



UNR Universidad
Nacional de Rosario

MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA

TESIS

OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE UNA
CARRETERA

DIRECTOR DE TESIS

Dra. Ing. Marta Pagola

CODIRECTOR DE TESIS

Ing. Jorge Paramo

AUTOR

Ing. JACOBI Nahuel Federico

Rosario, Santa Fe, Argentina 01 de Septiembre de 2025

RESUMEN

La presente tesis aborda la optimización de la gestión del mantenimiento vial en carreteras a través de un análisis exhaustivo de las causas de las fallas prematuras en los trabajos de bacheo de pavimentos asfálticos. El estudio se centra en un tramo específico de 10 km de la RP6 de la Provincia de Córdoba, donde se evaluaron las condiciones del pavimento, se registraron los baches existentes y se realizaron ensayos complementarios como calados y mediciones de Densidad de Cono de Penetración (DCP).

Los hallazgos revelaron que las fallas de los baches son multifactoriales, atribuyéndose a deficiencias en la ejecución, como la falta de compactación, el uso de materiales inadecuados, y problemas con los Pliegos de Especificaciones Técnicas (PETP) que no se ajustan a la realidad de la obra. Se detectaron problemas en la mezcla asfáltica, como una granulometría inadecuada debido a balanzas descalibradas en la planta, lo que dificultaba la compactación en obra. A partir de estos problemas, se elaboró una Guía de buenas prácticas y aspectos a controlar para lograr buenos resultados en tareas de bacheo de pavimentos asfálticos, que se adjunta en el Anexo 4.

El análisis técnico, apoyado en la herramienta de gestión HDM-4, demostró que en un pavimento con un nivel de deterioro avanzado, la estrategia de bacheo continuo es ineficiente y además es comparable a no realizar ninguna intervención, ya que no detiene la degradación del pavimento. En contraste, los resultados confirman que el repavimentado de la capa de rodamiento es una estrategia mucho más eficiente a largo plazo, ya que reduce significativamente la necesidad de reparaciones frecuentes, disminuye los costos de operación vehicular para los usuarios y mejora la seguridad vial y el confort.

En conclusión, este trabajo subraya que el bacheo debe considerarse como una solución de emergencia y que, para una gestión efectiva, es imperativo optar por estrategias de rehabilitación integral en carreteras con deterioro estructural avanzado. Esta aproximación no solo es más rentable, sino que también garantiza una infraestructura de mayor calidad y seguridad.

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo de tesis representa no solo un logro académico, sino también el reflejo de un camino recorrido con apoyo, dedicación y paciencia de personas y entidades fundamentales en mi vida. A todos ellos, mi más sincero y profundo agradecimiento.

De manera muy especial, dedico un agradecimiento que trasciende estas líneas, a mi esposa Florencia. Desde el día en que nuestros caminos se cruzaron, su apoyo ha sido el pilar de cada uno de mis proyectos. Ella me acompañó en la recta final de mi tesis de ingeniería y ha sido mi mayor fortaleza desde que inicié la maestría, coincidiendo con el nacimiento de nuestro primer hijo, Ottavio. Sus primeros años, mientras yo me esforzaba por avanzar en mis estudios compaginándolos con el trabajo, implicaron noches de estudio lejos de ellos. Hoy, con más de un año trabajando fuera de nuestra ciudad y continuando con mis estudios, su capacidad de hacerse cargo de nuestra familia y de brindarme un aguante incondicional es la razón fundamental por la que puedo dedicarme a mi profesión y a mi desarrollo académico. Simplemente, los amo. Con inmensa alegría, celebro también que pronto seremos cuatro, con la llegada de nuestra primera niña, sumando aún más luz a nuestras vidas.

En segundo lugar, quiero expresar mi gratitud a mis directores de tesis, la Dra. Ing. Marta Pagola y el Ing. Jorge Paramo. Su guía, paciencia y constante disposición fueron importantes al acompañarme con dedicación a lo largo de todo este proceso en un tema que se adaptó a mis circunstancias laborales.

