



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PITRA

Programa de
Infraestructura
del Transporte

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y
METODOLOGIA DE DISEÑO PARA
BACHEO MEDIANTE TECNICA DE
INYECCION **LM-PI-UMP-063-R1**

PREPARADO POR
Pablo Alberto Torres Linares
Jose Pablo Aguiar Moya
Luis Guillermo Loría Salazar



programa de infraestructura
del transporte

PITRA

San José, Costa Rica
Diciembre, 2016

UMP

Unidad de
Materiales y Pavimentos

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO Y METODOLOGIA DE DISEÑO PARA BACHEO MEDIANTE TECNICA DE INYECCION **LM-PI-UMP-063-R1**

Torres-Linares, Pablo Alberto¹; Aguiar-Moya, Jose Pablo² y Loria-Salazar, Luis Guillermo³

1. Ingeniero Investigador Unidad de Materiales y Pavimentos PITRA LanammeUCR
2. Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos PITRA LanammeUCR
3. Coordinador general Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) LanammeUCR

Palabras Clave: PITRA, Técnicas de Bacheo, emulsión asfáltica, bacheo automatizado

Resumen: El siguiente documento corresponde al informe sobre el proyecto de evaluación del desempeño y metodología de diseño para bacheo mediante técnica de inyección, en donde se hizo una reseña bibliográfica de estudios anteriores, se realizó un análisis económico de dicha técnica y se evaluó el desempeño mediante técnicas en laboratorio y con el HVS del PaveLab del LanammeUCR. Finalmente se propone una metodología de diseño y pruebas de control de calidad para este tipo de material.

Referencias

1. Camacho, E. (2012). *Conceptualización y desarrollo del PaveLab*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
2. Camacho, E., & Leiva, F. (2014). *Proceso Constructivo PaveLab*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
3. Delgado, J. S. (2011). *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01. 22: 047)*. Métodos y Materiales, 1.
4. Jiménez Acuña, M., Sibaja Obando, D., & Molina Zamora, D. (2008). *Evaluación de la factibilidad de la aplicación de mezclas en frío para superficies de rodamiento en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.

EVALUATION OF PERFORMANCE AND DESIGN METHODOLOGY FOR SPRAY INJECTION PATCHING TECHNIQUE **LM-PI-UMP-063-R1**

Torres-Linares, Pablo Alberto¹; Aguiar-Moya, Jose Pablo² y Loria-Salazar, Luis Guillermo³

1. *Ingeniero Investigador Unidad de Materiales y Pavimentos PITRA LanammeUCR*
2. *Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos PITRA LanammeUCR*
3. *Coordinador general Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) LanammeUCR*

Keywords: PITRA, patching techniques, asphalt emulsion, automated patching.

Abstract: The following document corresponds to the report for the evaluation of the performance and design methodology for spray injection patching technique, where a bibliographic review of previous studies was made, an economic analysis of this technique was carried out and the performance was evaluated through techniques in laboratory and with the HVS of the LanammeUCR PaveLab. Finally, we propose a methodology of design and quality control tests for this type of material.

References

1. Camacho, E. (2012). *Conceptualización y desarrollo del PaveLab*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
2. Camacho, E., & Leiva, F. (2014). *Proceso Constructivo PaveLab*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
3. Delgado, J. S. (2011). *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01. 22: 047)*. Métodos y Materiales, 1.
4. Jiménez Acuña, M., Sibaja Obando, D., & Molina Zamora, D. (2008). *Evaluación de la factibilidad de la aplicación de mezclas en frío para superficies de rodamiento en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.

Torres-Linares, P. A., Aguiar-Moya, J. P., & Loria-Salazar, L. G. (2016). *Evaluación del desempeño y metodología de diseño para bacheo mediante técnica de inyección*. San José, Costa Rica: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe: LM-PI-UMP-063-R1

EVALUACION DEL DESEMPEÑO Y METODOLOGIA DE DISEÑO PARA BACHEO MEDIANTE TECNICA DE INYECCION

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Diciembre, 2016

Documento generado con base en el Art. 6, inciso g) de la Ley 8114 y lo señalado en el Cap. IV, Art. 66 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Preparado por: Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-
LanammeUCR jose.aguiar@ucr.ac.cr



Información técnica del documento

Informe LM-PI-UMP-063-R1		Copia No. 1
Título y subtítulo: EVALUACION DEL DESEMPEÑO Y METODOLOGIA DE DISEÑO PARA BACHEO MEDIANTE TECNICA DE INYECCION		Fecha del Informe Diciembre, 2016
Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
Resumen El siguiente documento corresponde al informe sobre el proyecto de evaluación del desempeño y metodología de diseño para bacheo mediante técnica de inyección, en donde se hizo una reseña bibliográfica de estudios anteriores, se realizó un análisis económico de dicha técnica y se evaluó el desempeño mediante técnicas en laboratorio y con el HVS del PaveLab del LanammeUCR. Finalmente se propone una metodología de diseño y pruebas de control de calidad para este tipo de material.		
Palabras clave Técnicas de Bacheo, emulsión asfáltica, bacheo automatizado		Nivel de seguridad: Ninguno
Preparado por: Ing. Pablo Alberto Torres Linares Investigador Unidad de Materiales y Pavimentos <hr/> Fecha: 15 / 12 / 16		
Revisado por: Ing. José Pablo Aguiar, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos <hr/> Fecha: 15 / 12 / 16		Ing. Luis Guillermo Loría Salazar Coordinador General PITRA <hr/> Fecha: 15 / 12 / 16



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	6
JUSTIFICACION	6
OBJETIVOS.....	7
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
MARCO TEORICO	8
TÉCNICAS PARA REPARACIÓN DE BACHES	8
DESCARGAR Y COMPACTAR (THROW AND ROLL).....	8
SEMI-PERMANENTE.....	9
TÉCNICA DE SELLADO DE BORDE	9
TÉCNICA A INYECCIÓN	10
<i>ANTECEDENTES</i>	<i>10</i>
<i>FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE EQUIPOS</i>	<i>12</i>
<i>MATERIALES A UTILIZAR</i>	<i>14</i>
<i>PROCEDIMIENTO DE BACHEO.....</i>	<i>14</i>
ENSAYOS REALIZADOS	15
EMULSIÓN	15
<i>DESTILACIÓN Y ACEITE DESTILADO.....</i>	<i>15</i>
<i>VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL.....</i>	<i>15</i>
MEZCLA EMULSIÓN Y AGREGADOS.....	17
<i>COMPACTACIÓN POR LA METODOLOGÍA MARSHALL.....</i>	<i>17</i>
<i>GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA</i>	<i>17</i>
<i>EXTRACCIÓN DE ASFALTO Y GRANULOMETRÍA.....</i>	<i>17</i>
EVALUACIÓN DE LA DEFORMACIÓN DE LOS BACHES MEDIANTE UN SIMULADOR DE VEHÍCULOS PESADOS (HVS).....	18
ANÁLISIS DE COSTOS ENTRE LA TÉCNICA DE BACHEO TRADICIONAL Y DE INYECCIÓN A PRESIÓN.	20
RESULTADO DE LABORATORIO.	23
METODOLOGIA DE DISEÑO	32
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: MÉTODOS PARA LA TÉCNICA DESCARGAR Y COMPACTAR. FUENTE: KIM, & ABBAS, (2014)..... 8

TABLA 2: PROMEDIOS DE PRODUCCIÓN PARA DIVERSAS TÉCNICAS DE BACHEO. FUENTE: (WILSON & ROMINE, 1993) 11

TABLA 3: COSTO-EFECTIVIDAD DE LAS TÉCNICAS DE BACHEO. FUENTE: (WILSON & ROMINE, 1993)..... 11

TABLA 4: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES CATIONICAS. FUENTE: (DELGADO, 2011) 16

TABLA 5: ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ANIONICAS. FUENTE: (DELGADO, 2011) 16

TABLA 6: DESCRIPCIÓN DE LA MEZCLA ANALIZADA..... 23

TABLA 7: CONTENIDO DE ASFALTO Y AGUA EN LA MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA COLOCADA EN LOS TRAMOS DE PRUEBA. 23

