



**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**

**INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**RECUPERACIÓN DE LOSAS DE PAVIMENTOS DE  
CONCRETO ASENTADAS, MEDIANTE EL USO DE  
POLÍMEROS DE INYECCIÓN.  
LUIS ERNESTO BERNAL RIVERA**

2015

# **RECUPERACIÓN DE LOSAS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASENTADAS, MEDIANTE EL USO DE POLÍMEROS DE INYECCIÓN.**

## **RECOVER OF PAVEMENT CONCRETE SLABS USING INJECTED POLYURETHANE TO FIX SETTLEMENT ISSUES.**

**Ing. Luis Ernesto Bernal Rivera Esp. Gerencia de Construcciones  
Subdirector Técnico Mantenimiento Subsistema de Transporte  
Instituto de Desarrollo Urbano  
Bogotá – Colombia  
lebernal@hotmail.com**

Fecha de recepción: 09/05/2015  
Fecha de aprobación: 09/05/2015

### **RESUMEN**

Debido al alto deterioro en que se encuentran actualmente las troncales de la Fase I del Sistema Transmilenio en la ciudad de Bogotá, especialmente aquellas troncales construidas en pavimento rígido y además de la poca asignación de recursos por parte de la administración para su conservación se hace necesario buscar alternativas que permitan solucionar de manera temporal la movilidad de los articulados en aquellos puntos críticos que están afectando a los usuarios y operadores el sistema. El uso de resina de poliuretano inyectada bajo las losas de concreto, y sus aplicaciones surge como una alternativa a tener en cuenta para utilizar en estas reparaciones. Es así como en Bogotá se pueden identificar varios tramos de vías en los cuales se ha utilizado esta tecnología con éxito como son la troncal NQS y la troncal Suba. En este artículo se pretende describir el material, sus usos y aplicaciones en proyectos de vías urbanas.

Palabras clave: Polímero, inyección, mantenimiento y losas.

## **ABSTRACT**

Due to the high distresses that are currently occurring in the phase one of the Transmilenio System in Bogotá especially those which are built on rigid pavement and in addition to the low allocation of resources by the Administration for its conservation, it is necessary to find alternatives that allow to solve temporarily the mobility of the articulated buses in those critical points that are affecting the system mobility, users and operators. The use of polyurethane resin injected under concrete slabs and its applications arises as an alternative to be considered to use in these repairs. In Bogota can be identified several sections and ways in which has been used this technology successfully as the Troncal NQS and Troncal Suba. This article is intended to describe the material, its uses and applications in projects of urban roads.

Keywords: Polymer, injection, maintenance and slabs.

## **INTRODUCCION**

El asentamiento de una sección de la vía produce una superficie que se torna inservible. Estos daños además de causar molestias a la movilidad también cuestan a los contribuyentes millones de pesos, daños a los vehículos y aumento de los tiempos de desplazamiento. El estado de los pavimentos de concreto en la ciudad de Bogotá y en general su malla vial [1], especialmente en las troncales que soportan el tráfico del sistema de transporte Transmilenio ha llevado a la administración a mitigar estas afectaciones que requieren de una atención rápida para restaurar la función y la seguridad de una manera temporal reemplazando las losas de concreto falladas por una capa de concreto asfáltico con espesores que varían entre 25 cm y en algunos casos hasta 40 cm.

En este escenario y buscando optimizar los pocos recursos disponibles y ante la demora en una solución definitiva que permita la reconstrucción total de estas troncales (en especial la Troncal Autopista Norte y la Troncal Caracas), se presenta una nueva tecnología que puede estabilizar y reforzar el suelo con la inyección de polímeros de alta densidad llevando las losas hacia sus elevaciones originales, disminuyendo el esfuerzo transmitido al suelo. Debido a su peso ligero, calidad de aislamiento, alta tasa de expansión, tiempo de reacción rápido y método de inyección, el poliuretano ha sido utilizado para reparación de fugas de tuberías, reparación de fundaciones, asentamiento de losas de concretos, llenar

vacíos, y reparación de pilares de puentes alrededor del mundo especialmente en los Estados Unidos y Canadá.