A mis queridos padres, mi eterna gratitud por haberme brindado la oportunidad de estudiar Ingeniería. Su esfuerzo y sacrificio al permitirme dejar mi ciudad natal, Paraná, para formarme en Rosario, no solo me abrieron las puertas a una carrera que amo, sino que también me dieron la posibilidad de conocer a Florencia y construir la hermosa familia que hoy tenemos.

Extiendo mi agradecimiento a las empresas donde he tenido la oportunidad de trabajar durante este tiempo, así como a los superiores que me han acompañado. Mi reconocimiento se debe a la valiosa oportunidad de desarrollo profesional que me han brindado, lo cual ha enriquecido mi formación y ha sido un pilar fundamental en mi crecimiento.

Finalmente, a los amigos que han estado presentes con su apoyo incondicional.

A todos, infinitas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Índice de contenido	3
Índice de figuras.....	4
Índice de tablas.....	6
CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	7
1.1 Introducción	7
1.2 Objetivo	12
CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO	12
2.1 ¿Qué es un BACHE en pavimento flexible?	13
2.2 Bacheo	17
2.3 Bacheo Superficial	17
2.4 Bacheo Profundo.....	18
2.5 Procedimiento de Bacheo	19
CAPÍTULO 3 – REGISTRO DE ASPECTOS A EVALUAR.....	28
CAPÍTULO 4 – INTRODUCCIÓN SOFTWARE HDM-4.....	28
CAPÍTULO 5 – TRAMO DE ESTUDIO	31
5.1 Descripción del estado del tramo	31
5.2.1 Fresado	35
5.2.2 Limpieza	36
5.2.3 Riego de Liga.....	36
5.2.4 Colocación mezcla asfáltica	37
5.2.5 Compactación	39
5.3 Analisis de fallas y acciones para resolver.....	41
CAPÍTULO 6 – EVALUACIÓN TECNICO-ECONÓMICA DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO SOFTWARE HDM-4: BACHEO VS REPAVIMENTADO.....	46
CAPÍTULO 7 – GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN LAS TAREAS DE BACHEO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	51
CAPÍTULO 8 – CONCLUSIONES.....	52
CAPÍTULO 9 – BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	56
Anexo 1 – Relevamiento de baches delimitados.....	56
Anexo 2 – Datos cargados en HDM4	68
Anexo 3 – Capturas de pantalla HDM4.....	69
Anexo 4 – Guía de buenas prácticas y aspectos a controlar para lograr buenos resultados en tareas de bacheo de pavimentos asfálticos	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Componentes costos de operación de un vehículo. (Díaz, 2018)	8
Figura 2.	Gráfico de regularidad media (HDM-4) del tramo según las alternativas expuestas. (Díaz, 2018).....	9
Figura 3.	Costos de operación de vehículos, anuales acumulados según cada alternativa de conservación del camino. (Díaz, 2018).....	11
Figura 4.	Ahuellamiento y Bache.....	14
Figura 5.	Desprendimiento.....	14
Figura 6.	Bache sobre bache con desprendimiento.....	15
Figura 7.	Bache con desprendimiento	15
Figura 8.	Bache sobre bache con desprendimiento.....	16
Figura 9.	Bache sobre bache con desprendimiento.....	16
Figura 10.	Bache sobre bache con desprendimiento.....	17
Figura 11.	Esquema de bacheo superficial (LanammeUCR, 2015).....	18
Figura 12.	Esquema bacheo profundo (LanammeUCR, 2015)	18
Figura 13.	Fotografía de diferentes calados de pavimento flexible.....	18
Figura 14.	Calados para ensayos DCP y Calicata	19
Figura 15.	Ejemplo de resultado de ensayo DCP	21
Figura 16.	Delimitación de bache (J. Páramo, H. Poncino, F. Martínez, A. Pugliesi, J. P. Raffaelli, 2021)	22
Figura 17.	Aserrado de pavimento para delimitación de zona de bache	22
Figura 18.	Aserrado de bache - Paredes con superficies plana y vertical	22
Figura 19.	Fresado de pavimento con fresadora de 1 metro de ancho de tambor	23
Figura 20.	Fresado de pavimento con minicargadora con implemento de fresa de 40 cm de ancho de tambor	24
Figura 21.	Vista lateral de la caja de un bache mal preparado versus uno bien preparado.24	
Figura 22.	Limpieza de fondo de bache con rifle de aire comprimido.....	24
Figura 23.	Riego de liga con lanza de camión regador.....	25
Figura 24.	Terminadora de asfalto trabajando en un bache de 1 metro.....	26
Figura 25.	Compactador liso autopulsado.....	27
Figura 26.	Esquema de bacheo profundo escalonado (J. Páramo, H. Poncino, F. Martínez, A. Pugliesi, J. P. Raffaelli, 2021).....	28
Figura 27.	HMD-4 Interacción entre los modelos de deterioro (Dra. Ing. Pagola & Dr. Ing. Giovanon, 2021)	31
Figura 28.	Mapa vial de la Provincia de Córdoba con zoom sobre tramo de estudio (Catastro Córdoba Ministerio de Economía y Gestión Pública, 2014)	32