TABLA 8: DOSIFICACIONES UTILIZADAS PARA REALIZAR MEZCLA DE LABORATORIO. 25

TABLA 9: RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE RECUBRIMIENTO Y DESNUDAMIENTO.... 26

TABLA 10: GRANULOMETRÍA Y PORCENTAJE ÓPTIMO DE EMULSIÓN..... 27

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: EJEMPLO DEL TIPO UNIDAD REMOLCADA. FUENTE: TRABESA S.A. 12

FIGURA 2: EJEMPLO DEL TIPO UNIDAD EN CAMIÓN MODIFICADO. FUENTE: (CRAFCO, 2016) 13

FIGURA 3: EJEMPLO DEL TIPO UNIDAD AUTÓNOMA. FUENTE (WIKIPEDIA, 2016)..... 13

FIGURA 4: PERFILÓMETRO LÁSER (CAMACHO & LEIVA, PROCESO CONSTRUCTIVO PAVELAB, 2014)..... 19



FIGURA 5: MATRIZ DE VALORES GENERADOS POR EL HVS 19

FIGURA 6: COMPARACIÓN DE COSTOS TOTALES DE LAS TÉCNICAS DE BACHEO.
FUENTE: TRABESA S.A. 20

FIGURA 7: COMPARACIÓN COSTO DE PERSONAL PARA LA REALIZACIÓN DE LA LABOR.
FUENTE: TRABESA S.A. 21

FIGURA 8: COMPARACIÓN DE COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS. FUENTE: TRABESA
S.A..... 22

FIGURA 9: ESPECÍMENES COMPACTADOS EN LABORATORIO CON MEZCLA HECHA POR
MÁQUINA 24

FIGURA 10: ESPECÍMENES QUE HAN PERDIDO INTEGRIDAD DURANTE EL PROCESO DE
CURADO A TEMPERATURA AMBIENTE 24

FIGURA 11: ESPECÍMENES HECHOS CON MEZCLA REALIZADA EN LABORATORIO CON
AGREGADO M-0852-16 25

FIGURA 12: ESPECÍMENES REALIZADOS CON MEZCLA HECHA EN LABORATORIO CON
AGREGADO M-0904-16 26

FIGURA 13: CONSTRUCCIÓN DE BACHES EN PISTA DE PRUEBA DEL PAVELAB 28

FIGURA 14: COMPACTACIÓN DE BACHES..... 29

FIGURA 15: BACHES REALIZADOS EN LA PISTA DEL PAVELAB 29

FIGURA 16: EVALUACIÓN DE BACHES CON HVS EN LA PISTA DE PRUEBAS DEL
PAVELAB 30

FIGURA 17: BACHES EVALUADOS EN LA PISTA EXPERIMENTAL DEL HVS..... 30

FIGURA 18: RESULTADOS DE DEFORMACIÓN PARA LOS BACHES REALIZADOS EN LA
PISTA EXPERIMENTAL DEL HVS. 31

FIGURA 19: METODOLOGÍA DE DISEÑO PROPUESTA..... 33



INTRODUCCION

Uno de los mayores problemas que enfrentan las instituciones encargadas del mantenimiento de carreteras es la reparación de los baches en el pavimento. Tratar de eliminar oportunamente este tipo de deterioro es fundamental para el correcto desempeño de los pavimentos, pues si no se corrigen, la intrusión de agua dentro de la base granular sumada al tráfico continuo destruyen el pavimento en un corto período de tiempo.

Recientemente, el desarrollo del método de inyección para la reparación de superficies asfálticas, también conocido como “*spray patching*”, ha resultado en un proceso altamente mecanizado para la reparación de baches en el pavimento. Este método se realiza mediante un sistema que permite el transporte del asfalto y el agregado, mezclar los materiales y reparar el bache con un solo equipo y operador, reduciendo los costos operacionales y representando así una alternativa viable de reparación temporal.

JUSTIFICACION

La reparación de pavimentos con grandes áreas de deterioros pueden ser tratados efectivamente y con una celeridad aceptable mediante sobrecapas de mezclas asfálticas en caliente, lechadas asfálticas, micropavimentos y tratamientos superficiales. Deterioros focalizados como los baches, tienen que ser reparados individualmente mediante tres tipos de técnicas:

- 1- Tirar y compactar.
- 2- Semi-permanente
- 3- Bacheo a inyección

Una de las tecnologías a disposición es la reparación mediante inyección para superficies de mezcla asfáltica, llamada “*spray patching*” ó “bacheo a inyección”. Este método consiste en un sistema que transporta emulsión asfáltica y el agregado al lugar de reparación, mezcla los materiales y repara el bache con muy poco personal. Aunado a lo relativamente fácil que es esta técnica, también representa una ventaja económica en comparación con las otras dos, en donde según un estudio llevado a cabo por el programa de investigación estratégica de carreteras (SHRP, por sus siglas en inglés), los costos de colocación son de \$58,1; \$55,0 y \$13,8 por metro cúbico colocado respectivamente (Blaha, 1993).

En Costa Rica se vuelve necesaria la implementación de alternativas de fácil aplicación y bajos costos para el mantenimiento vial, por lo que la metodología de inyección para la reparación de baches puede

Informe LM-PI-UMP-063-R1	Fecha de emisión: Diciembre, 2016	Página 6 de 36
--------------------------	-----------------------------------	----------------



llegar a ser una alternativa competitiva. En este estudio se han analizado las propiedades mecánicas y durabilidad de este tipo de mezclas con ensayos sencillos de aplicación como por ejemplo el ensayo de desnudamiento y volumetría. Adicionalmente, se evaluó el desempeño estructural de este tipo mantenimiento mediante el Simulador de Vehículos Pesados (HVS), obtenido buenos resultados demostrando así que es una adecuada medida temporal de reparación. Actualmente ya existe en Costa Rica experiencia en esta técnica la cual ha sido utilizada para la reparación de calles municipales y a la fecha se han observado escenarios con buenos resultados.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar una metodología de diseño, evaluación del desempeño y control de calidad de mezclas asfálticas en frío para bacheo mediante la técnica de inyección

Objetivos específicos

1. Desarrollar mediante procedimientos sencillos una metodología confiable para el diseño de este tipo de mezcla asfáltica.
2. Evaluar el desempeño de este tipo de mezclas asfálticas ante la acción del tráfico mediante el simulador de equipos pesados (HVS)
3. Evaluar el control de calidad de este tipo de mezclas asfálticas.



MARCO TEORICO

Los baches pueden ser definidos como depresiones de múltiples formas en la capa superficial del pavimento. Estos se generan por la combinación de diversos factores como: las cargas de tránsito, el clima, calidad de los materiales y deterioro estructural de las capas que conforman el pavimento. Como cualquier deterioro generado en la estructura del pavimento, los baches representan una amenaza a la integridad estructural del pavimento a largo plazo, pero también representa una amenaza a la seguridad y confort de los usuarios de las carreteras. Por lo tanto, para muchas agencias gubernamentales alrededor del mundo es de vital importancia la reparación de estos, logrando así prolongar la vida útil e integridad de las carreteras que estas administran (Reid, 1998).

Teniendo en cuenta la importancia de lo anterior a lo largo de los años se han desarrollado diversas técnicas con el fin de reparar dichos baches, el objetivo de estas reparaciones, es brindar a los usuarios de la calle una superficie de rueda adecuada, evitando así el deterioro de los vehículos y además de prolongar la vida útil de la estructura de pavimento; estas técnicas son brevemente descritas a continuación (Nazzal, Kim, & Abbas, 2014).

TÉCNICAS PARA REPARACIÓN DE BACHES

Descargar y compactar (Throw and roll)

Es la técnica de reparación más sencilla y más antigua para la reparación de un bache. Básicamente consiste en llenar el bache con mezcla asfáltica. En este procedimiento no es necesario limpiar las suciedades o secar el agua antes de llenar el bache. Finalmente se compacta con las llantas de la vagoneta ó utilizando un compactador vibratorio de rodillo o de plato. Los autores Nazzal, Kim, & Abbas, (2014), consideran que dentro de la técnica de bacheo de descargar y compactar existe dos metodologías las cuales son presentadas en la Tabla 1. La práctica se considera una solución temporal.

