

Aportes tecnología parcheo inyección a presión neumática con asfalto frío vs convencional en Bogotá

Contributions of patching technology injection at pneumatic pressure with cold asphalt vs conventional in Bogotá

S. P. Forero B.

Ingeniera civil Universidad Santo Tomás de Colombia, Esp ingeniería de pavimentos Universidad Católica de Colombia, Esp en Gerencia de Proyectos Universidad Católica de Colombia, Magister en Infraestructura vial Universidad Santo Tomás de Colombia. silvia.forero@umv.gov.co

FECHA DE RECEPCIÓN:08/07/2020

FECHA DE ACEPTACIÓN:04/09/2020

RESUMEN

A partir del análisis de los métodos utilizados en la ciudad de Bogotá D.C., para efectuar el mantenimiento de la infraestructura vial por medio de acciones de movilidad, se encontró que en la actualidad el método utilizado, es el de parcheo convencional con mezcla asfáltica en caliente y el método de inyección a presión neumática con mezcla asfáltica fría no está siendo empleado. Fue así como se profundizó en evaluar, cuál de los dos métodos de reparación de baches/huecos se debería implementar en mayor proporción, para satisfacer las necesidades de conservación vial en la ciudad de Bogotá, definiendo que la mejor herramienta para realizar dicha evaluación es mediante el diseño y estructuración de una matriz multicriterio de decisión, por medio de la cual se precisó que el método de parcheo de inyección a presión neumática con asfalto frío, es el más eficiente como acción de movilidad para la ciudad de Bogotá .

PALABRAS CLAVES

Baches, indicadores, parcheo, matriz multicriterio de decisión, variables.

ABSTRACT

From the analysis of the methods used in the city of Bogota D.C., to carry out the maintenance of the road infrastructure by means of mobility actions, it was found that at present the method used is the conventional patching with hot asphalt mix and the method of pneumatic pressure injection with cold asphalt mix is not being used. Thus, it was further evaluated which of the two methods

of pothole/gap repair should be implemented in greater proportion to meet the needs of road conservation in the city of Bogota, defining that the best tool to perform such an evaluation is through the design and structuring of a multi-criteria decision matrix. By means of which it was specified that the pneumatic pressure injection patching method with cold asphalt is the most efficient as a mobility action for the city of Bogotá

KEYWORDS

Potholes, indicators, patching, multi-criteria decision matrix, variables

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que ha sido recurrente a través de la historia, la reparación de baches/huecos empleando mezcla asfáltica en caliente, surge la necesidad de explorar nuevas tecnologías, como la analizada en este proyecto, del parcheo con mezcla en frío inyectada a presión neumática, la cual se utiliza en países como Estados Unidos, Canadá, México y en la capital de Colombia en el año 2014 fue implementada, por parte de la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV), obteniendo beneficios sociales, ambientales, técnicos, económicos, y de transferencia de conocimiento.

La ciudad de Bogotá cuenta con cerca de 12.794 km-carril de malla vial, compuesta por un sistema integrado de vías troncales, arteriales intermedias y locales, de las cuales 30% se encuentran en regular estado y 14% en mal estado [1], problemática que compromete las funciones de confort y seguridad

para las cuales son diseñadas las estructuras de pavimento, ocasionando altos índices de accidentalidad, dificultad en la movilidad, aumento en tiempos de viaje, costos de mantenimiento a vehículos etc.

De acuerdo con lo expuesto y teniendo en cuenta que el tipo de falla más frecuente en las vías son los baches/huecos, ocasionando los mayores índices de accidentalidad, es fundamental para salvar vidas centrar la atención en establecer cuál de los métodos de parcheo (convencional con mezcla asfáltica en caliente o el de inyección a presión neumática de mezcla en frío) brinda mejores resultados, para resolver esta problemática.

Como resultado de este estudio, se desarrolló a partir del proceso metodológico una matriz multicriterio de decisión, mediante evaluación cualitativa de las variables; técnica, ambiental, social y económica, utilizando los resultados del análisis realizado a ambas metodologías de parcheo y los criterios que desarrollo cada una, en el plazo del contrato de ciencia y tecnología 638/2013 liquidado en enero 2016, cuya herramienta (matriz multicriterio de decisión), le brindara a la(s) persona(s) (Gobernantes, Director, Jefe, etc.) líderes de los proyectos de gestión de infraestructura vial, una visión clara y argumentos sólidos, para la toma de decisiones ajustadas a las necesidades y plan de desarrollo de cada región.

METODOLOGÍA

La presente investigación realizó el estudio comparativo, de los aportes generados por la aplicación de la tecnología de parcheo con inyección a presión neumática vs el método convencional de parcheo, implementado por la UAERMV en la ciudad de Bogotá, mediante el análisis efectivo y eficiente de los impactos positivos en los criterios sociales, ambientales, técnicos y económicos para la ciudad de Bogotá.