Figura 29.	Paquete estructural.....	33
Figura 30.	Bache delimitado sobre huella externa derecha	33
Figura 31.	Bache delimitado sobre huella externa izquierda.....	34
Figura 32.	Bache delimitado sobre huella externa izquierda.....	34
Figura 33.	Fresado con maquina fresadora de 1 metro de ancho de tambor	35
Figura 34.	Limpieza de superficie con compresor de tiro y lanza, palas y cepillos.	36
Figura 35.	Riego de liga sobre base de concreto.....	37
Figura 36.	Batea descargando mezcla asfáltica en tolva de terminadora	37
Figura 37.	Terminadora de asfalto avanzando con la colocación y levantando con sus neumáticos el riego de liga	37
Figura 38.	Terminadora de asfalto posicionándose y riego de liga levantado por neumáticos de bateas	38
Figura 39.	Rastrillado de mezcla y juntas.....	39
Figura 40.	Rodillo neumático y aplanadora realizando trabajo de compactación final.....	39
Figura 41.	Calados de pavimento flexible en RP6	41
Figura 42.	Mezcla asfáltica colocada con terminadora Amman aún no compactada.	42
Figura 43.	Temperatura de mezcla asfáltica en obra antes de ser corregido el causal.	43
Figura 44.	Temperatura de mezcla en obra posterior a la corrección.....	43
Figura 45.	Muestra de mezcla asfáltica con presencia de áridos sin ligante	44
Figura 46.	Riego de liga siendo levantado con la mano de un operario para mostrar adherencia	45
Figura 47.	Diagrama conceptual Causas de evolución de deterioros	47
Figura 48.	HDM 4 – Cuadro comparativo de % Fisuras.....	49
Figura 49.	HDM4 – Cuadro comparativo Nro de Baches / km	50
Figura 50.	HDM4 – Cuadro comparativo Rugosidad IRI.....	50
Figuras de Anexo 1		
Figura 51.	Creación de nuevo tramo	69
Figura 52.	Datos globales del nuevo Tramo Ruta 6.....	69
Figura 53.	Datos definición de Tramo Ruta 6.....	70
Figura 54.	Datos geométricos de Tramo Ruta 6.....	70
Figura 55.	Datos del pavimento del Tramo Ruta 6.....	71
Figura 56.	Datos de estado del Tramo Ruta 6	71
Figura 57.	Calibración de Tramo Ruta 6.....	72
Figura 58.	Creando nuevo proyecto “Proyecto Tesis”	72
Figura 59.	Definiciones generales Proyecto	72

Figura 60.	Definición de vehículos de Proyecto	73
Figura 61.	Definición de composición del tránsito del proyecto	73
Figura 62.	Definición de estándar de conservación como alternativa del proyecto	74
Figura 63.	Definiciones generales de alternativa de conservación.....	74
Figura 64.	Definiciones de criterios de alternativa de conservación	75
Figura 65.	Definición de Estándar de Mejora como alternativa del proyecto	75