Tabla 1: Métodos para la técnica descargar y compactar. Fuente: Kim, & Abbas, (2014)

Método	Pasos para el bacheo
Método 1 (Descargar e irse)	1- Arrojar la mezcla asfáltica en el bache (no es necesario la limpieza o secado del bache)
	2- Compactar la mezcla por medio de una pala o las llantas de la vagoneta
	3- Continuar al siguiente bache
Método 2 (Descargar y compactar- mejorado)	1- Remover el agua y suciedades del bache
	2- Verter la mezcla asfáltica en capas de hasta 5 cm y compactar usando las llantas de la vagoneta o un compactador de rodillo o de plato (recomendado); hasta 40 a 60 mm por encima del nivel existente
	3- Continuar al siguiente bache

Informe LM-PI-UMP-063-R1	Fecha de emisión: Diciembre, 2016	Página 8 de 36
--------------------------	-----------------------------------	----------------



Semi-permanente

Es muy parecida a la técnica de descargar y compactar, pero en esta se realizan ciertas técnicas constructivas que mejoran el proceso y permiten que los baches tengan una mejor calidad y acabado final, lo que influye notablemente en la durabilidad del bache. De acuerdo a los autores Wilson & Romine, (2001), Nazzal, Kim, & Abbas, (2014); el procedimiento para la realización de esta técnica de bacheo es el siguiente:

- 1) Remover el agua la suciedad del bache, lo cual puede ser logrado con un compresor de aire, pala, o algún otro equipo para limpieza.
- 2) Hacer que los lados del bache lo más rectos y verticalmente posible, esto es posible por medio de una cortadora para pavimentos.
- 3) Colocar la mezcla asfáltica en el bache previamente limpio, desde el centro hacia los bordes; lo cual permite una distribución uniforme de la mezcla a lo largo de todo el bache.
- 4) Compactar la mezcla utilizando el compactador de rodillo o de plato; empezando en el centro y avanzando hacia los bordes, lo que causara una adecuada compactación de la mezcla en el bache.
- 5) Continuar al siguiente bache

Como se mencionó anteriormente con esta técnica de bacheo se consiguen mejores resultados que la técnica descargar y compactar, pero es necesario mucho más tiempo para su realización y además de mayor personal (Wilson & Romine, 2001).

Técnica de sellado de borde

La técnica es parecida a la de descargar y compactar, pero el tiempo necesario para habilitar la sección de calle que fue reparada es mucho mayor. Esto pues adicional a lo anterior, se aplica un riego de asfalto sobre los bordes del bache tratado, para evitar el ingreso de agua del exterior al bache reparado. Los autores Wilson & Romine, (2001), Nazzal, Kim, & Abbas, (2014); recomiendan el procedimiento requerido para la realización de esta técnica de bacheo el cual se describe a continuación.



- 1) Colocar la mezcla en el bache; es opcional la limpieza del mismo.
- 2) Realizar la compactación de la mezcla asfáltica por medio de las llantas de la vagoneta; se recomienda entre 4 a 8 pasadas de este; hasta dejar ligeramente la mezcla por encima al nivel de la vía existente.
- 3) Permitir que la mezcla seque, para esto es necesario alrededor de un día después de colocada la mezcla asfáltica en el bache. Una vez cumplido lo anterior, es necesario la colocación del riego de asfalto de entre 10 a 15 cm de ancho, sobre los bordes del bache.
- 4) Colocar una capa de arena sobre este cordón para proteger este en contra de la acción del tránsito.
- 5) Continuar al próximo bache y repetir el procedimiento anterior.

Técnica de inyección

Antecedentes

Esta técnica de bacheo nace en los Estados Unidos entre los años 80 y 90, como una alternativa a las técnicas tradicionales anteriormente mencionadas, pero fue difundida hasta que los autores Smith & Romine (1993) la resaltaron en el reporte del SHRP (Strategic Highway Research Program). En dicho informe se desarrolló el proceso para implementar esta técnica, los materiales utilizados, sus ventajas y desventajas en relación a las otras técnicas en uso, así como los costos relacionados a esta técnica.

El reporte del SHRP presentado por los autores Wilson & Romine (1993) tenía como objetivo resumir la experiencia del año 1991 con la reparación de 1250 baches a lo largo de Estados Unidos y Canadá; en la cual destacaron que esta técnica tuvo un buen comportamiento en general en los baches reparados con esta, y se recomendó materiales y mano de obra calificada para la obtención de los resultados adecuados en aplicaciones futuras. A continuación en la Tabla 2 y la

Tabla 3 son presentados algunos resultados obtenidos en dicho reporte.



Tabla 2: Promedios de producción para diversas técnicas de bacheo. Fuente: (Wilson & Romine, 1993)

Técnica	Promedio producido (ton/hr)	Operadores Recomendados	Promedio diario producido por persona (tons/persona/día)
Descargar y compactar	1.6	2	3.2
Sellado de bordes	1.4	2	2.8
Semi-permanente	0.3	4	0.3
<i>Bacheo a inyección</i>	<i>1.7</i>	<i>2</i>	<i>3.4</i>

Tabla 3: Costo-efectividad de las técnicas de bacheo. Fuente: (Wilson & Romine, 1993)

Ítem	Descargar y compactar ¹	Descargar y compactar ²	Semi-Permanente	Bacheo a inyección	Descargar y compactar ³
Costo del material (\$/ton)	20	85	20	0	20
Salario diario de operarios (\$/día)	300	300	600	0	300
Salario diario de controladores de tránsito (\$/día)	250	250	250	250	250
Costo diario de equipos para operarios (\$/día)	50	50	100	900	50
Costo diario de equipos para controladores de tránsito (\$/día)	30	30	30	30	30
Producción diaria (ton/día)	4	4	1.5	4	4
Necesidad diaria (ton)	200	200	75	200	200
Costos por retrasos de usuarios (\$/día)	1000	1000	1000	1000	10000
Tiempo estimado de reparación (Meses)	3	21	12	21	3
Costo estimado para 5 años sin retraso (\$)	710,000	138,570	252,000	168,570	710,000
Costo estimado para 5 años con retraso (\$)	1,710,000	281,430	502,000	311,430	10,710,000
Costo-efectividad sin retraso (\$/ft ³)	44.38	8.66	42.08	10.54	44.38
Costo-efectividad con retraso (\$/ft ³)	106.88	17.59	83.75	19.46	669.38

Nota: 1,2 y 3 hace referencia a distintos fabricantes y materiales utilizados para realización del bacheo.



Funcionamiento y tipos de equipos

El principio básico de la técnica de inyección a presión es la unión y homogenización de emulsión asfáltica y agregado por medio de la inclusión de aire a alta presión utilizando un equipo especializado. Dicha mezcla es descargada a presión por medio de una tubería hasta el bache a reparar. El uso de aire presurizado permite a la mezcla salir del tubo a una velocidad tan alta que al impactar con la superficie del bache el agregado presenta una buena trabazón interparticular, eliminando de manera eficiente los vacíos en la mezcla. Lo anterior evita el uso de cualquier equipo de compactación externo para completar el proceso de reparación de baches, lo cual es necesario en las técnicas tradicionales de bacheo (Blaha, 1993). En general a nivel comercial son conocidos tres tipos de equipos que cumplen con la función del bacheo por inyección a presión, los cuales son mencionados a continuación.

Unidad remolcada: En este tipo de equipo es presentado en la Figura 1. La unidad de inyección a presión es remolcada por una vagoneta, en la cual están almacenados los agregados a utilizar. Los agregados son alimentados a la unidad, mediante la succión por medio de una manguera que esta sobre la vagoneta; por lo tanto, es necesario el uso mínimo de dos operarios para realizar la reparación de un bache.



Figura 1: Ejemplo del tipo unidad remolcada. Fuente: Trabesa S.A.



Unidad en camión modificado: Este equipo es similar al anterior, la única diferencia es que la vagoneta fue modificada para almacenar los agregados y también la unidad de inyección, lo cual elimina el uso del remolque, tal como es mostrado en la Figura 2. Igual que en el anterior, es necesario que el manejo del equipo sea realizado por lo menos por dos operarios.