Figura 1. Método parcheo convencional: mezcla asfáltica en caliente
Fuente: propia Bogotá Av. Boyacá por Cll 55



Figura 2 Método inyección a presión neumática mezcla asfáltica en frío
Fuente: Archivos Unidad Mantenimiento Vial Bogotá Cll 127A por Cr 7

A. Matriz Multicriterio de decisión

El análisis multicriterio, es un método que permite orientar la toma de decisiones a partir de varios criterios comunes, la cual se utiliza para emitir un juicio comparativo entre proyectos o medidas heterogéneas, y principalmente proporcionarle a quien decide, herramientas que le facilite el camino en la resolución de problemas relacionados con la toma de decisiones, de forma que en éstas intervengan distintos puntos de vista, aunque sean contradictorios [2].

Desde el planteamiento del presente estudio, se definió ir más allá de simplemente conocer y describir las ventajas y desventajas de los métodos de parcheo analizados, razón por la cual se decidió diseñar una matriz como herramienta para toma de decisiones, la cual fue construida a través de consultas realizadas a los profesionales

de las diferentes disciplinas expertos en el tema, planteando variables e indicadores objetivos y subjetivos para cada criterio, logrando que a partir del análisis definido en la concepción de la matriz, se cuantificara, procesara y estudiara de manera objetiva, la información obtenida, opiniones, experiencias y el concepto técnico para cada criterio evaluado.

B. Condiciones para el uso de la matriz multicriterio de decisión

Aunque las herramientas matemáticas empleadas para el análisis y tratamiento de los diferentes tipos de información puedan ser complejas, las bases sobre las que se realiza la selección de los criterios y la puntuación de los resultados son sencillas y determinadas por el grupo que conduce el análisis. Gracias a ello, los actores implicados pueden seguir con claridad el proceso y las selecciones realizadas. Para guiar un análisis multicriterio, es necesario disponer de un conjunto de acciones o alternativas competitivas y para cada una de estas acciones a través del análisis se elabora:

- Un conjunto de criterios que permita formar juicios sobre estas acciones.
- Una tabla de valoración de las acciones por criterio.
- Una agregación de los resultados para realizar una clasificación por orden de preferencia.
- El análisis multicriterio puede realizarse a partir de datos tanto objetivos como subjetivos [2]

C. Metodología de diligenciamiento de la matriz multicriterio de decisión

Conforme a lo expuesto y teniendo en cuenta que están definidos los criterios principales que influyen para que la evaluación sea objetiva, a continuación, se mencionan y se definen cada uno de ellos.

Criterio Ambiental: Se evaluaron entre otros

aspectos, impactos relacionados con consumo de energía, emisión de material particulado, residuos sólidos, así como impactos por contaminación auditiva y riesgos laborales durante las fases de producción, transporte e instalación de mezcla asfáltica, requeridos para la aplicación de los métodos de parcheo/bacheo estudiados.

Criterio Social: Se analizaron impactos relacionados con los beneficios que tendrá la comunidad, por las actividades de parcheo, de los que se desprenden diferentes niveles de impacto en la calidad de vida de la comunidad, las oportunidades laborales que brindan, entre otros y de igual manera se evalúan los impactos negativos durante el proceso constructivo.

Criterio Económico: Se estudiaron los impactos relacionados con el costo de las actividades de parcheo, si existe rentabilidad con la implementación tecnológica, entre otros aspectos, permitiendo realizar un estudio, comparación y análisis de la inversión que se debe ejecutar en cada método.

Criterio Técnico: Se valoraron impactos relacionados con la calidad de materiales, fórmulas de trabajo, oportunidad, eficiencia, eficacia, durabilidad, logística de operación, confort, entre otros aspectos, que permiten distinguir las ventajas y desventajas técnicas que se desprenden de los métodos de parcheo analizados.

Una vez organizados y consolidados los datos, se procedió a generar los análisis de resultados y planteamientos basados en el estudio cualitativo y cuantitativo de la información correspondiente en el periodo contrastado.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el resultado de la investigación realizada, y después de elaborado el estudio minucioso de las variables e indicadores que afectan los criterios durante la ejecución de los métodos de parcheo en evaluación, se llevó a cabo el proceso de diseño de la matriz multicriterio, en la cual se consignan los indicadores, las variables objetivas y subjetivas de

los criterios social, ambiental, técnico y económico, aplicables a cada método de parcheo, lo cual es fundamental para el diligenciamiento de la matriz.

