento puede ser que ya se han comenzado a desarrollar los daños a largo plazo, los cuales son más difíciles de tratar.
- Este comportamiento óptimo de aplicación se refleja en ambos tipos de análisis como en los tipos de aplicación del tratamiento por lo que se asume son ampliamente confiables.

- El beneficio neto máximo en el caso de sobrecapas asfálticas se da generalmente cuando se aplica el tratamiento inicial en el año 3, y el segundo en el año 7, la segunda mejor opción es para la aplicación con el primer tratamiento en el año 3 y el segundo tratamiento en el año 9; a pesar que se pueda pensar que sería mejor económicamente realizar los tratamientos en los años 3 y 9, la razón beneficio-costos también valida la primera opción.
- El beneficio neto máximo en el caso de nueva construcción se da generalmente cuando se aplica el tratamiento inicial en el año 3 y el segundo en el año 7, la segunda mejor opción es para la aplicación con el primer tratamiento en el año 3 y el segundo tratamiento en el año 9 y a pesar que se pueda pensar que sería mejor económicamente realizar los tratamientos en los años 3 y 9 la razón beneficio-costos también valida la primera opción.

## 7. Agradecimientos

El autor quiere agradecer al estudiante Jose Pablo Vargas por su magnífico trabajo en el desarrollo de este artículo, así como al Ing. Mauricio Salas, por sus comentarios.

## 8. Referencias

- PESHKIN, D. G., HOERNER, T. E., ZIMMERMAN, K. A. Optimal Timing of Pavement Preventive Maintenance Treatment Applications. NCHRP Report 523, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2004.
- Special Report 61E: The AASHO Road Test Report 5, Pavement Research. HIRB, National Research Council, Washington, D.C., 1962.
- LI, Z., ZHANG, Z. Using Ordered Probit Model to Predict Pavement Performance from Experimental Data. In Pavement Management, Design, & Testing. CD-ROM. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2004.
- HEIN, D., WATT, D. Municipal Pavement Performance Prediction based on Pavement Condition Data. Presented at the Very Long-term Life-Cycle Analysis of Pavements – Determining the True Value of Our Investment Session at the Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Calgary, Alberta, 2005.
- SHAHIN, M.Y. Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. Springer Science+Business Media, LLC. New York, 2005.
- ROHDE, G.T., JOOSTE, F., SADZIK, E., HENNING, T. The Calibration and Use of HDM-IV Performance Models in a Pavement Management System. Presented at the Fourth International Conference on Managing Pavements, Durban, South Africa, 1998.
- ROHDE, G.T., WOLMARANS, I., SADZIK, E. The Calibration of HDM Performance Models in the Gauteng PMS. Presented at the 21st Annual South African Transport Conference, South Africa, 2002.
- LIU, L., MANEPALLI, V.S., GEDAFU, D.S., HOSSAIN, M. 2010. Cost Effectiveness of Ultrathin Bonded Bituminous Surface and Slurry Seal. In Compendium of Papers from the First International Conference on Pavement Preservation, New Port Beach, California, 2010, pp. 317-329.
- SHAHIN, M.Y. MicroPAVER Homepage. US Army Engineer, Research and Development Center – Construction Engineering Research Laboratories – Department of Defense. <http://www.cecr.army.mil/paver>. Visitado el 29 de Julio, 2010.
- Washoe County Quality of Life Webpage. Economic Development, NV Energy, Las Vegas, Nevada. <http://www.nvenergy.com/economicdevelopment/county/washoe/quality.cfm>. Visitado el 29 de Julio, 2010.
- Climate Description Webpage. US Department of Commerce, National Oceanic & Atmospheric Administration, National Weather Service, Reno Weather Forecast Office, Reno, NV. [http://www.wrh.noaa.gov/rev/climate/description\\_reno.php](http://www.wrh.noaa.gov/rev/climate/description_reno.php). Accessed July 29, 2010.
- Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal. International Slurry Surfacing Association, Publication A105, January 2001.