Figura 2: Ejemplo del tipo unidad en camión modificado. Fuente: (Crafco, 2016)

Unidad autónoma: En esta unidad permite la reparación del bache por medio de un control remoto en forma de palanca al interior de la cabina del conductor; lo que permite que el equipo sea operado por una sola persona. El tanque de la emulsión y el de los agregados al igual que en el anterior está en el mismo camión. En la se puede apreciar un ejemplo de este equipo.



Figura 3: Ejemplo del tipo unidad autónoma. Fuente (Wikipedia, 2016)



Materiales a utilizar

1) Emulsión asfáltica

En general la emulsión utilizada para la inyección a presión es a una temperatura de 50,0 °C. Los autores Maupin Jr. & Payne, (2003) recomiendan que los tipos de emulsiones a utilizar para esta técnica de bacheo son CMS-2 y CRS-2, en especial para climas en que la temperatura ambiente es menor a 32°C.

2) Agregados

En general los tipos más comunes de agregados utilizados para esta técnica de bacheo son: el granito, piedra caliza, cuarcita. El tamaño más frecuentemente utilizado es el 3/8 “(9.5 mm), seguido del tamaño 1/4” (6.35 mm) y 5/16” (8.00 mm). Se recomienda el uso de agregados con forma angular, lo cual permite la adecuada trabazón al momento de la colocación de la mezcla. Es necesario realizar la evaluación de la afinidad entre el agregado y la emulsión a utilizar, para poder tomar las medidas adecuadas del caso. Es recomendado el uso de agregados con bajo contenido de finos, debido a que los finos tienden a romper la emulsión asfáltica antes de tiempo; valores de finos menores a 3% pasando por la malla # 200 son los recomendados para esta técnica de bacheo. Adicional a lo anterior los agregados a utilizar deben estar libres de impurezas y lavados (Reid, 1998). Es poco recomendado el uso de agregados que tengan alta absorción debido a que este tipo de agregados podrían disminuir la capacidad de adhesión entre el agregado y el ligante; lo que hace ineficiente la mezcla para el bacheo (Reid, 1998).

Procedimiento de bacheo

Los autores Nazzal, Kim, & Abbas, (2014), Wilson & Romine, (1993,2001), consideran que independiente del tipo de máquina o empresa que realice la reparación del bache mediante la técnica de inyección a presión, el procedimiento general que se debe seguir debe ser el mostrado a continuación:

- 1) Realizar la limpieza de las suciedades y secado del bache, utilizando el soplador a presión de la máquina.
- 2) Rociar material bituminoso de riego de liga tanto al fondo como a los lados del bache.
- 3) Rociar a presión la mezcla asfáltica dentro del bache (la compactación de la mezcla está relacionada con la velocidad de inyección y la distribución de las partículas del agregado).



- 4) Continuar el rocío de la mezcla hasta llenar completamente el bache y sobresalga la mezcla ligeramente sobre el nivel de la vía existente alrededor del bache.
- 5) Cubrir la superficie del bache reparado con arena para evitar que se levante la mezcla asfáltica debido a la acción del tránsito.
- 6) Compactar mediante una plancha vibratoria para mejorar el acabado.
- 7) Continuar hasta el próximo bache.

ENSAYOS REALIZADOS

Emulsión

Destilación y aceite destilado

En la *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano*; se considera que este ensayo es aplicable tanto para emulsiones catiónicas y aniónicas, y tiene como objeto principal la determinación de las proporciones de agua, residuo asfáltico y contenido de aceites en una emulsión asfáltica siguiendo las directrices de la normativa ASTM D6997 (Delgado, 2011).

En la Tabla 4 y la

Tabla 5 es posible apreciar los valores de las especificaciones que rige para este ensayo, tanto como para las emulsiones asfálticas.

Viscosidad Saybolt Furol

La viscosidad es definida como la resistencia que presentan los fluidos al desplazamiento, la cual afecta directamente la utilización de este. El objetivo de este ensayo es la determinación de la viscosidad de la emulsión asfáltica utilizando el viscosímetro del tipo Saybolt-Furol el cual cuenta con un orificio calibrado para este fin. La presencia de glóbulos grandes puede obstruir el orificio calibrado indicando que la emulsión está en rompimiento. El procedimiento es acorde a la normativa ASTM D244. En la Tabla 4 y la

Tabla 5 es posible apreciar los valores de la especificación para este ensayo para las emulsiones asfálticas.



Tabla 4: Especificaciones para emulsiones Catiónicas. Fuente: (Delgado, 2011)

Característica	Unid.	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1h	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Viscosidad, Saybolt-Furol a 25°C	SFS	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100	20	100
Viscosidad, Saybolt-Furol a 50°C	SFS	20	100	100	140	50	450	-	-	-	-	-	-	-	-
Aceite destilado, por volumen de emulsión	%	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100	20	100
Residuo	%	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-	57	-

Tabla 5: Especificaciones para emulsiones Aniónicas. Fuente: (Delgado, 2011)

Característica	Unid.	RS-1		RS-2		RS-3		MS-1		MS-2		MS-3	
		Min	Max										
Viscosidad, Saybolt-Furol a 25°C	SFS	20	100	-	-	-	-	20	100	100	-	100	-
Viscosidad, Saybolt-Furol a 50°C	SFS	-	-	75	400	75	400	-	-	-	-	-	-
Aceite destilado, por volumen de emulsión	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Residuo	%	50	-	63	-	63	-	55	-	65	-	65	-



Mezcla emulsión y agregados

Compactación por la metodología Marshall

En este ensayo los especímenes se compactan de la misma manera que los de los especímenes de mezclas asfáltica en caliente convencional: aplicando un número de 50 golpes con el martillo de compactación por cada cara. Una vez realizada la compactación el espécimen es curado en el molde por un día a temperatura ambiente, colocando estos de manera vertical para se produzca igual ventilación en ambos extremos. Después de este periodo la muestra es desmoldada. Posterior a la extrusión, la gravedad específica de los especímenes se determina con el método de gravedad específica bruta y densidad de mezclas bituminosas compactadas usando especímenes saturados superficie-seca (Jiménez Acuña, Sibaja Obando, & Molina Zamora, 2008).

Gravedad específica máxima teórica

La gravedad máxima teórica está definida como la relación entre la masa de un volumen dado de mezcla asfáltica sin vacíos de aire y la masa de igual volumen de agua, ambos a la misma temperatura. De acuerdo a la normativa ASTM D-2041; se determina tomando una muestra seca en el horno en condición seca, pesándola y luego sumergiéndola completamente en un baño con agua a 25°C. Después de aplica vacío durante 15 minutos para retirar el aire atrapado. El volumen de la muestra se calcula restando la masa en el agua de la muestra seca (Garnica Anguas, Flores Flores, Gómez López, & Delgado Alamilla, 2005).

Extracción de asfalto y granulometría

El ensayo de extracción y contenido de asfalto se realizó mediante el método establecido en el protocolo ASTM D 2172 y la granulometría de lo extraído se realizó con el protocolo ASTM D 5444



Evaluación de la deformación de los baches mediante un simulador de vehículos pesados (HVS)

Para lograr una mejor evaluación en la red vial nacional el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) empezó el desarrollo de la adquisición y optimización de instalaciones (PaveLab) para albergar el Heavy Vehicle Simulator (HVS). La tendencia que existe en la actualidad, en cuanto al desarrollo de proyectos para el análisis de pavimentos a escala natural, es el uso de dispositivos móviles. La versatilidad de estos dispositivos para realizar los ensayos ha permitido que diversas entidades a nivel mundial: universidades, departamentos de transportes, centros de investigación y otros; los utilicen para simular las cargas de tránsito de los vehículos en campo (Camacho, 2012).

El equipo más avanzado, y mayormente utilizado en este campo, lo ha desarrollado el Council for Scientific and Industrial Research, CSIR (Sudáfrica). El mismo se trata de un equipo que por medio de sistemas hidráulicos o eléctricos aplica una carga controlada, bajo las condiciones y número de repeticiones que sean necesarias para llevar una estructura de pavimento a la falla. Este equipo funciona en Sudáfrica desde 1978 y fue desarrollado a partir de un prototipo a finales de los años sesenta. Actualmente es comercializado mediante la firma Dynatest.