Es así como se encuentran muchos casos de su utilización alrededor del mundo y algunos Departamentos de Transporte, como Missouri Department of Transportation, Colorado Department of Transportation, Alberta Transportation y New Mexico Department of Transportation [2] y [3], han creado las especificaciones, métodos de usarlo y formas de pago, como una solución factible y recomendada para mantenimiento de vías construidas en concreto hidráulico y concreto asfáltico.

Siendo esta una tecnología relativamente asequible para la ciudad de Bogotá, se encuentra que su utilización ha sido algo limitada, talvez por desconocimiento de sus aplicaciones. Como se conoce los problemas de drenaje que se presentan en las troncales Autopista Norte y Caracas ha causado que muchas secciones de estas vías hayan sufrido daños (escalonamiento, asentamiento, fisuración y agrietamiento). Los principales procesos de deterioro asociados con estas patologías y la pérdida de material o bombeo de las capas de soporte intensifican o acelera de manera importante el desarrollo de los demás procesos de daño, motivo por el cual es fundamental encontrar alternativas para prevenirlo, controlarlo y mitigarlo. Estos mecanismos junto con algunos errores de diseño, construcción, falta de mantenimiento y operación fueron probablemente responsables de los daños ocurridos prematuramente en estas troncales. [4] y [5].

Las actividades que se realizan actualmente para garantizar la movilidad, además de ser soluciones temporales no están ofreciendo una solución rápida, para atender las constantes solicitudes debido al alto deterioro que aumenta cada día más volviéndose crítico durante las olas invernales de la ciudad. El proceso de reparación para 400 puntos críticos que están afectando la movilidad, en las troncales no resuelve los problemas de capacidad mecánica de la estructura del pavimento, y corresponden a un tipo de intervenciones temporales que buscan mejorar la movilidad del sistema.

El procedimiento consiste en la demolición de las losas, que están afectando la movilidad (puntos críticos), las cuales son escogidas por una inspección visual. Luego se establece la condición de la base de soporte de la losa evaluando la condición del material encontrado, clasificándose como bueno regular y malo de acuerdo con el grado de deterioro en que se encuentre, la base de soporte. La losa deteriorada se reemplaza por una capa de base y rodadura asfáltica en función del material que se encuentre en la capa de base.

En función de la condición encontrada bajo las losas se plantean las siguientes recomendaciones de intervención:

- a. Condición buena: Significa que no hay una deformación de las capas granulares, ni fisuración severa que afecte la nueva mezcla. En este caso se reemplaza el espesor de la losa por mezcla asfáltica, colocando 8 cm de mezcla para rodadura, todo el conjunto con sus respectivos riegos de adherencia.
- b. Condición regular: Esta indica que se aprecian fisuras y deformaciones leves, las cuales se pueden reparar con un parcheo y sello de fisuras y después se puede proceder a colocar la mezcla asfáltica siguiendo la recomendación del literal anterior.
- c. Condición mala: Esta corresponde a una superficie, donde se observan daños de granulares manifestado esto por la presencia de deformaciones plásticas acompañadas de fisuras, donde se recomienda el cambio de la estructura de soporte y colocar en el espesor de la losa la mezcla asfáltica del literal a.

El procedimiento anterior está dando resultados en la medida en que brinda cierto impacto positivo en la movilidad pero no es sostenible a largo plazo por el mismo estado de las losas adyacentes y las cargas de tráfico actuales, además de que estas estas reparaciones producen altos costos económicos, ambientales e impacto a los usuarios en su implementación.

En este escenario aparece como alternativa la inyección con polímeros que aparte de ser una técnica que facilita estas reparaciones, también puede utilizarse en mantenimientos rutinarios y periódicos con poca afectación en la parte económica, ambiental y de impacto a los usuarios, en las cuales esta práctica correctiva y preventiva es efectiva ante patologías asociadas al fenómeno de bombeo.