Figuras de Anexo 4

Figura 66.	Evolución de un bache (LanammeUCR, Guía para inspectores para bacheo formal con mezcla asfáltica en caliente. Segunda edición., 2021)	77
Figura 67.	Mecanismos de infiltración de humedad (Blog: Pavimentos, s.f.).....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalle cómputo de baches realizados dentro de tramo evaluado	67
--	----

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El transporte terrestre, tanto de personas (en vehículos particulares u ómnibus) como de cargas (para consumo interno o exportación), requiere en cualquier país, incluida la República Argentina, de una red vial eficiente. Esta red, compuesta por carreteras troncales, secundarias y terciarias, debe interconectar todas las ciudades, sin importar su densidad poblacional. Esta necesidad ha impulsado a los gobiernos desde los inicios de la civilización a invertir en su patrimonio vial, construyendo y mejorando caminos de calzada natural. Dicha inversión busca acompañar las demandas de conexión de las poblaciones, promoviendo el desarrollo industrial del país y elevando la calidad de vida de sus habitantes.

Una vez finalizadas las obras de infraestructura vial, la nueva ruta es entregada al Estado para su habilitación al tránsito. A partir de este momento, concluye la fase constructiva y se inicia la fase de servicio, durante la cual el camino pavimentado o mejorado estará expuesto a las solicitaciones del tránsito y a los efectos climáticos. Esta exposición genera la necesidad de realizar actividades de conservación y explotación que aseguren una adecuada calidad de servicio a lo largo de su vida útil. Estas tareas se definirán no solo en función del paquete estructural contemplado para cada caso, sino también considerando los deterioros existentes en el pavimento y el nivel de calidad deseado a alcanzar y mantener.

Explotación: Se refiere a las tareas de información al usuario y a los servicios que la ruta le provee, tales como zonas de abastecimiento de combustible, áreas de descanso y/o alimentación, atención en materia de Seguridad Vial y asistencia mecánica.

Conservación: Los caminos son estructuras compuestas por capas de materiales seleccionados y tratados para actuar de forma conjunta, soportando cargas de tránsito y la incidencia climática. Sin embargo, como toda estructura, requieren un mantenimiento preventivo y/o correctivo acorde a las circunstancias para alcanzar la vida útil planificada. Estas tareas de mantenimiento se engloban bajo el término "conservación" e incluyen: el mantenimiento de calzadas, banquetas y colectoras (pavimentadas o de suelo/ripió); demarcación horizontal; señalización vertical (lateral, aérea y balizas); sistemas de iluminación y contención lateral; estructuras de hormigón (puentes viales, peatonales y alcantarillas); sistemas de desagüe y drenaje; control de la altura del césped dentro de la zona de camino; y corrección de erosiones en terraplenes, entre otras.

Las fallas que pueden presentarse en los pavimentos durante su vida en servicio pueden deberse a que ya se está alcanzando la vida útil para la cual fue diseñado, a deficiencias en el proceso de construcción y/o a la calidad de los materiales utilizados. Entre las fallas más comunes pueden citarse: pérdida del perfil transversal (ahuellamiento y hundimiento), pérdida del perfil longitudinal (rugosidad), fisuras, peladuras, baches y pérdida de adherencia neumático-calzada.

El estado de la superficie del pavimento se valora mediante indicadores específicos, que se obtienen a partir de mediciones con equipos especializados y/o con relevamientos visuales realizados por personal experto. Las magnitudes de las fallas del pavimento se ven reflejadas directamente en estos indicadores.

Un buen estado del pavimento, que es el resultado de una estrategia de conservación efectiva, influye directamente en la seguridad vial, el confort y la economía de los usuarios. Cualquier tipo de defecto en el pavimento afecta al vehículo en tránsito, incrementando el tiempo de viaje, el consumo de combustible y el desgaste de neumáticos y componentes mecánicos, tal como se ilustra en el siguiente esquema (Figura 1) relacionado con los costos de operación de los vehículos.

