

# **DESEMPEÑO A LARGO PLAZO DE LAS TÉCNICAS DE MITIGACIÓN DE REFLEJO DE GRIETAS EN EL ESTADO DE NEVADA**

Luis Loria, MsC, autor correspondiente  
Estudiante de Doctorado,  
Centro Superpave para el Oeste de Estados Unidos  
Universidad de Nevada Reno/ MS257  
E-mail: lorial@unr.nevada.edu

Elie Y. Hajj, PhD  
Profesor,  
Centro Superpave para el Oeste de Estados Unidos  
Universidad de Nevada Reno/ MS257  
E-mail: elieh@unr.edu

Alejandro Navas, MsC  
Director,  
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME)  
Universidad de Costa Rica  
E-mail: anavas@lanamme.ucr.ac.cr

Peter E. Sebaaly, PhD, P.E.  
Director/Profesor  
Centro Superpave para el Oeste de Estados Unidos  
Universidad de Nevada Reno/ MS257  
E-mail: psebaaly@unr.edu

## **Resumen**

Las sobrecapas de mezcla asfáltica en caliente (MAC) son uno de los métodos comúnmente utilizados para la rehabilitación de pavimentos deteriorados. El Departamento de Transporte de Nevada (NDOT por sus siglas en ingles) utiliza sobrecapas de MAC como técnica de rehabilitación para la mayoría de los pavimentos flexibles del estado. Un importante tipo de deterioro que influencia la vida de una sobrecapa es el reflejo de grietas. En el pasado, NDOT había experimentado con un número de técnicas que reducían el impacto del reflejo de grietas sobre las sobrecapas de MAC tales como reciclado en sitio en frío, geomallas reforzadas, capa de alivio de esfuerzos y fresado y sobrecapa. Un gran número de proyectos fueron construidas bajo esta categoría con el objetivo de determinar su efectividad. Este estudio evalúa el desempeño en campo a largo plazo de varias técnicas de mitigación de agrietamiento sobre pavimentos flexibles utilizadas por el NDOT en 33 proyectos diferentes. El desempeño de varios proyectos fue analizado en términos de fatiga, agrietamiento de bloque y transversal. Los datos fueron obtenidos del Sistema de Gestión de Pavimentos (PMS por sus siglas en ingles) del NDOT. Adicionalmente, el método estadístico llamado Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en ingles) se utilizó para evaluar la eficacia de cada una de las técnicas estudiadas. Esta investigación determinó que el reciclado en frío en sitio y el fresado y sobrecapa fueron los tratamientos más efectivos contra el reflejo de grietas de las sobrecapas de MAC sobre pavimentos flexibles y las condiciones de clima, tránsito y de sitio de Nevada. Cuando

el pavimento existente está experimentando agrietamiento del tipo de “cuero de lagarto” severo se recomienda que la capa de MAC sea sujeta a reconstrucción o recuperación total.

## **INTRODUCCIÓN**

La rehabilitación de pavimentos se está convirtiendo rápidamente en una de las tareas más importantes que enfrentan muchos departamentos de carreteras. Las sobrecapas de mezcla asfáltica en caliente (MAC) es uno de los métodos utilizados comúnmente para rehabilitar pavimentos deteriorados. El Departamento de Transportes de Nevada (NDOT) utiliza sobrecapas de MAC como técnica de rehabilitación para la mayoría de los pavimentos flexible del estado.

Uno de los más importantes deterioros que afectan la vida de una sobrecapa asfáltica es el reflejo de grietas (Elsefi et al, 2003). Cuando los pavimentos asfálticos son colocados sobre pavimentos de concreto con juntas o en capas asfálticas severamente agrietadas, las grietas subyacentes se reflejarán en la nueva capa en un tiempo relativamente corto. Este fenómeno consiste en un movimiento de separación alrededor de la zona agrietada debido a las cargas del tránsito y a la temperatura. Por lo tanto, el desempeño a largo plazo de las sobrecapas asfálticas dependerá en gran medida de su habilidad para resistir el reflejo de grietas. Las grietas reflejadas contribuyen en el flujo de agua a través del pavimento y a debilitar la capa de mezcla asfáltica así como las capas inferiores del pavimento, lo cual disminuye de forma muy importante la vida del pavimento. La humedad excesiva en el pavimento puede causar desnudamiento de la mezcla asfáltica y reducción de la resistencia de las capas de base y subrasante mientras que el agrietamiento produce la falla estructural del pavimento (Sousa et al, 2001).