Tabla 1. Variables e indicadores para el criterio ambiental

| VARIABLE | INDICADORES |
|---|--|
| VARIABLES OBJETIVAS | |
| Impacto por consumo de energía eléctrica al producir mezcla asfáltica | Consumo en (KW) de energía eléctrica |
| Impacto por consumo de combustibles fósiles utilizados al producir mezcla asfáltica | Consumo de combustibles fósiles |
| Impacto por emisión de gases efecto invernadero GEI al producir mezcla asfáltica | Funcionamiento planta de producción |
| | Maquinaria utilizada |
| Impacto por emisión de gases efecto invernadero GEI al instalar mezcla asfáltica | Movimiento vehicular al trasladar maquinaria |
| | Maquinaria utilizada |
| Impacto por desperdicio de mezcla asfáltica | Cálculo de cantidad proyectada a utilizar |
| | Cantidad sobrante de material producido |
| Impacto riesgos laborales al extender mezcla asfáltica | Cantidad de maquinaria utilizada |
| | Carga y descarga de materiales |
| Impacto por residuos de construcción y demolición RCD | Cantidad RCD producidos por demolición |
| | Cantidad RCD desperdicio material producido |
| Impacto por contaminación auditiva al producir mezcla asfáltica | Carga y transporte del material |
| | Funcionamiento planta de producción |
| | Maquinaria utilizada |
| Impacto por contaminación auditiva al extender mezcla asfáltica | Carga y transporte del material por demolición |
| | Movimiento de maquinaria |
| | Maquinaria utilizada |
| VARIABLES SUBJETIVAS | |
| Impacto por emisión de gases efecto invernadero GEI y material particulado al extender mezcla asfáltica | Instalación de mezcla asfáltica |
| Impacto en los riesgos laborales al extender mezcla asfáltica. | Contaminantes ambientales |
| | Características de las actividades |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. Variables e indicadores para el criterio social

| VARIABLE | INDICADORES |
|--|--|
| VARIABLES OBJETIVAS | |
| Impacto en la comunidad por el tiempo en el proceso constructivo de parcheo. | Duración del cierre del área a reparar |
| | Duración del proceso constructivo para atender un bache en un código de identificación vial CIV. |
| Cantidad de baches atendidos | Cantidad de huecos/parches atendidos en un periodo determinado (días, meses) |
| Impacto en la comunidad, por el tiempo de espera para atender el requerimiento de intervención de un bache | Tiempo de espera para programar y realizar intervención |
| Oferta laboral operativa | Cantidad de empleos generados |
| Impacto en la calidad de vida | Confort al paso vehicular en las áreas atendidas |
| | Reducción de estrés. |
| | Gastos generados en el mantenimiento de los vehículos |
| | Reducción en tiempos de desplazamiento |
| Impacto por emisión de gases efecto invernadero GEI particulado y gases al extender mezcla asfáltica | Movimiento de vehículos para traslado de maquinaria |
| | Maquinaria utilizada |
| Impacto por contaminación auditiva al extender mezcla asfáltica | Carga-transporte del material de demolición |
| | Movimiento de maquinaria |
| | Maquinaria utilizada |
| VARIABLES SUBJETIVAS | |
| Impacto por emisión de gases efecto invernadero GEI al extender mezcla asfáltica | Instalación mezcla asfáltica |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Variables e indicadores para el criterio económico

| VARIABLE | INDICADORES |
|--|--|
| VARIABLES OBJETIVAS | |
| Costo | Valor de la mezcla asfáltica m3 |
| | Inversión por cantidad de huecos reparados |
| Desperdicio de mezcla asfáltica llegada al sitio | Cantidad de mezcla asfáltica producida y no utilizada en sitio |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Rendimiento del proceso | Cantidad de huecos/parches en un periodo |
| | Cantidad de mezcla asfáltica utilizada por bache. |
| Área intervenida por parcheo | Área que debo intervenir por hueco |
| Mantenimiento maquinaria | Trámite para importación de repuestos |
| | Acceso eficiente a los repuestos. |
| Atención bajas cantidades de baches | Es apta (rentable) para atender bajas cantidades de parches/baches. |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Variables e indicadores para el criterio técnico

| VARIABLE | INDICADORES |
|--|---|
| VARIABLES OBJETIVAS | |
| El tiempo de espera para la instalación de la mezcla asfáltica perjudica el producto final | Afectación de la mezcla asfáltica después de un prolongado tiempo de espera para su instalación |
| Acceso a la maquinaria utilizada para el proceso | Tiempo de importación de la maquinaria |
| | Tiempo de importación de repuestos |
| Instalación bajo condiciones climáticas adversas | Instalación de mezcla asfáltica con climas adversos. |
| | Instalación de mezcla asfáltica a bajas temperaturas ambientales. |
| Calidad del producto | Calidad de los materiales y producto terminado |
| | vida útil promedio de la reparación realizada. |
| Rendimiento | Cantidad de parcheo por periodo |
| Acabado superficial | Confort al paso del vehículo sobre el parche/hueco reparado |
| Planes de manejo de tráfico PMT | Complejidad al obtener permisos de PMT por parte de la Secretaría Distrital de Movilidad y facilidad de su implementación en sitio. |
| VARIABLES SUBJETIVAS | |
| Conocimiento y aporte en innovación | Conocimiento, experticia durante el proceso. |
| | Aporte en investigación, desarrollo e innovación. |