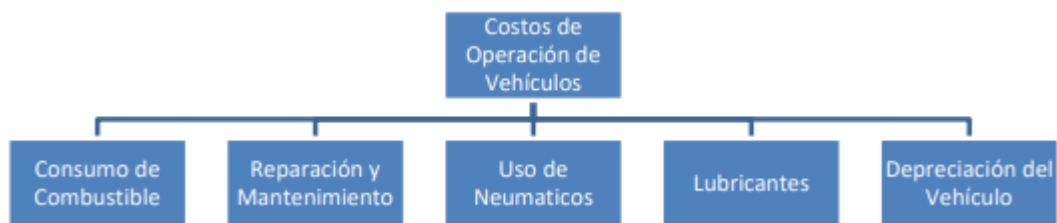


Figura 1. Componentes costos de operación de un vehículo. (Diaz, 2018)

Por este motivo, es necesario que se establezca una estrategia de conservación para cada traza que determine criterios sobre si realizar mantenimiento correctivo y preventivo, o si ya es hora de una rehabilitación integral del camino, de acuerdo a las decisiones políticas presupuestarias y en función de lo que se quiere como calidad de servicio. Esto claramente está sujeto a cada gobierno de cada uno de los países ya que la incidencia que tiene el costo de mantenimiento de caminos en el presupuesto de un país es considerable, pero si se hace correctamente, al estado le conviene ya que los usuarios tendrán menores costos de transporte y el estado ahorrará ya que la vida útil del pavimento será mayor.

A continuación, para ejemplificar la relación directa entre el estado de una carretera y los costos de operación vehicular de los usuarios, y considerando el índice de rugosidad (IRI) como un

indicador clave de la condición funcional del pavimento de un determinado camino (Díaz, 2018), se presenta la Figura 2. Esta figura ilustra la variación de los costos de los usuarios a lo largo de los años en función de la evolución del IRI bajo tres estrategias de gestión diferenciadas.

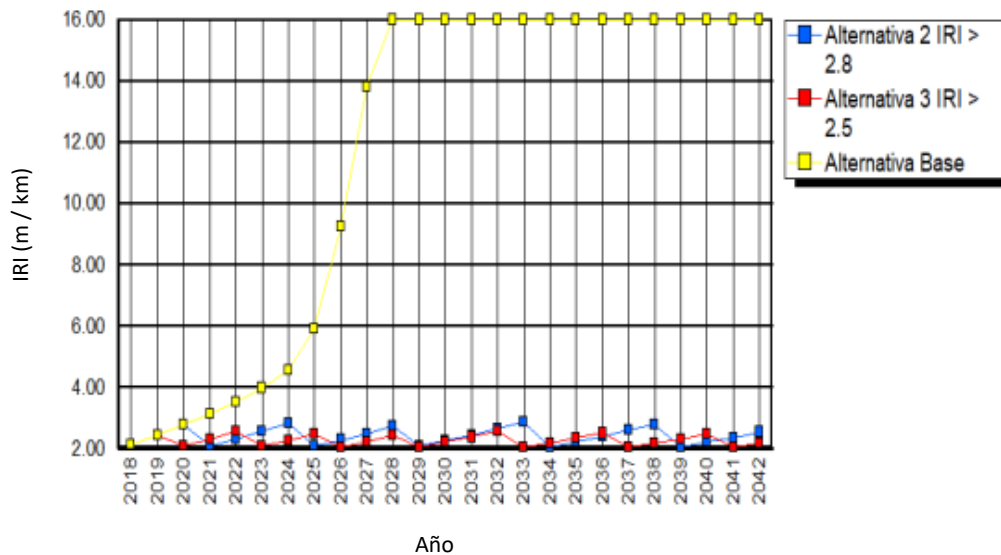


Figura 2. Gráfico de regularidad media (HDM-4) del tramo según las alternativas expuestas. (Díaz, 2018)

La Alternativa Base representa un escenario donde no se implementa un plan de mantenimiento activo para controlar la rugosidad, permitiendo que el IRI alcance valores máximos de hasta 16 m/km. En contraste, la Alternativa 2 establece un límite de rugosidad máxima de 2.8 m/km, asociado a un plan de repavimentación que contempla una intervención de fresado y reposición de 30 mm de carpeta asfáltica. Finalmente, la Alternativa 3 es aún más restrictiva, admitiendo una rugosidad máxima de 2.5 m/km, con el mismo tipo de intervención de repavimentación que la Alternativa 2. Tal como puede observarse en el gráfico anterior, los límites de los niveles de rugosidad para cada alternativa siguen el patrón definido de acuerdo a las intervenciones de mantenimiento planificadas.