La práctica de emplear la incorporación a presión del polímero, para que lentamente la losa alcance un nivel definido, es válida en aquellos pavimentos o losas que presenten de manera puntual asentamientos, asociados con deficiencias de la compactación de relleno, terraplenes de acceso a puentes y fenómenos de bombeo. En el caso de losas falladas con subdivisiones, la técnica no es tan efectiva pero acompañada de otros productos para el sello de las fisuras superficiales puede ser competitiva aunque estéticamente no presente un buen aspecto.

## **1. DESCRIPCION DEL MATERIAL Y SUS CARACTERISTICAS**

El poliuretano fue desarrollado por primera vez por Otto Bayer y sus compañeros de trabajo en I.G. Farben en Leverkusen, Alemania en 1937 en los comienzos de la Segunda Guerra Mundial. Primero fue usado para reemplazar el caucho y luego como capa protectora para aislar el metal y la madera [6]. Desde entonces, el poliuretano ha sido utilizado en diferentes aplicaciones industriales y más recientemente en Ingeniería Civil y Geotecnia [7].

## 1.1 QUIMICA DEL POLIURETANO Y SUS APLICACIONES

Los Poliuretanos son cualquier tipo de polímero que contenga un enlace uretano. Hay muchas combinaciones diferentes y componentes en las mezclas de poliuretano, sin embargo, todas las combinaciones comparten una reacción similar que fundamentalmente involucra a los isocianatos, que contengan dos o más grupos isocianatos por molécula ( $R-(N=C=O)_n$ ,  $n \geq 2$ ) y un poliol que contiene en promedio dos o más grupos hidróxidos por molécula ( $R'-(OH)_n$ ,  $n \geq 2$ ), en presencia de un catalizador, donde los grupos uretano  $NH-(C=O)-O$  unen las unidades moleculares. El enlace del uretano es  $NH-CO-O$ . Las propiedades del poliuretano las cuales se resumen en la Tabla 1, son regidas principalmente por los tipos de isocianatos y polioles utilizados en la mezcla. Para una descripción más profunda acerca de la química del poliuretano, sus características y diferentes tipos de mezcla a utilizar dependiendo del tipo de aplicación se puede referir al artículo escrito por Liang Yu [6].

**TABLA 1. PROPIEDADES DEL POLIURETANO**

ITEM	CARACTERÍSTICAS
PESO UNITARIO	3.5 -7.0 PCF
TIEMPO DE CURADO	Menos de una hora
IMPACTO EN EL SUBSUELO	Mínimos esfuerzos
TAMAÑO DE LAS PERFORACIONES	10 a 25 mm
PREPARACION DEL MATERIAL IN SITU	Material almacenado en el camión
LIMPIEZA GENERAL	No se requiere
ENCOGIMIENTO	Ninguno
AFECTACION DE AGUA SUBTERRANEA	Ninguna
EQUIPO	Equipo de inyección, mangueras.
ALCANCE DEL EQUIPO	Hasta 125 metros con un equipo standard

DESPERDICIO DE MATERIAL	Mínimo desperdicio. Bombas y mangueras pueden permanecer con el material para un próximo uso.
IMPACTO AMBIENTAL	Inerte después del curado, no hay desperdicio ni emisiones de polvo
TEMPERATURA	Puede ser instalado en condiciones bajo cero grados centígrados.
CONTROLES	Movimientos hasta de tres milímetros medidos con deformímetros

Al revisar la literatura disponible con referencia a las especificaciones y la normativa de los diferentes Departamentos de Transporte de varios estados de la Unión Americana, se encuentra que la firma Uretek, [8], ha sido la pionera en ofrecer este servicio y actualmente es un proceso patentado que se ha venido utilizando continuamente, Una ventaja importante del método de inyección con poliuretano es que al utilizarse en las labores de mantenimiento resulta una herramienta útil para agilizar las reparaciones de alineación de pavimento y no hay que realizar reinyecciones hasta que se continúen llenando totalmente los vacíos bajo las losas. El método no depende del bombeo a presión para lograr la elevación de la losa y no hay ninguna necesidad de levantar las superficies para dar cabida a la contracción del producto inyectado.