El NDOT ha realizado numerosos esfuerzos anteriormente para reducir o prevenir el reflejo de grietas de las sobrecapas de MAC, incluyendo el incremento en el espesor de la sobrecapa de MAC, el uso de membranas de absorción de esfuerzo (SAMI), el uso de membranas geotextiles, y el fracturamiento de las losas de concreto existentes. Combatir el reflejo de grietas puede lograrse por uno de los dos siguientes enfoques: a) reducir la magnitud de los esfuerzos de tensión en la interfase de la sobrecapa-grieta o b) incrementar la resistencia a la tensión de la capa de MAC.

El aumento del grosor de la capa de MAC, así como la colocación de una membrana de absorción de esfuerzos entre capas sigue el enfoque de reducir la magnitud de los esfuerzos de tensión en la interfase sobrecapa-grieta. La membrana de absorción de esfuerzo entre capas usualmente consiste de un “tratamiento superficial” simple o doble. El “tratamiento superficial” es una capa altamente flexible la cual reduce la magnitud de los esfuerzos de tensión antes de que se lleguen a intersecar con la capa nueva de MAC. La capacidad de la membrana colocada entre capas para reducir los esfuerzos de tensión se incrementa cuando el grosor aumenta (esto es, una capa simple versus una capa doble de “tratamiento superficial”), como su contenido de ligante aumenta, la flexibilidad se incrementa. Sin embargo, tener una membrana de absorción de esfuerzo entre capas espesa, rica y altamente flexible puede causar ahuellamiento potencial y problemas de deformación bajo tráfico pesado.

La técnica de geotextiles sigue el enfoque de incrementar la resistencia a la tensión de la sobrecapa de MAC. Esos materiales tienen alta resistencia a la tracción y si son adheridos de forma efectiva a la capa de MAC, se mejorara la resistencia a la tensión de la sobrecapa.

Actualmente existen numerosas marcas de tejidos y geotextiles en el mercado cubriendo un amplio rango de costo y propiedades de resistencia. Seleccionar el mejor tipo de tejido o geotextil requiere una evaluación a profundidad de sus propiedades y su desempeño a largo plazo.

El esfuerzo de investigación documentado en este informe fue dirigido a la identificación de un metodo efectivo para eliminar/retardar la propagación de las grietas desde la capa de la superficie original hasta la sobrecapa nueva de MAC. En el año 2006, el Departamento de Transporte de Nevada (NDOT) inició una proyecto de investigación en dos fases: Fase I: identificar las técnicas más prometedoras para mitigar las reflejo de grietas en las sobrecapas MAC, y Fase II: identificar un modelo analítico que pueda ser utilizado para predecir la resistencia de las sobrecapas al reflejo de grietas y predecir su desempeño a largo plazo y revisar los ensayos de laboratorio y campo que están siendo utilizados para evaluar la resistencia de las sobrecapas de MAC al reflejo de grietas. Este artículo resume las conclusiones y recomendaciones de la Fase I de este estudio.

## **REVISION DE LA EXPERIENCIA DEL NDOT**

En los últimos quince anos, el NDOT experimento con diferentes técnicas para reducir el impacto de las reflejo de grietas en las sobrecapas de MAC. Este esfuerzo de investigación identificó y revisó el desempeño de los proyectos en campo donde el NDOT había implementado técnicas de mitigación de reflejo de grietas. El diseño, construcción, tráfico y detalles de esos proyectos fueron recolectados con su correspondiente desempeño en campo a largo plazo. La información fue analizada para evaluar la efectividad de varias técnicas de mitigación de reflejo de grietas bajo las condiciones de Nevada.