Fuente: Elaboración propia

A. Valoración de los criterios

Después de someter a prueba las primeras versiones de la matriz de decisión, surgió la necesidad de elaborar adicionalmente una matriz

de jerarquización, ya que conjuntamente con los profesionales que la diligenciaron se identificó, la falta de correspondencia al verificar los niveles para asignar los pesos de cada uno de los criterios; de esta manera se le da mayor validez al resultado de la matriz multicriterio, debido a que lo subjetivo tiene menos peso y el resultado tendrá mayor objetividad.

Para realizar la matriz de jerarquización, se tomó como base la información del libro “Técnicas Participativas para la Planeación” del autor Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero; en el cual a través de la comparación entre criterios se asigna un valor en niveles de importancia, de acuerdo a la interrelación entre cada uno de ellos, lo que será evaluado por la matriz de jerarquización para asignarle el porcentaje de importancia dentro de un

proyecto a cada uno de los criterios social, ambiental, técnico y económico en este caso [4].

B. Diligenciamiento de la matriz de Jerarquización

Tabla 5. Escala de puntajes para la matriz de jerarquización

| NIVELES DE MÁS IMPORTANCIA | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|---|----------|---------------------------------|
| Nivel Im-port. | Definición | | Nivel Im | Nivel Im-port. |
| 1 | Igual de importante | | | Valores intermedios entre 3 y 4 |
| | Valores intermedios entre 1 y 2 | Valores a consignar en las casillas en blanco de la matriz cuadrada | 4 | Importancia muy fuerte |
| 2 | Importancia moderada | | | Valores intermedios entre 4 y 5 |
| | Valores intermedios entre 2 y 3 | | 5 | Importancia muy extrema |
| 3 | Importancia moderadamente fuerte | | | |

| NIVELES DE MENOS IMPORTANCIA | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|---|-----|---------------------------------------|
| 0 | Valores intermedios entre 0,99 y 0,5 | | | Valores intermedios entre 0,33 y 0,25 |
| 0,5 | Un poco menos importante | Valores a consignar en las casillas en blanco de la matriz cuadrada | 0,3 | Muy fuertemente menos importante |
| 0 | Valores intermedios entre 0,5 y 0,33 | | | Valores intermedios entre 0,25 y 0,2 |
| 0,3 | Moderadamente menos importante | | 0,2 | Extremadamente menos importante |

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que la justificación de un proyecto, es la argumentación que muestra claramente los antecedentes, las bondades y ventajas de su ejecución para resolver un problema, satisfacer las necesidades o mejorar la situación en beneficio de una comunidad; las maneras como se logra, la solución y los impactos a corto, mediano y largo plazo, se puede concluir que el criterio social, es al que se le debe asignar un peso mayor o igual respecto a los otros criterios; en ningún caso debe ser inferior a los otros criterios que se tomen en cuenta.

Con el fin de desarrollar la matriz para determinar la jerarquía (%) de cada criterio; se elaboró la tabla 5, con base en la escala de puntajes de Thomas Saaty [4]

| CRITERIOS | MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN | | | | PESO % |
|----------------|--------------------------|--------|-----------|---------|----------|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | |
| | Ambiental | Social | Económico | Técnico | |
| C1 = Ambiental | 1,00 | 1,00 | 1,30 | 1,28 | = 28,17% |
| C2 = Social | 1,00 | 1,00 | 1,30 | 1,28 | = 28,17% |
| C3 = Económico | 0,77 | 0,77 | 1,00 | 0,98 | = 21,64% |
| C4 = Técnico | 0,78 | 0,78 | 1,02 | 1,00 | = 22,02% |
| TOTAL | | | | | 100% |

Figura 1. Matriz de Jerarquización
Fuente: Elaboración propia

Con el fin de cumplir la jerarquización de los

criterios de forma pertinente según lo expuesto, se generó una demarcación específica para su diligenciamiento, a partir de la teoría de Gabriel de las Nieves Sánchez articulado con la base de la puntuación de Thomas Saaty [4], logrando que la jerarquización se refleje de acuerdo a la importancia de los criterios.