Tal como se aprecia en los gráficos, los límites de los niveles de rugosidad para cada alternativa siguen el patrón definido por las intervenciones de mantenimiento planificadas. En la Figura 2, se aprecia cómo el IRI de la Alternativa Base crece de forma considerablemente más rápida, reflejando el deterioro progresivo sin control. Las Alternativas 2 y 3, por su parte, logran mantener la rugosidad en niveles bajos y estables, indicando la eficacia de las intervenciones programadas.

En la Figura 3, que muestra los costos de operación acumulados de los vehículos, se observa que en la Alternativa Base, estos costos crecen de forma considerable, copiando la curva de incremento

del IRI. Sin embargo, es importante destacar que, tanto antes como después de la fase de deterioro acelerado, la tendencia de crecimiento de los costos en la Alternativa Base sigue un patrón similar al de las otras dos alternativas. Esto se debe a que, en la Alternativa Base, el factor de incidencia fundamental en el aumento desproporcionado de costos es el descontrol del IRI, mientras que en las Alternativas 2 y 3, el factor principal del crecimiento de los costos acumulados (aunque a un ritmo mucho menor) es el incremento en la cantidad de vehículos que circulan por año (2%), es decir, el valor del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA).

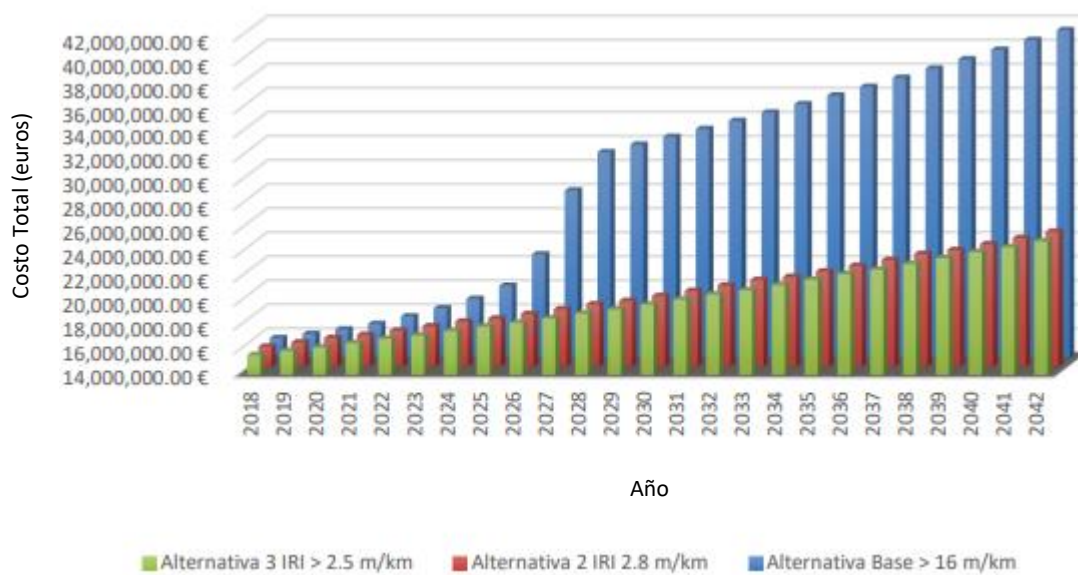


Figura 3. Costos de operación de vehículos, anuales acumulados según cada alternativa de conservación del camino. (Díaz, 2018)

Se desprende de lo anterior que la gestión de una carretera no concluye con su proyecto y construcción. Por el contrario, la fase más crítica de la gestión comienza precisamente después, involucrando tareas periódicas de auscultación programada. Estas actividades son esenciales para obtener un conocimiento del estado actual de las fallas del pavimento, lo que permite determinar las acciones preventivas y/o correctivas más adecuadas. Posteriormente, es fundamental realizar un seguimiento continuo del comportamiento de las reparaciones ejecutadas mediante análisis críticos, con el fin de verificar si las tareas de mantenimiento cumplieron con el objetivo de calidad planteado o si requieren ajustes para alcanzar la meta de calidad de servicio esperada.