## **Recolección de Datos de Desempeño**

Los deterioros más comúnmente utilizados por el sistema de evaluación de pavimentos de NDOT son: Rugosidad del pavimento, ahuellamiento, y agrietamientos. El Sistema de Gestion de Pavimentos del NDOT utiliza el índice de serviciabilidad presente (PSI) para monitorear el desempeño de varias secciones de pavimento a través del estado. El PSI es altamente dependiente de la rugosidad del pavimento y no le da suficiente peso a los otros deterioros como agrietamiento, lo cual lo vuelve inapropiado en la evaluación de la efectividad de los tratamientos para la mitigación del reflejo de grietas. Para el propósito de esta investigación, los datos recolectados de cada sección de pavimento fueron fatiga, grietas de bloque y transversales monitoreadas sobre la vida de servicio de los pavimentos seleccionados en los últimos 20 años. Los tipos de agrietamiento estudiados, así como su extensión y severidad están definidas por el Manual de Identificación de Deterioros en Pavimentos Flexibles del NDOT (NDOT, 2002) y están resumidos como sigue.

### *Grietas por fatiga*

Las grietas por fatiga son causados por la carga repetida del tráfico sobre el pavimento. Esas grietas inician en la parte inferior de la capa MAC y lentamente van extendiéndose a la superficie. Las grietas por fatiga usualmente comienzan como una grieta longitudinal en la huella de las llantas, la cual el NDOT clasifica como Tipo A. El debilitamiento de la capa de MAC y las capas de base junto con la carga repetida del trafico lleva a la progresión de la grieta longitudinal y la formación de grietas interconectadas llamadas “cuero de lagarto” las cuales el NDOT clasifica como Tipo B. La extensión de las grietas por fatiga tipo A se mide

como los pies lineales totales de este tipo de grieta en la huella de las llantas del área del pavimento que está siendo investigada. La extensión de las grietas por fatiga tipo B se mide como el total de pies cuadrados de este tipo de grietas en la huella de las llantas del pavimento que está siendo investigado (esto es, en secciones de 10 m por el ancho de la vía, seleccionadas al inicio de cada milla del pavimento).

#### *Grietas transversales*

Las grietas transversales son causadas principalmente por: esfuerzos térmicos o por la reflexión de grietas/juntas en la capa de abajo. La extensión se mide como el total de pies lineales de grieta a través de todo el área de pavimento que está siendo investigado.

#### *Grietas en bloque*

Las grietas en bloque comienzan como una combinación de grietas transversales cortas y longitudinales que no están en la huella de las llantas, las cuales NDOT clasifica como tipo A. Estas son causadas por el endurecimiento debido a la edad y la contracción de la capa de MAC. Aunque las cargas de tráfico no son la principal causa de este tipo de deterioro, continuar sometiendo a carga la frágil superficie acelerará este deterioro y romperá las piezas más grandes en pequeños pedazos, los cuales el NDOT clasifica como Tipos B y C. La extensión del tipo A se mide como el total de pies lineales de este tipo de grieta en toda el área de pavimento que está siendo investigada. La extensión de los tipos B y C se mide como el total de pies cuadrados de este tipo de grieta en toda el área de pavimento que está siendo investigada.

## **DESEMPEÑO A LARGO PLAZO DE PROYECTOS SELECCIONADOS DEL NDOT**

La siguiente lista indica las técnicas de mitigación de reflejo de grietas que el NDOT ha evaluado en los últimos 15 años para sus pavimentos flexibles.