- Las celdas de color rosado (diagonal principal) estarán siempre asignadas con el valor de uno, porque es la resultante de la comparación de un criterio por sí mismo, matemáticamente es la resultante de dividir 1/1, 2/2, 3/3, etc.
- Las celdas de color azul están formuladas de acuerdo al concepto del libro de Sánchez Guerrero, que tienen que ver con el inverso del comparativo de los criterios que ya se calificaron.
- Para asignar el nivel de importancia de la celda (C1-C2) de color amarillo, se deberá comparar qué tanto es más o menos importante el criterio ambiental, en comparación con el criterio social, basándose en los valores de la tabla 5 y que en los valores intermedios no se podrá asignar un valor con más de dos decimales.
- Para asignar el nivel de importancia de la celda (C1-C3) de color verde, se deberá comparar qué tanto es más o menos importante el criterio ambiental, en comparación con el criterio económico basándose en los valores de la tabla 5 y que en los valores intermedios no se podrá asignar un valor con más de dos decimales.
- Para asignar el nivel de importancia de la celda (C1-C4) de color rojo, se deberá comparar qué tanto es más o menos importante el criterio ambiental en comparación con el criterio técnico, basándose en los valores de la tabla 5 y que en los valores intermedios no se podrá asignar un valor con más de dos decimales.

- Para asignar el nivel de importancia de la celda (C2-C3) de color lila, se deberá comparar qué tanto es más o menos importante es el criterio social en comparación con el criterio económico, basándose en los valores de la tabla 5 y que en los valores intermedios no se podrá asignar un valor con más de dos decimales.
- Para asignar el nivel de importancia de la celda (C4-C2) de color lila, se deberá comparar que tanto es más o menos importante es el criterio económico en comparación con el criterio social, basándose en los valores de la tabla 5 y que en los valores intermedios no se podrá asignar un valor con más de dos decimales.
- Para asignar el nivel de importancia de la celda (C4 C3) de color lila, se deberá comparar que tanto es más o menos importante es el criterio económico en comparación con el criterio técnico, basándose en los valores de la tabla 5 y que en los valores intermedios no se podrá asignar un valor con más de dos decimales.
- Para asignar el nivel de importancia de las celdas (C2 C3, C4 C2, y C4 C3) de color lila, se les podrá asignar el nivel de importancia según lo descrito para cada una de ellas; pero para el presente proyecto se determinó una fórmula para evitar errores por confusión en la metodología de asignación de puntaje, la cual depende directamente de los puntajes asignados en las celdas de color amarillo, verde y rojo.

Ésta matriz jerarquización se realiza para que sea diligenciada por la(s) cabeza(s) de quien(es) toma(n) la decisión de la asignación de los niveles de importancia de cada criterio.

C. Valoración de las variables y los indicadores

Se determinó el peso de cada variable, cuyos valores fueron el resultado del análisis y estudio de

la investigación comparativa sobre los métodos de parcheo; el convencional y el de inyección a presión neumática.

Dado que las puntuaciones propuestas para los criterios están dadas del 1 al 5, esto conlleva a que la suma de todos los pesos asignados a las variables por criterio deberá corresponder a 20, para que cada criterio esté evaluado sobre el 100%.

Para asignar el peso a los indicadores se debe tener en cuenta el peso de cada variable, esto quiere decir que la suma de los pesos de los indicadores de cada variable debe ser igual peso asignado a esa variable, así también se conserva la regla de que la suma del total de los indicadores deberá dar igual a 20 y que cada uno de los criterios será evaluado sobre el 100%.

Como ejemplo, se puede ver la siguiente figura para sustentar la presente explicación.

| CRITERIOS, VARIABLES E INDICADORES | | PUNTAJE | | |
|------------------------------------|---|---------|--------------|-----------|
| VARIABLE | INDICADORES | PUNTO | CONVENCIONAL | NEUMÁTICO |
| VARIABLES OBJETIVAS | | | | |
| C | Valor de la mezcla asfáltica m ³ | 0,35 | - | - |
| | Inversión por cantidad de huecos reparados | 2,25 | - | - |
| E | Desperdicio de mezcla asfáltica producida y que no llega al sitio | 2,00 | - | - |
| | Cantidad de mezcla asfáltica producida y que no se utiliza en sitio | 2,00 | - | - |
| C | Cantidad de huecos/parches en un periodo | 2,00 | - | - |
| | Rendimiento del proceso | 3,00 | - | - |
| M | Cantidad de Mezcla utilizada por bache. | 3,00 | - | - |
| | Área intervenida por parcheo | 4,00 | 1,00 | - |
| O | Trámite para importación de repuestos | 2,00 | - | - |
| | Mantenimiento maquinaria | 4,00 | - | - |
| O | Acceso eficiente a los repuestos. | 2,00 | - | - |
| | Atención bajas para atender bajas cantidades de baches | 2,00 | 2,00 | - |
| O | Es apta (por rentabilidad) para atender bajas cantidades de baches | 2,00 | 2,00 | - |
| | Es apta (por rentabilidad) para atender bajas cantidades de baches | 2,00 | 2,00 | - |

Figura 2. Asignación de pesos a variables y a indicadores
Fuente: Elaboración propia

D. Diligenciamiento de la matriz

Después de determinados los pesos de cada criterio, variables e indicadores, se dio inicio al diligenciamiento de la matriz, lo que permitió su validación y el resultado final de la matriz de decisión.