El curado rápido del producto reduce la cantidad de material escapando a través de los espacios de vacíos y canales. El material expande hasta 30 veces su volumen después de la inyección, y según lo ofrecido y exigido por los diferentes departamentos de transporte este también proporciona un sello positivo para evitar la infiltración de agua, y está garantizado por un período de diez años contra cualquier contracción significativa o deterioro.

Como lo establece el Departamento de Transporte de Nuevo Méjico, a través de su Departamento de Servicios Generales ya se cuenta con las especificaciones estandarizadas para la inyección con poliuretano [2]. En estas se compila toda la información necesaria referente a los métodos de prueba establecidos por la ASTM para el producto, los equipos a utilizar, los métodos de construcción, las características de los materiales, las unidades de medida y las formas de pago.

De igual manera el Departamento de Transporte de Oregon establece en el reporte SPR 306-260 [3], como eligió utilizar este método de inyección de poliuretano para levantar y estabilizar un panel de extremo de un puente y las losa de concreto adyacente; seguido de un proyecto de dos años para monitorear la estabilidad de las losas inyectadas. Se realizaron mediciones de elevación de referencia para la comparación con datos de elevación futura y la densidad y resistencia del material arrojando resultados positivos en cuanto a los resultados esperados de estabilidad. Lo anterior demuestra que la tecnología es ampliamente

usada, está documentada, especificada y estandarizada como una solución rápida y efectiva.

## 2. CASOS DE ESTUDIO

A continuación se efectúa la descripción de unos casos tanto fuera del país como algunas aplicaciones desarrolladas en nuestro medio que muestran el uso efectivo de la tecnología incluyendo mejores prácticas, y lecciones aprendidas, para una mejor descripción que permita una mayor difusión.

### 2.1 BARLOW ROAD AND GATEWAY AVENUE EN FORT MORGAN COLORADO.

Una inspección llevada a cabo en el verano de 2012, a un proyecto de rehabilitación de un pavimento de concreto después de cinco años de terminado en el estado de Colorado muestra que el deterioro inicial que presentaba el pavimento, ya no afecta más el confort de los usuarios. Bordeando los costados oriental y sur de la planta procesadora de carnes Cargill Meat Solutions in Fort Morgan Colorado, se encuentran las avenidas Road y Gateway Avenue, [9], las cuales sirven de única ruta para el servicio continuo 24 horas de transporte de ganado y productos desde y hacia la planta. Debido al alto nivel de desgaste desarrollado con los años debido al tráfico de la planta, estas avenidas de una distancia aproximada de una milla y cuatro carriles, se estableció la necesidad de hacer reparaciones. Casi todas las losas de las vías presentaban escalonamientos en ambas direcciones en promedio de 3/8" y 1/2" resultando en una incomodidad para los usuarios.



*Figura 1. Trabajo de rehabilitación de pavimento de concreto en Fort Morgan Colorado en el 2007. Fuente: International Grooving & Grinding Association [8].*

Al hacer una revisión del diseño se encontró que no se instalaron dovelas en las juntas transversales y la transferencia de carga fue asumida por la trabazón de agregados a través de juntas machihembradas. Pero el diseño no fue suficiente

para soportar las cargas producidas por el alto tráfico de la planta. La solución a este inconveniente fue la estabilización de la base y subbase, con unas inyecciones de polímero para nivelar las losas de concreto, acompañando la solución de un pulimento de las losas y un sello de juntas tal y como aparece en la figura 1. Cada losa se levantó y niveló con la losa adyacente a través de unas perforaciones organizadas con un patrón determinado con orificios de 5/8" separados cada cuatro pies a lo largo del pavimento. Seguidamente se utilizó un polímero estructural de expansión fabricado en los Estados Unidos, el cual fue usado para levantar la losa y estabilizar el suelo. Para darle un mejor acabado se utilizaron pulidoras de diamante fueron utilizadas para suavizar las uniones transversales y remover las deformaciones. Al final se sellaron unos 35.000 pies lineales de juntas.