- Reciclado en sitio en frío (CIR)
- Geotextiles reforzados (RF)
- Capas de alivio de esfuerzos (SRC)
- Fresado y sobrecapa (MOL)

Un total de treinta y tres proyectos fueron construidos bajo las categorías indicadas. La localización de los proyectos varía entre la parte noreste y la parte sureste de Nevada, las cuales cubren distintas condiciones de tráfico y ambiente. Toda la información descriptiva de los proyectos fue determinada a través del sistema de gestión de pavimentos de NDOT. Los datos no se incluyen en este artículo por motivos de espacio.

#### *Reciclado en sitio en frío (CIR)*

El reciclado en sitio en frío se lleva a cabo utilizando una máquina de reciclado especial, en la cual el corazón es un tambor de fresado equipado con un gran número de picos de acero endurecidos. En general, la tecnología del CIR es utilizada para construir una base fuerte de agregado grueso. Se cree que el CIR refuerza el pavimento existente tratando muchos tipos y grados de deterioro. Originalmente, los proyectos de CIR fueron construidos sobre carreteras con bajo volumen de tránsito, en el ranking de 30 a 300 AADT. Sin embargo, algunas agencias, incluida NDOT, actualmente aplica este tratamiento sobre carreteras con tráfico que

varia de 1000 a incluso 10 000 AADT. Un total de veinte proyectos del NDOT construidos entre 1992 y 2001 fueron analizados en este estudio. La siguiente es una descripción de varios tratamientos CIR aplicados. CIR-A: CIR 5.0 cm de capa existente de MAC y sobrecapa de 7.0 cm de graduación densa MAC y 1.5 cm de mezcla asfáltica de graduación abierta (OGFC); CIR-B: CIR 7.5 cm de capa existente de MAC y sobrecapa de 7.5 cm de graduación densa MAC y 1.5 cm OGFC; y, CIR-C: CIR 5.0 cm de capa existente de MAC y sobrecapa de 5 cm de graduación densa de MAC y 1.5 cm de OGFC.

#### *Geotextiles reforzados (RF)*

Los geotextiles reforzados son un tipo especial de geosintético que provee en general las funciones de absorción de esfuerzos entre capas y una membrana impermeable. Un total de seis proyectos del NDOT con geosintéticos se construyeron entre 1999 y 2001 y fueron analizados en este estudio. La construcción consiste de un fresado en frío de 5.0 cm de la capa de MAC existente, colocación de geosintético reforzado y una sobrecapa de 5.0 cm del Tipo II de NDOT de graduación densa y 1.5 cm de OGFC.

#### *Capa de alivio de esfuerzos (SRC)*

La capa de alivio de esfuerzos consiste de una capa de MAC de graduación densa Tipo III (1 cm como tamaño máximo). La capa de alivio de esfuerzos está colocada entre el pavimento existente y la sobrecapa y se supone que actúa como capa separadora entre la superficie agrietada y la sobrecapa. Este tratamiento consiste de fresado en frío de 5.0 cm de la capa de MAC existente, colocando una capa de alivio de esfuerzos de 2.5 cm y una sobrecapa de 5.0 cm Tipo II de graduación densa del NDOT y 1.5 cm de OGFC.

#### *Fresado y sobrecapa (MOL)*

Esta técnica consiste en fresado en frío sobre una capa de MAC existente de 2 pulgadas y reemplazarla con una sobrecapa MAC. La intención es reducir el reflejo de grietas eliminando las grietas de la superficie a través de fresado frío y reemplazando con material de MAC nuevo. Un total de 10 proyectos del NDOT fueron construidos entre 1990 y 2003 y analizados en este estudio. Una descripción de algunas variaciones de las sobrecapas de MAC con fresado se detalla a continuación. MOL-A: Fresado en frío 2.5 cm de la capa MAC existente y sobrecapa de 2.5 cm Tipo III de graduación densa MAC y 1.5 cm OGFC; MOL-B: Fresado en frío 3.0 cm de la capa de MAC existente y sobrecapa de 3.0 cm Tipo II de graduación densa de MAC y 1.5 cm de OGFC; y, MOL-C: Fresado en frío de 2.5 cm de la capa existente MAC y sobrecapa de 1.5” Tipo II de graduación densa de MAC y 1.5 cm de OGFC.