Durante la última década, el uso del equipo ha tomado un importante impulso, principalmente debido al crecimiento en el número de usuarios de estos tipos de ensayos. Este impulso se ha fortalecido con la investigación y resultados obtenidos en los diferentes países alrededor del mundo que han implementado programas para la investigación y ensayo de pavimentos a escala natural.

Ejemplo de esta tendencia son los equipos (HVS) que posee Florida Department of Transportation (FDOT), University of California en Davis, California Department of Transportation (CALTRANS), Swedish National Road and Transport Research (VTI), entre otros (Camacho, 2012).

Para medir el perfil de los tramos de prueba el HVS cuenta con dos perfilómetros que permiten realizar mediciones longitudinales y transversales de la superficie de ensayo, generando así un perfil tridimensional del tramo ensayado. Este sistema consiste en un equipo de medición de marca LMI Selcom, modelo SLS 5000, con dos dispositivos láser de 16 hz como se muestra en la Figura 4. La precisión es alta, el error es normalmente menos que 0,2% de la medición rango (Camacho & Leiva, Proceso Constructivo PaveLab, 2014).



Figura 4: Perfilómetro láser (Camacho & Leiva, Proceso Constructivo Pavelab, 2014)

Los valores medidos por los perfilómetros láser se constituyen en una matriz de datos, los cuales en el sentido longitudinal de la carga son reportados cada 10,7 cm y en el sentido transversal son medidos cada 2,54 cm, para un conjunto de 50 valores longitudinales y 64 valores transversales.

Table with 50 rows and 64 columns of numerical data, representing the output of the HVS laser profilometer.

Figura 5: Matriz de Valores generados por el HVS



ANÁLISIS DE COSTOS ENTRE LA TÉCNICA DE BACHEO TRADICIONAL Y DE INYECCIÓN A PRESIÓN.

Entre las diferentes ventajas que posee la técnica de bacheo por inyección está la reducción significativa de los costos totales del bacheo, en comparación de la técnica tradicional; como se evidencio en el estudio hecho por Galindo Burgos, (2015) en la ciudad de Bogotá; en el cual se obtuvo hasta un 15.5% de reducción en costos totales aplicando la técnica de bacheo por inyección a presión. Se evidenció la disminución en ciertos puntos más que en otros de la técnica, sobresaliendo el costo de materiales y el costo de personal.

De igual manera se ha realizado una comparación entre la técnica de bacheo por inyección a presión y el bacheo tradicional en Costa Rica para el bacheo de 5 y 10 m³ de mezcla las cuales son evaluadas y presentadas a continuación.

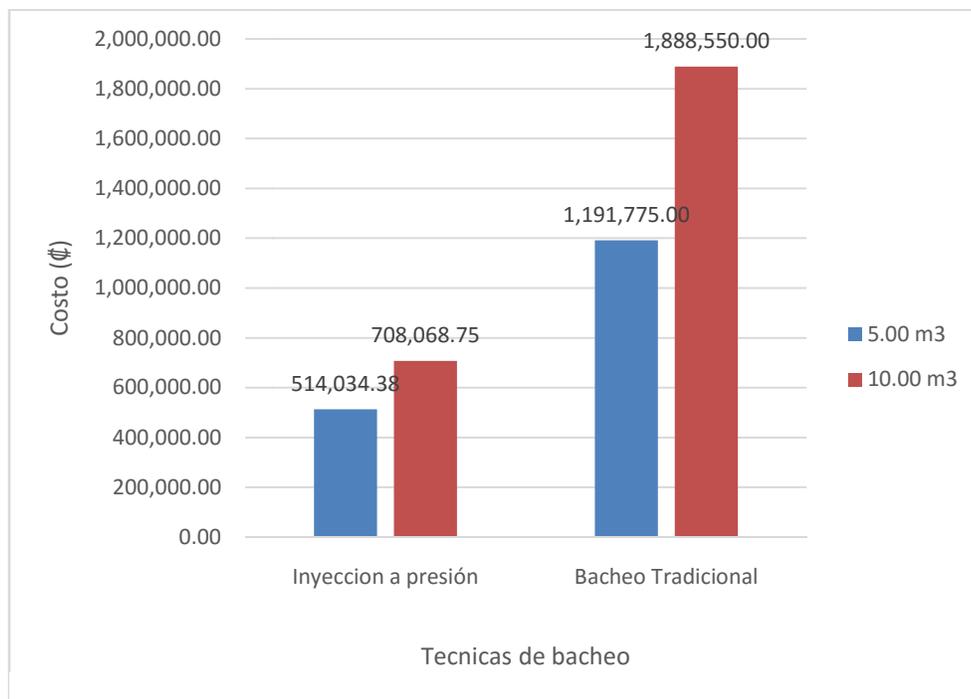


Figura 6: Comparación de costos totales de las técnicas de bacheo. Fuente: Trabesa S.A.

En la Figura 6 se aprecia que independientemente de la técnica, es posible la mejora del rendimiento en materia de costos a medida que se aumenta la cantidad de m³ a ser colocados; pero lo más importante que se puede evidenciar en la figura es la diferencia en los costos totales entre las técnicas; llegándose a evidenciar reducciones de hasta el 60 % generadas por la técnica de inyección a presión.

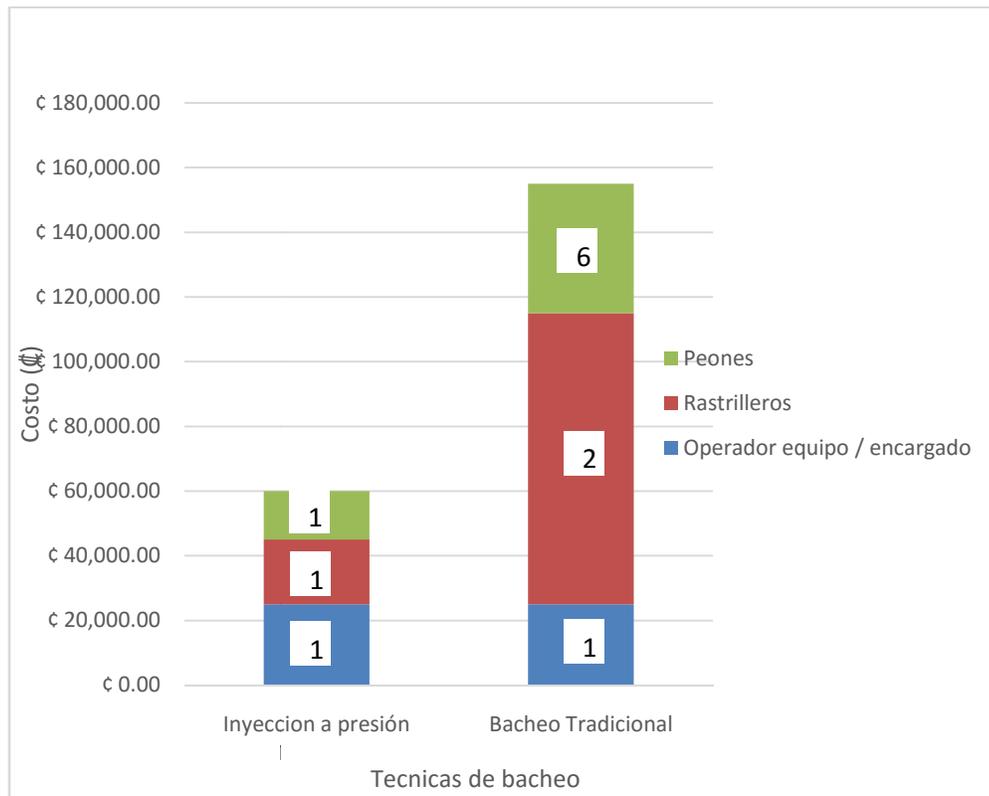


Figura 7: Comparación costo de personal para la realización de la labor. Fuente: Trabesa S.A.