El método no destructivo usado en este proyecto elimina la necesidad de remover y disponer el pavimento existente, lo que traduce ahorro de tiempo y dinero. Además de que la facilidad con la que se realiza la actividad permite el cierre de un sólo un carril a la vez, permitiendo que la calzada permaneciera abierta al tránsito con seguridad. El resultado que se consiguió fue una superficie mejorada, suave y segura para los usuarios que se prevé extender por una vida útil de 20 años. El valor del proyecto fue de \$643.000, dólares y el ahorro estimado para los contribuyentes fue del 50% comparado con el costo de la remoción y nueva colocación de la losas de concreto.

## **2.2 NIVELACIÓN DE LA SUPERFICIE DE UNA VÍA EN PAVIMENTO DE CONCRETO UTILIZANDO INYECCIÓN DE POLÍMERO.**

Anthony Henday Drive es una importante vía de circunvalación que rodea Edmonton, Alberta [6]. La superficie de la vía está construida en pavimento de concreto y se encontraron varias patologías de daños asociados con asentamientos tanto longitudinales como transversales. Estos asentamientos crearon problemas debido al alto volumen de tráfico y los límites de velocidad afectando el confort y la seguridad de los usuarios.

Diferentes alternativas fueron evaluadas para resolver los problemas de asentamiento, incluyendo inyección de mezclas de cemento y poliuretano. El método seleccionado fue el de poliuretano debido a la baja viscosidad, y el tiempo rápido de reacción y la alta tasa de expansión propiedades de la compactación hidrofóbica de poliuretano de dos componentes. Esta técnica además presenta la afectación más corta en términos de tiempo de ejecución y también de interrupción al tráfico. Dos equipos de inyección de poliuretano fueron utilizados para la ejecución de este proyecto. El producto empleado consto de dos componentes fabricados por "Precision Lift" compañía productora de resinas de

poliuretano [10]. Los materiales fueron calentados previamente antes de la llegada al sitio de trabajo de acuerdo con el procedimiento establecido. La mezcla consiste de dos componentes A y B los cuales se preparan en una proporción de 1:1 con ajuste de la temperatura para que coincidan las viscosidades. Desde esta perspectiva la temperatura de los componentes es fundamental en la fabricación de espuma de alto rendimiento. Debido a la baja viscosidad de poliuretano, la espuma curada puede viajar más distancia lográndose un mejor efecto.

Se realizaron seis perforaciones por losa de concreto, y el poliuretano fue inyectado, a partir del punto más bajo de la losa con un espaciamiento de 5 a 10 segundos por disparo de inyección usando el de mayor espacio de tiempo para llenar los espacios más grandes. Varios disparos fueron realizados en cada lugar, con una breve pausa no superior a 5 segundos. La pausa está diseñada para permitir a la espuma ampliarse y completar parcialmente los vacíos, en esta forma se puede controlar el volumen de espuma utilizado. Una vez se llenan los vacíos debajo de la losa, la expansión de la espuma forma un ascensor hidráulico y comienza a levantar la losa. Cada capa comprime los suelos de apoyo y produce más levante a la losa. Mientras que la losa se levanta, se pueden utilizar más disparos de inyección a intervalos cortos para ajustar la elevación de la losa a la elevación requerida.



*Figura 2. Método de inyección múltiple para distribuir la fuerza de levante. Fuente: Liang Yu. [6]*

Múltiples puntos de inyección son utilizados para distribuir uniformemente la fuerza de levante (Figura 2). También se utiliza un dispositivo de medición (deformímetro) para controlar con precisión el incremento vertical de la losa (figura 3). La nivelación de una losa se puede lograr en media hora. El rendimiento de la cuadrilla fue de 12 a 20 losas en un día lo que permite cumplir en un plazo relativamente corto los plazos establecidos para este proyecto.