En la actualidad, con el avance de los sistemas de información, la ingeniería de pavimentos no está exenta de estas herramientas. Se cuenta con diversos sistemas para el análisis de factibilidad y necesidad de obras, como el programa HDM-4 (entre otros), que, al procesar datos de entrada

(tanto mediciones de campo como las estrategias contempladas), brinda un escenario probable que asiste en la toma de decisiones estratégicas.

1.2 OBJETIVO

Considerando que el mantenimiento vial tiene una alta incidencia en el presupuesto de los estados gubernamentales, y que los trabajos deficientemente ejecutados repercuten directamente en los costos asociados, en el confort de los usuarios y en la seguridad vial, el objetivo principal de la presente tesis es doble:

Evaluar la calidad del proceso de bacheo: Determinar si el proceso de bacheo que actualmente se realiza en una ruta no concesionada de Argentina, está siendo ejecutado correctamente. En caso de detectar fallas prematuras en los baches intervenidos sobre pavimento bituminoso en un tiempo conocido, se buscará saber si estas son producto de malas prácticas en las tareas de bacheo o si pueden estar relacionadas con otras variables influyentes. Para este análisis, se registrarán determinadas variables observables en los baches intervenidos, las cuales se detallan en el Capítulo 3.

Análisis técnico de estrategias de intervención: Dado que el mantenimiento de una carretera impacta significativamente en el presupuesto gubernamental y en los costos de los usuarios, se llevará a cabo una modelización utilizando el software HDM-4. Esta modelización permitirá determinar la conveniencia de continuar con las prácticas de bacheo en estudio o si, por el contrario, es conveniente la intervención mediante una obra de rehabilitación integral de la calzada.

CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO

Numerosas evidencias existen acerca de que los pavimentos presentan sus distintos tipos de fallas a lo largo de su vida en servicio, ya sea porque comienza a finalizar su vida útil para la cual fue diseñado o por fallas en el proceso de construcción del mismo. Un tipo de falla es representada por baches en la superficie, que se refiere a una pérdida localizada de las propiedades mecánicas y/o funcionales de un pavimento. Estos baches comienzan siendo fisuras individuales que convierten al pavimento en una superficie permeable por la cual ingresa el agua de lluvia, introduciendo humedad a las bases y subbases. Esta humedad, en conjunto con la aplicación repetida de las cargas del tránsito, debilita la base con la acción de bombeo, alterando la

estabilidad y resistencia y generando lo que se denomina bache profundo. Esto significa que no solo la carpeta de asfalto se encuentra averiada, sino que el paquete estructural ha perdido la resistencia para la que fue diseñado.

Un buen estado del pavimento influye directamente en la seguridad vial, el confort y en la economía de los usuarios, ya que cualquier tipo de defecto presente en el pavimento afecta al vehículo que está transitando, ya sea por mayor gasto de combustible como por un mayor desgaste de los neumáticos y/o partes de la mecánica del vehículo. Por este motivo, es clave la tarea del mantenimiento vial para conservar a lo largo del tiempo la cinta asfáltica en buen estado de rodadura.

2.1 ¿QUÉ ES UN BACHE EN PAVIMENTO FLEXIBLE?