### **Resumen General del Desempeño de los Proyectos Seleccionados del NDOT**

La Tabla 1 resume el desempeño en campo a largo plazo de varios proyectos del NDOT analizados en este estudio. Los deterioros del pavimento en términos de grietas de la superficie antes y después de la aplicación del tratamiento se resumen en la Tabla 2 para cada proyecto. Adicionalmente, la Tabla 2 muestra, para cada proyecto, la severidad de cada tipo de deterioro considerando el número de años después de la construcción en los cuales las grietas aparecieron sobre la superficie del pavimento. En general, todos los proyectos experimentaron pre-rehabilitación de las grietas de la superficie ordenadas de menor a mayor severidad.

**Tabla 1. Resumen de la condición del pavimento antes y después de la intervención**

Tratamiento	Tráfico Promedio Diario	Edad del Pavimento (años)	Condición del Pavimento antes de la Intervención (Severidad)						Condición del Pavimento después de la Intervención (Severidad)			
			Fatiga		Grieta Transversal	Agrietamiento Tipo Bloque			Fatiga Tipo A	Grieta Transversal	Agriet. Bloque Tipo A	
			A	B		A	B	C				
Reciclado en Sitio en Frío	CIR-A-1	2,950	7	Sev	-	Mod	Min	-	-	-	Min/7	-
	CIR-A-2	2,950	8	Min	Sev	Mod	-	-	Min	-	Min/2	-
	CIR-A-3	1,100	6	-	-	Sev	Sev	Sev	Sev	-	Min/1	-
	CIR-A-4	800	6	Sev	Mod	Min	Min	Mod	Mod	-	-	-
	CIR-B-1	5,550	7	-	Sev	Mod	-	Min	Min	Min/3	Min/2	-
	CIR-B-2	5,550	7	Min	-	Min	Min	Sev	Min	Min/7	Min/7	-
	CIR-B-3	2,000	6	Min	-	Min	Sev	Sev	Sev	-	-	-
	CIR-B-4	14,500	6	Min	-	Min	Mod	-	-	-	Min/6	-
	CIR-C-1	5,000	2	Min	Min	Min	-	-	-	-	Min/1	-
	CIR-C-2	1,000	4	Min	Mod	Min	Mod	Mod	Min	-	Min/1	-
	CIR-C-3	1,000	4	Min	Min	Min	Mod	Mod	Min	-	Min/1	-
	CIR-C-4	1,500	4	Min	-	Sev	Mod	-	Min	-	Min/1	-
Geosintéticos	RF-1	9,600	6	Min	Sev	Mod	Sev	Mod	-	Min/5	Min/1	-
	RF-2	2,850	6	Min	Min	Sev	-	-	-	-	-	-
	RF-3	1,000	5	Min	Min	Sev	-	Min	Min	-	-	-
	RF-4	4,400	5	Min	Min	Min	-	-	-	-	Min/3	-
	RF-5	7,200	4	Min	Min	Min	-	-	-	-	-	-
	RF-6	10,000	4	Min	Min	Min	-	-	-	-	Min/2	-
Capas de Alivio de Esfuerzos	SRC-1	40,000	8	Mod	Sev	Mod	Mod	Min	-	-	-	-
	SRC-2	15,600	5	Min	Min	Mod	Sev	-	-	-	Min/5	-
	SRC-3	2,700	5	Mod	-	Mod	-	-	-	-	Min/5	-
	SRC-4	1,900	4	Min	Mod	Mod	-	-	-	-	-	-
	SRC-5	29,100	2	-	-	Min	-	-	-	-	-	-
Fresado y Sobrecapa	MOL-A-1	40,000	15	-	Sev	Min	Mod	-	-	Mod/1	Mod/1	-
	MOL-A-2	5,500	12	Mod	Sev	Mod	Min	-	-	Min/4	Min/2	-
	MOL-A-3	2,700	12	Mod	-	Mod	-	-	-	-	Min/5	-
	MOL-A-4	3,350	12	-	Sev	-	Mod	-	Sev	-	-	-
	MOL-B-1	2,000	10	-	Mod	-	Mod	-	Min	-	-	Min/5
	MOL-B-2	1,700	9	-	-	-	-	Sev	Sev	-	Min/5	-
	MOL-B-3	1,700	9	Mod	-	Mod	Mod	Sev	Sev	Min/5	Min/5	-
	MOL-B-4	6,750	8	Mod	-	Min	Mod	Min	-	-	Mod/1	Min/6
	MOL-C-1	7,250	5	-	-	Mod	-	-	-	-	Min/3	-
MOL-C-2	7,500	2	Min	Min	Min	Mod	Mod	-	-	-	-	