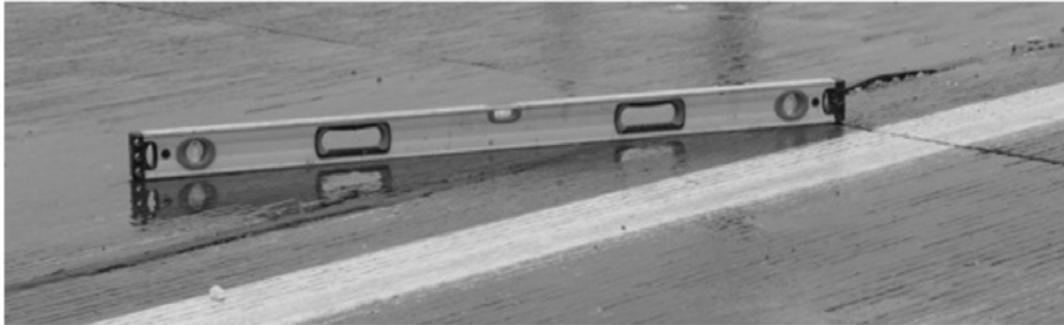
*Figura 3. Deformímetro para controlar la altura de nivelación. Fuente: Liang Yu. [6]*

Debido a alta tasa de expansión y las propiedades hidrofóbicas del material, toda la humedad y el agua fueron expulsadas del suelo (Figura 4). El resultado de la nivelación de las losas se puede apreciar en la figura 5.



*Figura 4. Agua expulsada por la inyección de poliuretano. Fuente: Liang Yu. [6]*

En general esta técnica de inyección es ampliamente usada en todo el mundo para recuperar tanto pavimentos de concreto como de asfalto, lo mismo que para nivelar e incrementar la capacidad de soporte de carreteras urbanas y recuperar losas de aproximación a puentes.



*Figura 5. Resultados transcurridos 30 minutos en el mismo punto. Fuente: Liang Yu. [6]*

### **2.3 RECUPERACION DE LA VÍA LA CALERA-BOGOTA**

En el año 2014 a través de un contrato de mantenimiento del Instituto de Desarrollo Urbano [11], se realizaron unos trabajos tendientes a mejorar el escalonamiento existente y estabilizar la base de soporte de las losas de la vía de la Calera en tres sectores bien definidos, para brindar una mejoría en la transitabilidad a los vehículos y mayor comodidad para los usuarios. A continuación se describe el proceso de ejecución de actividades de inyección para nivelación, estabilización, sello de fisuras, y cajeo de losas para arreglos puntuales (Desportillamientos, retiro de material diferente).

En la abscisa K0+710, se inició con el corte de los pasadores en las juntas de dilatación de las losas (figura 6), seguidamente se procedió a realizar las perforaciones de un diámetro aproximado a 5/8", para iniciar con la inyección de polímero para la nivelación y estabilización del suelo de soporte (Figura 7). Las cantidades de obra ejecutadas en este punto se resumen en la tabla 2. Posteriormente ya para finalizar con las actividades, se rutearon las grietas existentes y se procedió al llenado con la emulsión más arena sílice para el sellado de estas.



Figura 6. Corte de barras de transferencia existentes. Fuente propia



Figura 7. a) Registro antes de la inyección en el primer sector ejecutado. b) Registro después de la inyección. Fuente: Alari Clean Technologies [10]

En la abscisa K4+125, las actividades realizadas para este punto fueron las mismas ejecutadas en el punto de la abscisa K0+710. Las cantidades de obra ejecutadas en este punto se resumen en la tabla 2



*Figura 8.a) Proceso de perforación b) Inyección de polímero. Fuente: Alari Clean Technologies [10]*

En la abscisa K1+735, se realizaron las mismas actividades y a continuación se presenta el registro fotográfico de las mismas y en la tabla 2 se resumen las cantidades de obra ejecutadas en este punto.



*Figura 9. a) Reparación de fisuras. b) Cajeo. Fuente: Alari Clean Technologies [10]*



*Figura 10. Registro fotográfico para el sector ejecutado. Fuente: Alari Clean Technologies [10]*

Este trabajo se realizó por medias calzadas, afectando lo menos posible el tráfico demostrando que es una técnica limpia rápida y hasta la fecha no ha presentado ninguna afectación.