En la Figura 7 se muestra una de las principales ventajas de la técnica de inyección a presión, la cual es la menor cantidad de personal necesario para desarrollar la técnica en comparación de la técnica tradicional; lo que, en materia de costos de personal, es traducido como una reducción de hasta el 60 % al utilizar la técnica de inyección a presión.

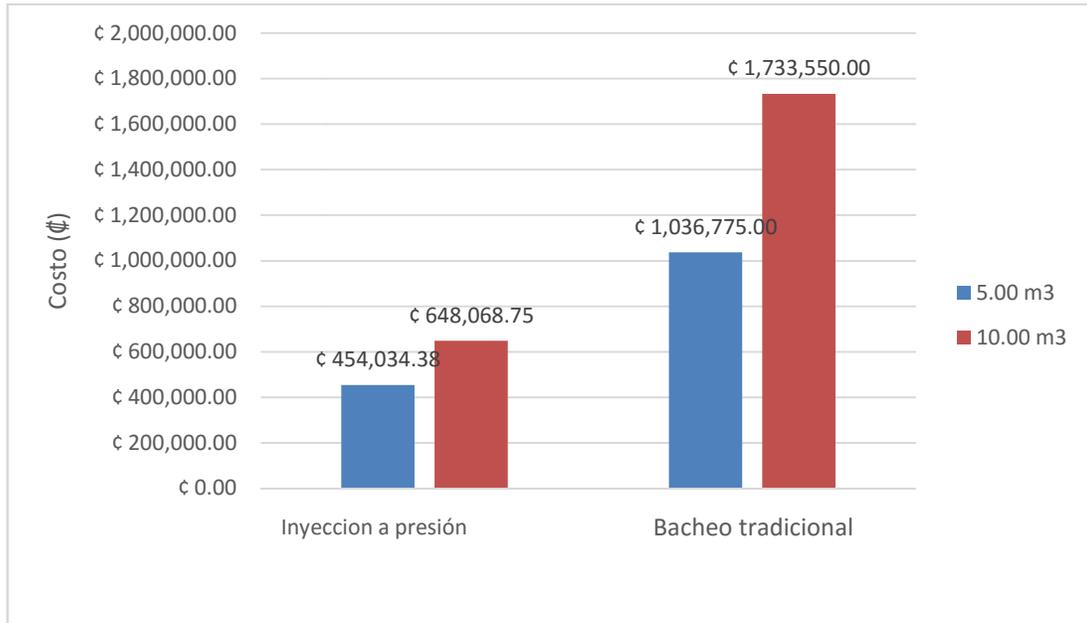


Figura 8: Comparación de costos de materiales y equipos. Fuente: Trabesa S.A.

Finalmente, en la Figura 8, se evidencia la reducción en costos de materiales y equipos que la técnica de inyección a presión tiene respecto al bacheo tradicional, ya que se ha llegado a tener una reducción de 37 %. Como fue mencionado anteriormente las dos técnicas evidencian reducción en costo a medida que aumenta la cantidad.



RESULTADOS DE LABORATORIO.

Los ensayos de laboratorio realizados a la mezcla y a especímenes compactados arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 6: Descripción de la mezcla analizada

Muestra	Descripción
M-0189-16	Mezcla en frío, TMN 9,5 mm y poca emulsión
M-0190-16	Mezcla en frío, TMN 9,5 mm y óptimo de emulsión
M-0191-16	Mezcla en frío, TMN 9,5 mm y exceso emulsión
M-0192-16	Mezcla en frío, TMN 12,5 mm y óptima emulsión

Tabla 7: Contenido de asfalto y agua en la mezcla asfáltica elaborada colocada en los tramos de prueba.

Ensayo de contenido de asfalto mediante solventes		
M-1089-16	Contenido de agua	0.20 ± 0.40
	Contenido de asfalto sobre la mezcla	3.80 ± 0.80
M-1090-16	Contenido de agua	0.12 ± 0.04
	Contenido de asfalto sobre la mezcla	7.80 ± 0.30
M-1091-16	Contenido de agua	0.60 ± 0.50
	Contenido de asfalto sobre la mezcla	11.00 ± 2.00
M-1092-16	Contenido de agua	2.00 ± 2.00
	Contenido de asfalto sobre la mezcla	5.40 ± 0.80



Posteriormente se prepararon especímenes de laboratorio con esta mezcla para corroborar la capacidad de compactación de este tipo de mezcla. La integridad de la mezcla se puede observar en la Figura 10.



Figura 9: Especímenes compactados en laboratorio con mezcla hecha por máquina

Después de un tiempo de curado a temperatura ambiente se pudo observar que perdió integridad la mezcla y se desmoronó, lo que indica que este tipo de técnica es efectiva siempre y cuando exista un confinamiento para ella.



Figura 10: Especímenes que han perdido integridad durante el proceso de curado a temperatura ambiente

Adicionalmente, se preparó mezcla producida en laboratorio con agregado de TMN 9,5 mm brindado por la empresa TRABESA (con número de muestra M-0766-16) y con agregado patrón de TMN 9,5 mm con número de muestra M-0904-16. Para esta mezcla se hicieron especímenes Marshall con las siguientes dosificaciones.

Tabla 8: Dosificaciones utilizadas para realizar mezcla de laboratorio.

Muestra	Contenido de emulsión
M-0766-16	6%
	9%
	12%
M-0904-16	4%
	5%
	6%

Como se puede observar en las siguientes figuras al utilizar el agregado patrón se obtuvo un mejor recubrimiento y cohesión de la mezcla a la hora de compactar los especímenes, lográndose estas propiedades con una menor cantidad de emulsión.



Figura 11: Especímenes hechos con mezcla realizada en laboratorio con agregado M-0852-16



Figura 12: Especímenes realizados con mezcla hecha en laboratorio con agregado M-0904-16

Como resultado de estas pruebas se realizaron los ensayos de desnudamiento y recubrimiento obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 9: Resultado de los ensayos de recubrimiento y desnudamiento.

Muestra	Descripción	Contenido De emulsión	Recubrimiento	Desnudamiento
			Porcentaje	Porcentaje
M-0766-16	Material de 9,5 mm de TMN aportado por TRABESA	6%	45	100
		9%	60	95
		12%	92	10
M-0904-16	Material "Agregado Patrón" de TMN 9,5 mm	4%	92	10
		5%	95	5
		6%	100	0



En base a los resultados obtenidos en los ensayos de desnudamiento y recubrimiento y tomando como parámetros de diseño un porcentaje mínimo de recubrimiento de 90 % y de desnudamiento 5%, se obtuvieron los siguientes contenidos óptimos de emulsión.

Tabla 10: Granulometría y porcentaje óptimo de emulsión.

Tamiz		Granulometría	
Pulg.	mm.	M-0766-16 Material TRABESA 9.5mm	M-0904-16 Material PATRÓN 9.5mm
2"	50	100.0	100.0
1 1/2"	37.5	100.0	100.0
1"	25	100.0	100.0
3/4"	19.5	100.0	100.0
1/2"	12.50	99.3	100.0
3/8"	9.50	84.6	100.0
Nº 4	4.75	28.3	72.0
Nº 8	2.36	3.9	5.5
Nº 16	1.18	2.8	3.1
Nº 30	0.60	2.5	2.0
Nº 50	0.30	2.2	1.5
Nº 100	0.15	1.9	1.2
Nº 200	0.075	1.5	0.1
Contenido óptimo de emulsión		12%	5%



Como parte del proyecto se construyeron baches de prueba en la pista del PaveLab, el equipo utilizado para realizarlos es el “Magnum Spray Injection Patcher” fabricado por la empresa Crafcoc y distribuido en Costa Rica por la empresa Trabesa S.A.. Estos baches de prueba se realizaron con agregado de 9,5 mm y 12,5 mm aportado por la empresa Trabesa S.A. y tres tasas de aplicación (alta, baja y óptima); estos contenidos de emulsión fueron determinados por la experiencia del operador. Realizando finalmente el proceso de compactación con una plancha vibratoria y añadiendo un material de secado.