Nota: Min Denota “Menor”, Mod Denota “Moderado”, Sev Denotes “Severo”.

## **Análisis Estadístico de los Datos de Reflejo de Grietas – Análisis de Componente Principal**

El análisis de Componentes Principales (PCA) es una manera de identificar patrones en los datos, y de expresarlos de forma que se evidencien sus similitudes y diferencias. Una definición formal indica que PCA es un método que reduce datos dimensionalmente diferentes por medio de un análisis de covarianza entre los factores. De modo que, es adecuado para los conjuntos de datos en múltiples dimensiones, como un gran conjunto de datos de deterioros del pavimento. Las aplicaciones principales del PCA son: (1) reducir el número de variables y (2) detectar la estructura de las relaciones entre variables, para clasificar las variables.

Un ejemplo para entender el análisis PCA está dado aquí para la combinación de dos variables en un solo factor. Típicamente, la correlación entre dos variables puede ser presentada en un grafico de dispersión. Se puede realizar una regresión lineal que represente el “mejor” resumen de la relación lineal entre las variables. Se puede definir un factor que aproxime la regresión lineal en cada grafico, a continuación podría capturar la “esencia” de

las dos variables. Por tanto, los resultados sobre el nuevo factor, representados por la regresión lineal, podrían utilizarse en futuros análisis de datos para representar la esencia de los dos factores. En cierto sentido, se redujeron las dos variables a un solo factor. Notar que el nuevo factor actualmente es una combinación lineal de las dos variables.

En este caso, los datos multivariados corresponden a los registros de agrietamiento del NDOT para cada año mientras la dimensionalidad representa la extensión, severidad y años de ocurrencia de varios tipos de grietas. Por lo consiguiente, en el caso de grietas, el PCA trata de dar un indicador combinado o un factor que interprete el efecto simultaneo de grietas por fatiga, en bloque y transversales en términos de su extensión, severidad y años de ocurrencia.

### Análisis del Desempeño en Proyectos Seleccionados

El análisis PCA fue realizado para todos los proyectos combinando un año antes de la rehabilitación (-1) y uno (+1), tres (+3), y cinco años (+5) después de la aplicación del tratamiento basado en la medición de las grietas de la superficie (grietas por fatiga, de bloque y transversales). Se utilizó el macro estadístico del software SAS llamado “factor” para realizar el análisis de PCA (Fernandez, 2005). La tabla 2 muestra un ejemplo del análisis que se realizó para todos los proyectos. El valor de PCA sirvió de base para realizar un ranking del desempeño de los proyectos, siendo que los proyectos con valores de PCA menores, desempeñaron mejor que los otros. Se incluyen solo dos resultados a manera de ilustración. Como se puede ver para el proyecto CIR-A-1, el desempeño mostrado fue ideal puesto que siempre se mantuvo con valores de ranking cercanos a 1; en cambio el proyecto CIR-A-2, se ubicó entre la posición 7 y 12 del ranking de desempeño de proyectos.