**TABLA 2. CANTIDADES DE OBRA EJECUTADAS**

ABSCISA	TIPO DE ARREGLO	DIMENSIONES	CANTIDAD DE MATERIAL
K0+710	SELLO FISURAS	19,75 m	5 lt
	CAJEO	0,35x0,40	0,01 m <sup>3</sup>
	INYECCIÓN	73,95 m <sup>2</sup>	553 lb
K4+125	SELLO FISURAS	13,5 m	4 lt
	CAJEO	0,85 m <sup>2</sup>	0,1 m <sup>3</sup>
	INYECCIÓN	74 m <sup>2</sup>	346 lb
K1+735	SELLO FISURAS	21 m	7,5 lt
	CAJEO	2,30 m <sup>2</sup>	1,15 m <sup>3</sup>
	INYECCIÓN	70,85 m <sup>2</sup>	484 lb

#### **2.4 ESTABILIZACIÓN DE PAVIMENTO EN LA TRONCAL DE SUBA.**

A finales de 2013, a través de un contrato de conservación del Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá [12], se efectuó la nivelación de 3200 metros cuadrados de losas al norte de la calle 116 tanto en el carril solo bus como en el carril mixto, las cuales presentaban escalonamientos pronunciados afectando la movilidad y el confort de los usuarios. El contratista de la obra presento esta alternativa en la que se afectaría lo menos posible el tráfico y en la cual las afectaciones eran las ideales para usar la tecnología.

De esta manera se establecieron unos precios no previstos dentro del contrato, ya que actualmente no existe una especificación para el uso de este material. Una vez surtidos tanto los aspectos legales como jurídicos dentro el contrato se procedió a realizar el trabajo.

Utilizando el polímero producto de la reacción química de los dos componentes se inicia la inyección a través de las perforaciones de 16mm, utilizando un patrón de inyección definido para soportar y realinear con precisión las losas, forzando la salida de agua atrapada. El polímero al actuar cura rápidamente la base del material de manera fuerte y estable. El polímero comienza a curar en 30 segundos, se expande a su tamaño total en menos de dos minutos y alcanza el 90% de su dureza en solo quince minutos.



Figura 11. Rotura de barras de transferencia. Fuente: Alari Clean Technologies [10]

Para el sello de fisuras se utilizó un polímero de alta resistencia inyectándolo a través de las mismas. Este mismo material se mezcló con un agregado para reparar baches y esquinas fracturadas. La vía se dio al tráfico luego de treinta minutos después de la inyección.



Figura 12. a) Antes de la intervención. b) Tramo terminado después de la inyección. Fuente: Alari Clean Technologies [10]

### 3 CONCLUSIONES

En Colombia la tecnología de inyección con poliuretano ha tenido poca difusión y los intentos en las vías urbanas en Bogotá han sido muy aislados, pero el monitoreo realizado a las pocas aplicaciones ha demostrado su efectividad.

Entidades como el INVIAS y el IDU, carecen de una especificación técnica para la actividad de estabilización de losas de pavimento rígido por medio de la inyección con poliuretano.

El uso de esta tecnología de inyección con poliuretano, resulta en una alternativa viable para recuperar elementos de concreto asentados como vías y andenes en vez de demolerlos, a la vez que se aumenta la resistencia el suelo.

Los tiempos requeridos para que el compuesto de poliuretano alcance su fraguado se encuentran entre 30 minutos y 3 horas, y en muchos casos se puede dar paso al tráfico en una hora. Por la literatura investigada no hay casos en que luego de la apertura al tráfico se haya presentado desplazamiento o movimientos del compuesto.

De los casos en Colombia más exactamente en la ciudad de Bogotá, se encuentran experiencias exitosas en el uso del polímero y el seguimiento realizado ha demostrado que estas zonas se mantienen estables.

Este procedimiento ayuda a mantener la integridad estructural de las losas y reduce el incremento del bombeo y por consiguiente la aparición de las fisuras.

De todas maneras esta tecnología no reemplaza, la forma correcta en la cual deben diseñarse y construirse un pavimento con su respectivo análisis detallado de cargas y drenajes adecuados; pero surge como una alternativa ante la poca disponibilidad de recursos y la agilidad que se requiere en el caso de Bogota para mantener el sistema de transporte masivo en operación.

Aparte de ser un producto ambientalmente amigable, el ahorro en tiempo y disposición de materiales frente a una intervención convencional, presenta una ventaja considerable en su aplicación.