La matriz se diligencia en un formato digital, el cual guía al evaluador paso a paso, desde el inicio con la presentación de las metodologías de parcheo, el objetivo de su desarrollo y el instructivo técnico para su diligenciamiento, permitiendo obtener datos personales y profesionales del evaluador, adicionalmente contiene la información completa de la investigación realizada para la determinación de las variables y los indicadores objetivos, la cual se limita dentro de rangos específicos de acuerdo a los resultados cuantitativos, para su respectiva ponderación (tabla 6).

Tabla 6. Rangos de ponderación para indicadores objetivos

| INTERVALO | VALORA DESCONTAR |
|----------------|----------------------------|
| 0,10% y 5,0% | Asígnele entre 4.01 y 4,50 |
| 5,1 % y 10,0% | Asígnele entre 3.51 y 4,01 |
| 10,1 % y 15,0% | Asígnele entre 3.01 y 3,50 |
| 15,1 % y 20,0% | Asígnele entre 2.51 y 3,00 |
| 20,1 % y 25,0% | Asígnele entre 2.01 y 2,50 |
| 25,1 % y 30,0% | Asígnele entre 1.51 y 2,00 |
| 30,1 % y 40,0% | Asígnele entre 1.01 y 1,50 |
| >40% | asígnele 1 |

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que el objetivo de la matriz, no es dar una calificación en cada metodología de parcheo analizada, si no evidenciar y escoger cuál metodología es la mejor opción para cada circunstancia, se determina que a la mejor opción siempre se le deberá asignar una calificación de 5, dejando a un lado la subjetividad, de quien a su juicio considere que no es merecedor de dicha calificación, y a la otra se le aplica el descuento descrito en la anterior tabla.

E. Calibración y resultados de la matriz

Con el propósito de revisar si la ponderación realizada a los criterios y la escala de valoración dada a los indicadores y variables guardan una relación con una significancia importante, se toman los datos finales arrojados por la matriz evaluados por el panel de expertos y a estos resultados se les realiza un análisis estadístico de significancia para comprobar los acuerdos y desacuerdos de los expertos al asignar los puntajes de los indicadores.

Para iniciar, empezaremos mostrando los resultados definitivos consolidados de la matriz multicriterio de decisión por cada evaluador y por metodología de parcheo, validando los resultados en relación con los pesos de cada criterio.

Tabla 7. Consolidado de resultados y validación de pesos de la matriz

| | Peso Crite- rio | Result. G/ral Con- vencio- nal | Result. G/ral Iny. A pres. Neum. | Valid. Pesos Conven- cional | Valid. Pesos Iny. A pres. Neum. |
|---------------|--------------------|--|--|--------------------------------------|--|
| Ev./ Crit. | | Ambiental | | Ambiental | |
| Ev. 1 | 28,17% | 28,50% | 96,00% | 8,03% | 27,04% |
| Ev. 2 | | 27,50% | 100,00% | 7,75% | 28,17% |
| Ev. 3 | | 29,00% | 96,00% | 8,17% | 27,04% |
| Ev. 4 | | 25,50% | 100,00% | 7,18% | 28,17% |
| Ev./ Crit. | | Social | | Social | |
| Ev. 1 | 28,17% | 46,00% | 80,00% | 12,96% | 22,54% |
| Ev. 2 | | 42,00% | 80,00% | 11,83% | 22,54% |
| Ev. 3 | | 44,00% | 79,50% | 12,39% | 22,40% |
| Ev. 4 | | 46,00% | 80,00% | 12,96% | 22,54% |
| Ev./ Crit. | | Económico | | Económico | |
| Ev. 1 | 21,64% | 46,63% | 76,00% | 10,09% | 16,45% |
| Ev. 2 | | 46,63% | 76,00% | 10,09% | 16,45% |
| Ev. 3 | | 45,50% | 76,00% | 9,85% | 16,45% |
| Ev. 4 | | 46,63% | 76,00% | 10,09% | 16,45% |
| Ev./ Crit. | | Técnico | | Técnico | |