**Tabla 2. Ranking de Desempeño de los Proyectos de acuerdo con el PCA**

Tratamiento	DOC*	AADT*	Ranking <sup>1</sup>					
			-1 <sup>#</sup>	+1 <sup>#</sup>	-1 <sup>#</sup>	+3 <sup>#</sup>	-1 <sup>#</sup>	+5 <sup>#</sup>
CIR-A-1	1998	2,950	2	1	1	1	1	2
CIR-A-2	1997	2,950	7	1	8	10	7	12

DOC: Día de construcción.

Las Figura 1 muestra una comparación entre la clasificación de varios tratamientos un año antes de la construcción versus la clasificación un año después de la construcción. Un análisis similar se hizo para tres y cinco años después de la construcción pero no se muestra por motivos de espacio. El objetivo de este gráfico es poder evaluar la efectividad de varios tratamientos comparando su historial de desempeño en relación con las condiciones del pavimento antes de la rehabilitación. En otras palabras, un tratamiento que se aplicó sobre un pavimento gravemente deteriorado y mantuvo un buen rendimiento podría ser más efectivo que un tratamiento que se aplicó a un pavimento menos deteriorado y mantuvo un buen rendimiento. Examinando los datos presentados en la Figura 1, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Los tratamientos CIR y MOL que fueron aplicados sobre pavimentos flexibles que experimentaron la más amplia gama de desempeño antes del tratamiento (-1) y el tratamiento SRC fue aplicado sobre pavimentos flexibles que experimentaron el rango más estrecho de desempeño antes del tratamiento.
- Después de un año (+1) de la construcción del tratamiento (Figura 1), los tratamientos CIR, RF y MOL mostraron un desempeño similar mientras que el tratamiento SRC mostro un desempeño significativamente mejor.

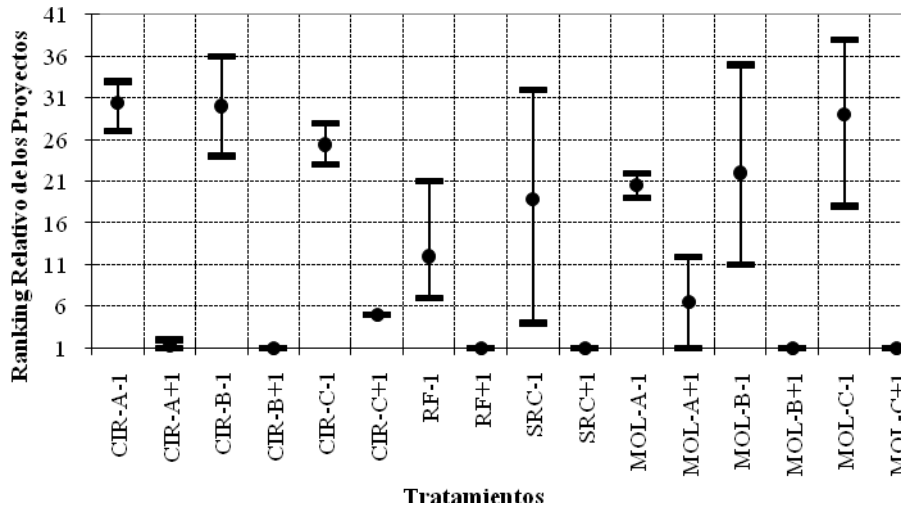


Figura 1. Ranking relativo de los proyectos un año después de la construcción

## CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones generales sobre el desempeño de los tratamientos de reflejo de grietas en Nevada están basadas en la combinación de análisis de datos de deterioros y PCA.