Comparando la inyección con poliuretano con otros materiales utilizados para inyección como lechadas de cemento, este presenta varias ventajas como son que no es susceptible de fracturarse, su bajo peso por metro cubico, no requiere de grandes perforaciones par su inyección y no requiere que agua y arena los constituyentes de la lechada de cemento sean introducidos en un suelo ya fallado.

La amplia difusión de esta tecnología en otros países más desarrollados demuestra que su implementación da buenos resultados siempre llevando a cabo previamente una investigación de las condiciones en las que el producto va a hacer utilizado.

Al utilizar el producto se debe analizar la resistencia que se requiere del suelo, ya que el producto se puede conseguir para diferentes aplicaciones y su resistencia, densidad y permeabilidad pueden variar, teniendo en cuenta que entre más se expanda menor va a ser su resistencia.

Para unos mejores resultados, antes de usar el producto se debe realizar un análisis con georadar en las losas afectadas o alguna otra prueba no destructiva para determinar aquellas zonas con vacíos hacia los cuales debe dirigirse la inyección.

Al revisar las especificaciones de las agencias norteamericanas se observa que los métodos de pago para estas actividades están en función de la cantidad del material inyectado y la profundidad a la cual se ejecuta la perforación. Esta tendencia puede llevar a que los contratistas se aprovechen para inyectar más producto, ante una supervisión deficiente. Pero al realizar un análisis detallado de la actividad, previo a su ejecución se puede pensar en un pago por área de losa estabilizada, la cual coincide con el propósito de la necesidad de su uso en las losas de las troncales de Bogotá.

De todas maneras el desarrollo de la actividad debe venir acompañado en nuestro medio de más investigación y desarrollo, ya que lo que sirve en otros países, no siempre es aplicable en todo lugar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Instituto de Desarrollo Urbano. (2013). Estado de la Malla Vial de Bogotá 2013. Bogotá D. C.

[2] State of New Mexico Department of Transportation, General Services Department, Purchasing Division. (2012). Price Agreement # 10-805-00-07193-Standars Specifications Void Filling/Slabjacking. Santa Fe, New Mexico, United States of America.

[3] Oregon Department of Transportation. (2000). Injected Polyurethane Slab Jacking. Interim Report SPR 306-261. Steven Soltesz. Salem Oregon, United States of America.

[4] Instituto de Desarrollo Urbano (2002). Investigation of Premature Distress on Autopista Norte. Jamsshid Armaghani, Ph.D., P. E. Bogotá D.C.

[5] Instituto de Desarrollo Urbano (2004). Diseño de Soluciones de Mantenimiento Autopista Norte. Consorcio Tranvía. Bogotá D.C.

[6] GEO MONTREAL. (2013). The application of polyurethane grout in roadway settlement issues. Liang Yu. Edmonton, Alberta, Canada.

[7] Avar, 2008; USACE, 1995.

[8] Uretek Ground Engineering. (2012). Advance Ground Engineering Technology. Philip Mack, CEO. Sidney, Australia.

[9] International Grooving & Grinding Association. (2012). Pavement Preservation Journal- A Five Years Colorado CPR Project Holds Strong. Fort Morgan, Colorado, United States of America.

[10] Precision Lift, 2012. En: [www.primeresins.com/products/precision-lift-system](http://www.primeresins.com/products/precision-lift-system). (04, 05, 2015).

[11] Instituto de Desarrollo Urbano. (2013). Contrato IDU 1705 de 2013. Informe de ejecución de actividades de inyección de polímero Polytech para la estabilización y nivelación de losas de concreto en la vía que de Bogotá conduce a La Calera en tres abscisas (k0+710, k1+735, k4+125). Alari Clean Technologies. 2013. Bogotá D.C.

[12] Instituto de Desarrollo Urbano. (2012). Contrato IDU 063 de 2012. . Informe de ejecución de actividades de inyección de polímero Polytech para la estabilización y nivelación de losas de concreto en la Troncal Suba del Sistema Transmilenio. Alari Clean Technologies. 2013. Bogotá D.C.