| | | | | | |
|---------------|--------|---------|---------|---------|--------|
| Ev. 1 | 22,02% | 66,00% | 67,50% | 14,53% | 14,86% |
| Ev. 2 | | 67,00% | 63,02% | 14,75% | 13,88% |
| Ev. 3 | | 62,00% | 70,77% | 13,65% | 15,58% |
| Ev. 4 | | 66,40% | 64,72% | 14,62% | 14,25% |
| Ev./ Crit. | | Totales | | Totales | |
| Ev. 1 | 22,02% | 187,13% | 319,50% | 45,61% | 80,89% |
| Ev. 2 | | 183,13% | 319,02% | 44,42% | 81,03% |
| Ev. 3 | | 180,50% | 322,27% | 44,06% | 81,47% |
| Ev. 4 | | 184,53% | 320,72% | 44,85% | 81,40% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Resultado de decisión de la matriz multicriterio

| | Pro- medio Conven- cional % | Promedio inyección a presión neu- mática % | Validación Pesos Criterios Convencio- nal % | Vali- dación Pesos Criterios inyección a presión neumáti- ca % |
|----------|--------------------------------------|---|---|---|
| Promedio | 45,96% | 80,09% | 44,74% | 81,20% |

Fuente: Elaboración propia

El nivel de confiabilidad se mide, desde la desviación estándar de los datos resultantes de cada criterio y de sus promedios, el cual está dado de la siguiente manera: Alto: >95%, Medio: entre 90% y 95% y bajo: <90%. La confiabilidad de la presente matriz es de nivel Alto con un 97,58%, el cual es el resultado del estudio y la delimitación técnica para la matriz estructurada para este estudio.

CONCLUSIONES

Durante la investigación y análisis de los dos métodos de parcheo; convencional con mezcla asfáltica en caliente y el de inyección a presión neumática con mezcla asfáltica en frío, se establecieron diferencias que son importantes resaltar:

De acuerdo al resultado obtenido de la aplicación de la matriz multicriterio de decisión a evaluadores idóneos en el ámbito de la infraestructura vial, el cual se resume en la tabla 8, se puede concluir que el método de parcheo a través de inyección a

presión neumática con mezcla asfáltica fría, es la mejor alternativa para acciones de movilidad desde el punto de vista técnico, social, económico y ambiental, razón por la cual se podría afirmar que este tipo de solución debería ser más utilizada. Adicionalmente uno de los aportes de esta investigación cobra valor, en lo relacionado a que con esta nueva tecnología de parcheo con inyección a presión neumática de asfalto en frío, Bogotá puede llegar a visualizar la posibilidad de que sus habitantes puedan salir a las calles en bicicleta, caminando, en vehículos o cualquier otro medio de transporte, y no encontrar huecos en un alto porcentaje de vías, lo que hasta el momento no se ha contemplado como un objetivo alcanzable para la capital de Colombia.

La sociedad en general a nivel mundial, reconoce que el respeto por el medio ambiente es la única opción, para vivir en lugares con entornos más sanos, para ello el sector relacionado con la conservación de vías en pavimentos flexibles, debería asumir una postura más investigativa aplicando rigurosamente estos descubrimientos, en miras a aportar no solo al sostenimiento del medio ambiente, si no a la calidad de vida de los seres vivos en el planeta, en ese sentido y de acuerdo a los resultados obtenidos, esta investigación deja en evidencia que a pesar de cumplir los parámetros establecidos por las entidades ambientales, es muy alto el aporte en la emisión de gases efecto invernadero GEI y material particulado generado por las plantas productoras de mezclas asfálticas en caliente. Lo anterior ha sido establecido de acuerdo al análisis de los estudios del método con mezcla asfáltica en caliente, y analizando de forma comparativa su impacto ambiental con respecto al método de inyección a presión neumática, esperando que la infraestructura vial, pueda generar algún aporte positivo en el mejoramiento del medio ambiente con la aplicación de éste nuevo método de parcheo.

El aporte de la herramienta desarrollada para la evaluación de métodos de parcheo, con sus resultados contundentes y objetivos, hace visible la necesidad de disponer su uso en la etapa precontractual de los proyectos licitatorios de

parqueo en las entidades públicas, garantizando la exigencia de los mejores métodos y las nuevas tecnologías al respecto, con el fin de que las inversiones del erario público tengan la base objetiva en los diferentes aspectos que se evalúan. Lo anterior se logra con la aplicación de la matriz multicriterio de decisión, ya que evalúa de forma cuantitativa y cualitativa los impactos específicos de las alternativas estudiadas.