- El análisis PCA realizado se mostró como una herramienta útil para identificar la idoneidad de los tratamientos contra reflejo de grietas cuando existe una base de datos de deterioros adecuada. Con base en esto se determinó que en general, el desempeño del tratamiento para reflejo de grietas es altamente dependiente de las condiciones del pavimento antes de la construcción del tratamiento. Esto se fundamenta en los datos recolectados en donde el CIR y MOL fueron aplicados a pavimentos con un bajo desempeño y los pavimentos donde el RF y SRC fueron aplicados mostraron los peores desempeños después de 5 años de servicio.
- El mejor tratamiento de reciclado en frío en sitio consistió en fresar 5 cm y colocar una sborecapa de 6 o 7 cm, independientemente del nivel de tráfico. El tratamiento RF mostro un rendimiento mínimo después de 3 y 5 años de construcción y no fue efectivo cuando se aplico sobre un pavimento con “cuero de lagarto” severo antes de la aplicación del tratamiento y/o un nivel de trafico por debajo de 3000. El tratamiento SRC mostro excelente rendimiento por encima de 3 años después de la construcción independientemente del nivel de tráfico y de la condición del pavimento existente. Sin embargo, 5 años después de la construcción, se observó reflejo de grietas transversales considerables sobre la superficie del pavimento. El tratamiento MOL fue efectivo para detener las reflejo de grietas por encima de 3 años después de la construcción para proyectos con tráfico menor que 5000 y/o proyectos con “cuero de lagarto” no severo antes de la aplicación del tratamiento.
- Otra manera de observar la efectividad de varios tratamientos es examinar el promedio y desviación estándar de las clasificaciones relativas de PCA en el pre-tratamiento y en la etapa de 5 años después de la construcción. Este análisis se realizó en todos los proyectos teniendo los datos de desempeño de 5 años y excluye los proyectos donde se mostró agrietamiento “cuero de lagarto” en el proceso de clasificación. La Tabla 3 resume los datos de medias y desviaciones estándar de



varios proyectos con el cambio en la medio de la clasificación relativa. Un tratamiento efectivo podría ser uno con un promedio y una desviación estándar alta para pre-tratamiento y un promedio y desviación estándar bajos para un desempeño de 5 años aunado con el cambio más alto en la clasificación media. Con base en este criterio, los tratamientos evaluados para mitigar las reflejo de grietas bajo las condiciones de Nevada están clasificados del mejor al peor después de 5 años de construcción como sigue:

- Reciclado en frio (CIR)
- Fresado y sobrecapas (MOL)
- Tejidos reforzados (RF)
- Capa de alivio de esfuerzos (SRC)

No obstante, la efectividad a largo plazo de los tratamientos CIR y MOL es significativamente obstaculizada por la existencia de agrietamiento “cuero de lagarto” severo en los proyectos antes de la aplicación de esos tratamientos. Asimismo, se recomienda que los proyectos que experimentan “cuero de lagarto” severo sean clasificados por el manual de deterioros del pavimento del NDOT o bien se vuelvan a construir o se recuperen completamente a profundidad.

**Tabla 3. Análisis estadístico comparativo de los tratamientos anti-reflejo de grietas basados en los ranking del PCA**

Tratamiento	Número de Proyectos	1-año antes de la construcción (-1)		5-años Después de la Construcción (+5)		Cambio Relativo en el Ranking
		Promedio	STD*	Promedio	STD*	
CIR	6	16	8	3	2	13
RF	4	12	6	4	3	8
SRC	3	9	4	4	3	5
MOL	7	16	7	7	7	9

\* Desviación estándar.

## REFERENCIAS

- Departamento de Transporte de Nevada (2002). Manual de Identificación de Deterioros en Pavimentos Flexibles del NDOT.
- Elseifi, M., and Al-Qadi, I. (2003). Un Modelo Simplificado Anti-Reflejo de Grietas. Documento No. 03-3285 presentado en el TRB 82, Washington, D.C.
- Fernandez, G., (2003). SAS-Macro “Factor”. Data Mining Using SAS. Chapman and Hall/CRC. University of Nevada, Reno.
- Sousa, J., Pais, J., Saim, R., Way, G., and Stubstad, R.(2001). Desarrollo de un Modelo de Diseño de Sobrecapa Mecanístico basados en los Principio de Reflejo de Grietas. Asociación de Productores de Asfalto Modificado con Caucho.