Figura 13: Construcción de baches en pista de prueba del PaveLab

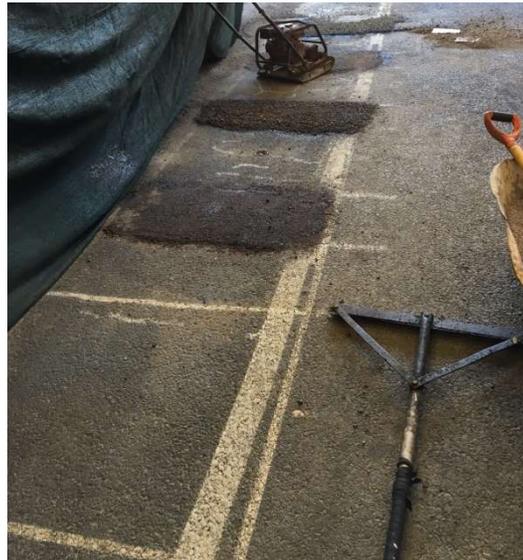


Figura 14: Compactación de baches



Figura 15: Baches realizados en la pista del PaveLab



Finalmente se analizó la deformación obtenida de los baches experimentales realizados en la pista de ensayo del HVS.



Figura 16: Evaluación de baches con HVS en la pista de pruebas del PaveLab



Figura 17: Baches evaluados en la pista experimental del HVS

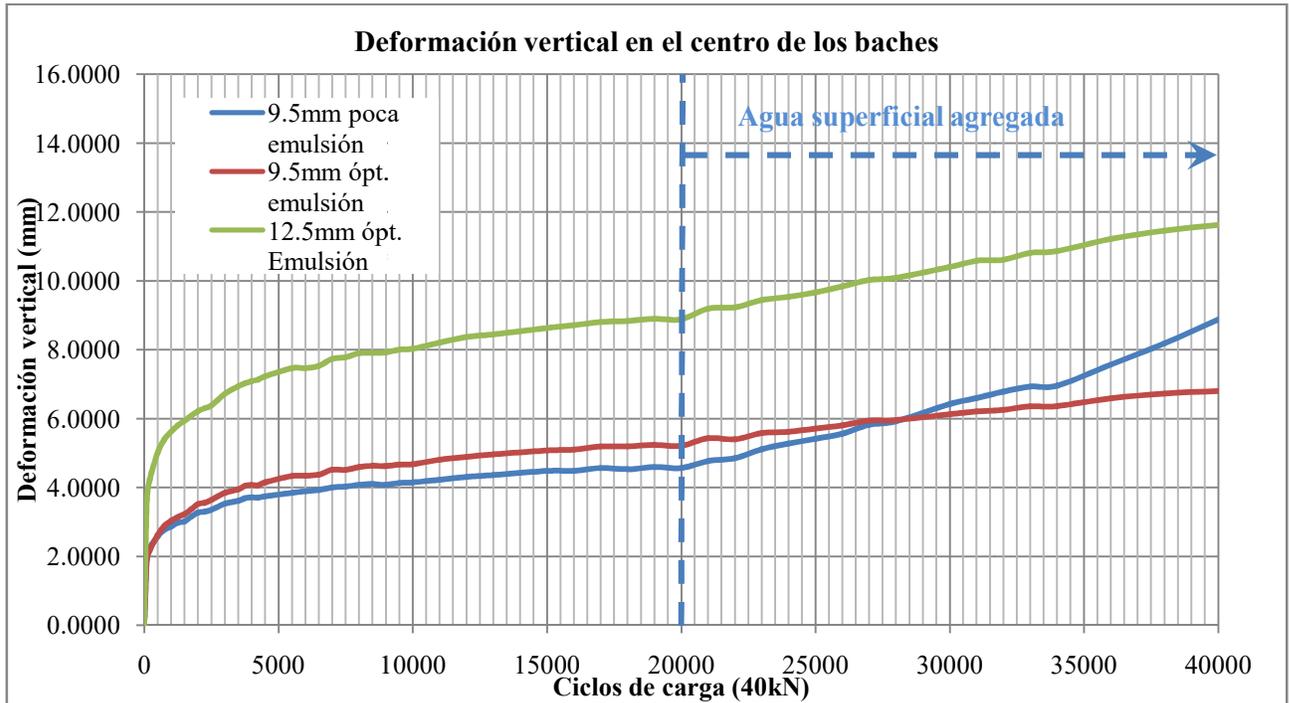


Figura 18: Resultados de deformación para los baches realizados en la pista experimental del HVS.

El desempeño mostrado en la pista experimental del HVS muestra que esta técnica es viable para hacer reparaciones temporales en pavimentos de mezcla asfáltica. Según se muestra en la Figura 18 el desempeño de la mezcla preparada con un contenido óptimo de emulsión y realizada con agregado de 9,5 mm de tamaño máximo nominal presenta el mejor comportamiento, inclusive cuando se simuló agua superficial y las pendientes de las curvas de deformación aumentan, la pendiente de deterioro de la mezcla óptima se mantiene constante por lo que evidencia una mayor durabilidad para ser colocada en campo.



METODOLOGIA DE DISEÑO

Después de realizadas las pruebas correspondientes se propone la siguiente metodología de diseño para este tipo de técnica:

1. Como primera etapa en el proceso de diseño se deben seleccionar los materiales a utilizar. Debido a que a la fecha de preparación del informe en Costa Rica el único proveedor de emulsión asfáltica es la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), la emulsión disponible y recomendada es la CRS-1 producida por RECOPE. No obstante, se deben realizar los ensayos de viscosidad Saybolt-Furol y residuo asfáltico por destilación, con el objetivo de asegurarse que la viscosidad de la emulsión no afectará el equipo de bombeo. La medición del residuo asfáltico es para evitar que si la producción de la emulsión varía, la cantidad de asfalto a colocar siempre sea la correcta. En la siguiente etapa se escoge el agregado pétreo idóneo, el cual debe presentar una granulometría abierta con un tamaño máximo nominal de 12,50 mm ó 9,50 mm, con muy poca presencia de finos que hagan que la emulsión se desestabilice y rompa de manera prematura.
2. Después de haber escogido los materiales a utilizar, se realizan las pruebas de desnudamiento y recubrimiento conforme al procedimiento establecido en el manual básico de emulsiones asfálticas MS N° 19. Con estas sencillas pruebas se asegura la compatibilidad entre agregado y emulsión, lo que permite establecer un desempeño aceptable de la mezcla. En esta parte del proceso de diseño se deben realizar 4 tasas de aplicación distintas, en donde la óptima sería la tasa menor con la que se pueda lograr un recubrimiento del 90% y un desnudamiento máximo de 5%. En caso que no se logre cumplir con este requisito habría que cambiar el tipo y la fuente de agregado.
3. Finalmente, luego de haber obtenido el contenido óptimo de emulsión asfáltica se debe calibrar la máquina mezcladora para que pueda proporcionar esta tasa de aplicación en un rango de tolerancia de $\pm 0,50$ % de la tasa óptima reportada.