La inversión en los proyectos de infraestructura vial, es un gran obstáculo para considerar su viabilidad, por ello, uno de los aportes que realiza esta investigación, se basa en el estudio y análisis que conlleva a la optimización de recursos como materiales, equipo, costos y tiempo requeridos para intervenir fallas tipo baches/huecos, en las vías de pavimento flexible competencia de Unidad de Mantenimiento Vial, siendo algo concluyente, ya que aunque no se ofrece una cifra exacta de lo que podría costar este proyecto, si abre un panorama real basado en los datos del contrato ejecutado, del cual se encontró que el uso de la nueva tecnología de inyección de mezcla asfáltica en frío, realiza aportes importantes desde el punto de vista social, ambiental, técnico económico, ya que cumpliendo las especificaciones técnicas:

*Salva vidas, reduce la huella de carbono, el uso de combustibles, equipos, tiempos, costos, insumos, tramites, etc

*Permite estructurar y aplicar el tan anhelado modelo de gestión de pavimentos que requiere Bogotá, para planear adecuadamente las inversiones en dinero, tiempo, insumos y recursos conforme al tipo de intervención, debido a que detiene el acelerado deterioro de nuestro patrimonio vial, mientras que paralelamente se realizan las rehabilitaciones y demás actividades de conservación que requieren los corredores viales del distrito

Teniendo en cuenta que las especificaciones y metodologías de parqueo convencional, no han sufrido modificaciones importantes, esta investigación presenta como aporte importante, el

diseño y construcción de una herramienta (matriz de decisión multicriterio) que evalúa y justifica técnicamente, la toma de decisiones aplicable a la evaluación de metodologías de trabajo, con el fin de que los funcionarios, directivos, representantes legales, etc de las diferentes entidades o compañías, analicen de forma objetiva los indicadores que inciden en los procesos de gestión y planeación de los proyectos en este caso de infraestructura vial, logrando soportar de la mejor manera la toma de sus decisiones.

REFERENCIAS

- [1] Subdirección General de Desarrollo Urbano, Dirección Técnica Estratégica, Estadísticas 2019- I Malla vial de Bogotá Instituto de Desarrollo Urbano, Bogotá, Col. Junio 2019. Disponible: [https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/Transparencia/Informacion%20de%20interes/SIIPVIALES/Innovaci%C3%B3n/Portafolio/2019/08_Agosto/Visor_malla_vial_2019_I%20\(26%20Agosto%202019\).xlsx](https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/Transparencia/Informacion%20de%20interes/SIIPVIALES/Innovaci%C3%B3n/Portafolio/2019/08_Agosto/Visor_malla_vial_2019_I%20(26%20Agosto%202019).xlsx)
- [2] Evaluation methodological approach. European Union Capacity4 https://europa.eu/capacity4dev/evaluation_guidelines/wiki/presentacion-detallada-9
- [3] El Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, inventario de emisiones de gases efecto invernadero para la región Bogotá – Cundinamarca. Bogotá D.C, IDEAM, Bogotá, Col. 2012. http://www.ideam.gov.co/documents/40860/609198/INFORME+TECNICO_Gases+Efecto%20+Invernadero.pdf/e9f9a51e-4350-4914-944c-d767fefb0c61?version=1.2
- [4] D. N. S. G. Gabriel, Técnicas participativas para la planeación, Fundación ICA, 2003, 71, Disponible <https://eloiacademas.files.wordpress.com/2017/03/sc3a1nchez-guerrero-tecnicas-participativas-para-la->

planeacion.pdf

- [5] Juan D. Villegas, Mauricio W. Gómez. (2019). Utilización de mezcla asfáltica natural, con adición de granulo de caucho reciclado, para bacheo localizado. Maestría en Infraestructura Vial Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia. Tesis
- [6] Sepúlveda María. (2015). Revisión e inspección técnica de la mezcla en frío instalada por el método de parcheo con inyección neumática/mecanizado en la localidad de Teusaquillo. Programa de Especialización en Ingeniería de Pavimentos de Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Tesis.
- [7] Betancur Fredy D & Burgos Eduardo G. (2012). Durapatcher (spray injection) tecnología como alternativa a la reparación de baches, Facultad de ingeniería Civil Universidad Catolica, Bogotá, Colombia. Tesis.
- [8] Evaluation methodological approach. European Union. <https://europa.eu/capacity4dev/evaluation>
- [9] John amado (2015), Análisis del sistema de reparación de pavimentos flexibles por inyección neumática con mezcla asfáltica en frío, tecnología velocity patching. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3216/1/TESIS.pdf>
- [11] Arencibia ,E.E., Junco J. Z., Perera, M. A. (2013). Análisis de la contaminación atmosférica de la planta de asfalto caliente “Abel Santamaría”, de Coliseo. Revista Avanzada Científica. https://www.academia.edu/33489862/Dialnet_AnalisisDe-LaContaminacionAtmosfericaDe-LaPlantaDe-As_4687338_3_
- [12] Reyes, F., Rondón, H. (2015). Pavimentos, materiales, construcción y diseño. Books. https://books.google.com.co/books?id=zuwcDgAAQBAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [13] Hugener, M., Zeyer, K., & Mohn, J., (2019). Reducción de las emisiones de asfalto de mezcla caliente durante la construcción. <https://trid.trb.org/view/1652554>