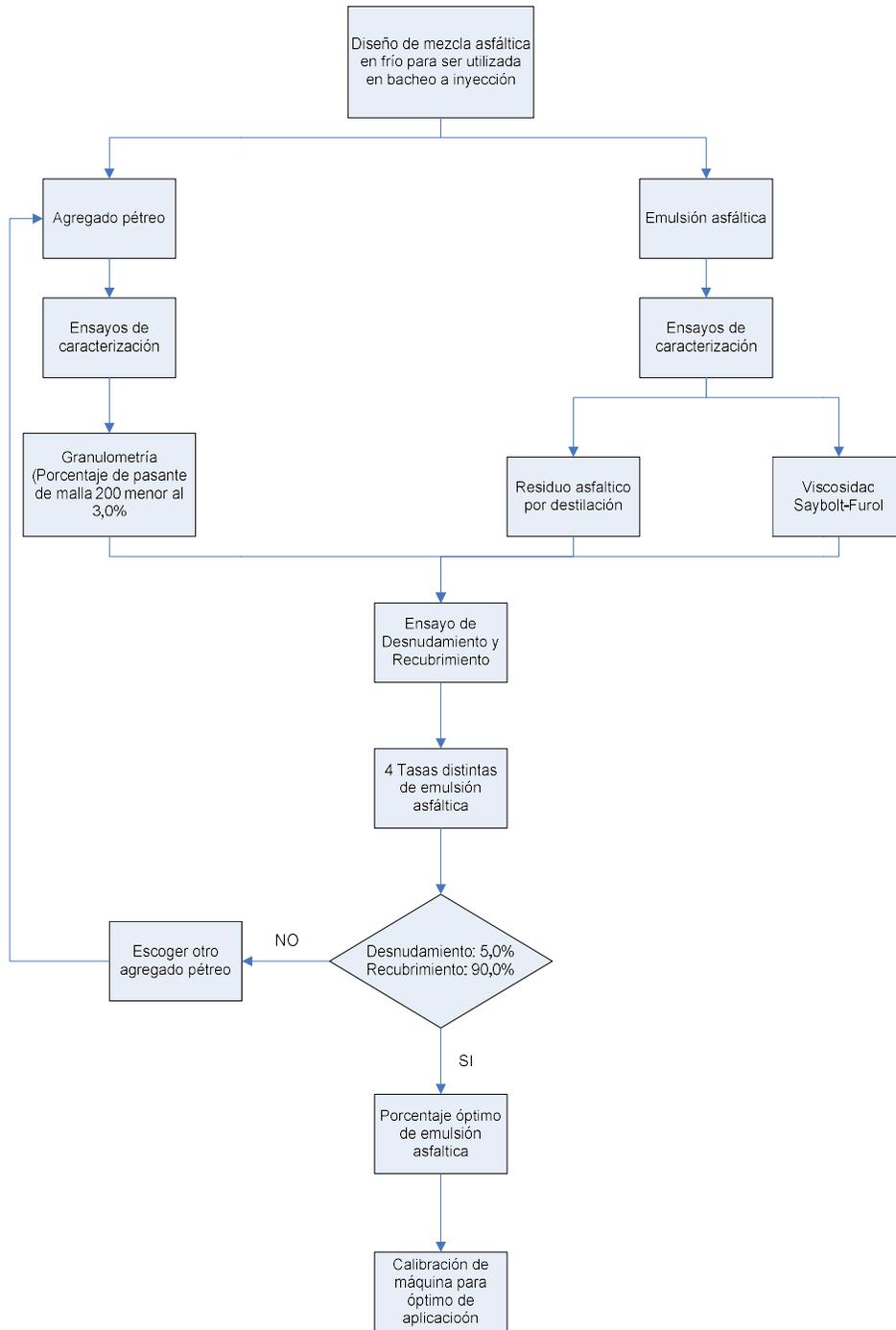


Figura 19: Metodología de diseño propuesta



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los datos obtenidos de las distintas pruebas realizadas y de las observaciones realizadas se concluyen los siguientes aspectos.

1. Para que la técnica funcione, al momento de aplicar la mezcla debe estar confinada por lo que a la hora de preparar la zona de bacheo se debería cortar los bordes irregulares y los que estén comprometidos.
2. Es necesario utilizar un agregado limpio y con características de durabilidad y desempeño similares a los utilizados para la elaboración de mezcla asfáltica en caliente, con esto se logra asegurar la durabilidad máxima de este tipo de técnica.
3. A pesar de la exigencia de una calidad superior de los materiales, debido a los bajos costos de colocación la operación aún sigue siendo una técnica económicamente competitiva en comparación de los otros métodos de bacheo.
4. El rendimiento de colocación de este tipo de técnica es alto en comparación con los métodos tradicionales de bacheo. Por lo que tomar en cuenta esta técnica es primordial en los planes de preservación y mantenimiento vial. Adicionalmente se logra un incremento en la seguridad de los trabajadores que colocan la mezcla debido al poco tiempo que están expuestos al tráfico en la carretera.
5. Según lo observado en el PaveLab, el desempeño de la mezcla es satisfactorio. No obstante, es importante considerar otros factores como la calidad de la base, ya que en todos los baches colocados se puede observar una integridad del 90% del bache.
6. Se recomienda utilizar un rango de emulsión entre 4,5% y 5% para agregados de calidad similar a la utilizada en la producción de mezcla asfáltica en caliente. En caso que esto no sea posible se deberán hacer pruebas de desnudamiento y recubrimiento para determinar el óptimo de emulsión a utilizar.
7. Para el control de calidad es necesario hacer pruebas de contenido asfáltico para garantizar que se esté colocando el contenido óptimo de emulsión asfáltica.
8. Es necesario realizar una inspección de la calidad de la base, ya que de estar comprometida esta estructura los baches realizados se verán afectados en su desempeño.



BIBLIOGRAFÍA

- Blaha, J. (1993). *Fabrication and Testing of Automated Pothole Patching Machine*. Strategic Highway Research Program, National Research Council.(No. SHRP-H-674).
- Box, G. y. (1984). *Time-Series Analysis: Forecasting and Control* (Segunda ed.). San Francisco: Holden Day.
- Camacho, E. (2012). Conceptualización y desarrollo del PaveLab. 3 (29).
- Camacho, E., & Leiva, F. (2014). Proceso Constructivo Pavelab.
- Crafco. (2016, Enero 1). *Crafco*. Retrieved from Crafco: <http://www.crafco.com/Equipment/Spray-Injection-Patchers>
- Delgado, J. S. (2011). *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01. 22: 047)*. Métodos y Materiales, 1(1).
- Galindo Burgos, Á. E. (2015). Formulación de una metodología para la correcta implementación de los procesos de inyección de mezcla asfáltica en la ciudad de bogotá según lineamientos pmi.
- Garnica Anguas, P., Flores Flores, M., Gómez López, J. A., & Delgado Alamilla , H. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. *Publicación técnica* , (267).
- Greene, W. H. (2003). *Econometric Analysis* (Quinta ed.). Nueva York: Prentice Hall.
- ISO 13473-2. (2002). *Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles. Part 2: Terminology and Basic Requirements Related to Pavement Texture Profile Analysis, International Organization for Standardization*. Geneva, Switzerland.
- Jiménez Acuña, M., Sibaja Obando, D., & Molina Zamora, D. (2008). *Evaluación de la factibilidad de la aplicación de mezclas en frío para superficies de rodamiento en costa rica*. San Jose: Unidad de Investigación (UI); Lanamme-UCR.
- Maupin Jr., G., & Payne, C. (2003). *Evaluation of Spray Injection Patching*. Virginia Transportation Research Council,Charlottesville, Virginia (Reporte VTRC 03-TAR11).
- Nazzal, M. D., Kim, S. S., & Abbas, A. R. (2014). Evaluation of Winter Pothole Patching Methods (No. FHWA/OH-2014/2).
- Reid, R. A. (1998). *Process Evaluation of Spray Injection Method for Asphalt Surface Repair* . South Dakota State University Department of Civil (Reporte No. SD97-06-F).
- Sayers, M. W. (1986). *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. Washington, D.C.: World Bank Technical Paper.



Sayers, M. W. (1995). On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile. In *Transportation Research Record 1501* (pp. 1–12). Washington, D.C.: Transportation Research Board.

Smith, K., & Romine, A. (1993). *Materials and procedure for sealing and filling cracks in asphalt-surfaced pavements*. Charlottesville, Virginia: Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC. Report SHRP-H-348.

Texas Department of Transportation. (n.d.). Retrieved Julio 01, 2015, from http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/nondestructive_evaluation_of_pavement_functional_properties.htm

Wikipedia. (2016, Diciembre 16). *Wikipedia*. Retrieved from Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pothole>

Wilson, T., & Romine, A. (1993). *Innovative materials development and testing. Volume 2: Pothole repair*. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC. Report SHRP-H-353.

Wilson, T., & Romine, A. (2001). *Materials and Procedures for Repair of Potholes in Asphalt-surfaced Pavements- Manual of Practice*). (No. FHWA-RD-99-168).

Yubo Zhao, J. G. (2013). IRI Estimation Using Probabilistic Analysis of Acoustic Measurements. *Materials Performance and Characterization* , 2 (1).