Un bache puede definirse como la pérdida localizada de las propiedades mecánicas y funcionales de un pavimento. Esto suele deberse a fallas constructivas que quizás no fueron advertidas durante el proceso de construcción (como la falta de densidad en las bases, mezcla asfáltica sin la temperatura adecuada para su colocación, espesor heterogéneo, segregación de la mezcla o errores en su elaboración, entre otros) y, además, a la fatiga o envejecimiento del propio material. En todos los casos, la falla se evidencia inicialmente con la aparición de fisuras y/o ahuellamiento, por lo que pueden detectarse mediante una auscultación visual. Las fisuras suelen ser producidas por la expansión y contracción térmica del asfalto, por las cargas del tránsito, la fatiga en los materiales y/o deterioros por humedad, entre algunas causas. La base de un pavimento también puede verse afectada por humedad producto del ascenso capilar del agua subterránea (J. Páramo, H. Poncino, F. Martinez, A. Pugliesi, J. P. Raffaelli, 2021). Posteriormente, si el pavimento no es tratado en el momento adecuado, el bache evoluciona hacia un deterioro de las capas inferiores (conocido como bache profundo). Este avance se debe a la incidencia del tránsito (por la acción de bombeo) y a la humedad que ingresa a través de las fisuras (que permiten la permeabilidad), lo que termina modificando la composición de las bases y subbases y generando un efecto de bombeo con cada paso del tránsito, contribuyendo así al avance del deterioro e incluso a desprendimientos del concreto asfáltico.

A continuación, se muestran imágenes (Figuras 4 a 10) de deterioros del pavimento donde se han producido baches. Incluso en sectores donde se ha realizado bacheo, se observan estas fallas, lo que sugiere una posible mala ejecución del proceso. En otros casos, el estado del pavimento

evidencia un envejecimiento tal que un proceso de bacheo resulta insuficiente, requiriéndose una rehabilitación integral.



Figura 4. Ahuellamiento y Bache



Figura 5. Desprendimiento



Figura 6. Bache sobre bache con desprendimiento



Figura 7. Bache con desprendimiento



Figura 8. Bache sobre bache con desprendimiento



Figura 9. Bache sobre bache con desprendimiento



Figura 10. Bache sobre bache con desprendimiento

2.2 BACHEO

El bacheo es una reparación menor y localizada del pavimento bituminoso, cuyo propósito es garantizar la uniformidad de la superficie de rodamiento y reparar los daños puntuales que se presentan en la carretera. Estos daños ponen en riesgo la integridad tanto de los usuarios y sus vehículos como de la estructura vial en general (LanammeUCR, 2015). De acuerdo con la característica del bache y el tiempo transcurrido desde su aparición hasta su intervención, este puede ser superficial (afectando solo la capa de concreto asfáltico) o profundo (si también se vieron afectadas las bases y subbases).

2.3 BACHEO SUPERFICIAL

El bacheo superficial, según lo definido anteriormente, consiste en reparar con mezcla asfáltica las desintegraciones (huecos), deformaciones o agrietamientos severos de la superficie de rodadura que comprenden exclusivamente la capa de concreto asfáltico y se localizan en sitios puntuales. Esto se debe a que, si la falla se extiende sobre gran parte de la superficie del pavimento, se requiere otro tipo de intervención que no es un bacheo (LanammeUCR, 2015). En la Figura 11 se muestra un esquema de bacheo superficial.

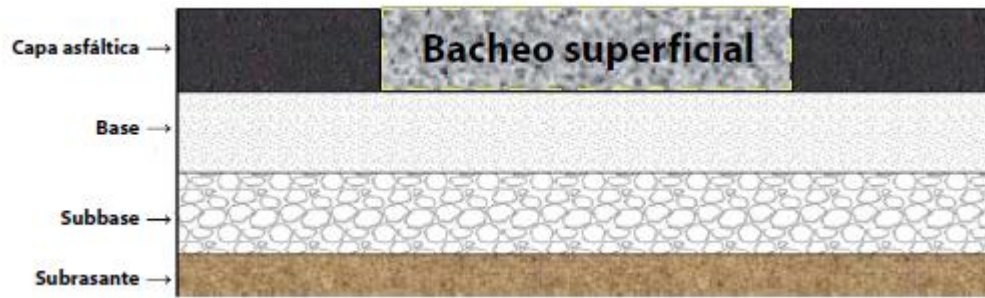


Figura 11. Esquema de bacheo superficial (LanammeUCR, 2015)

2.4 BACHEO PROFUNDO

El bacheo profundo, a diferencia del superficial y como su nombre indica (y puede observarse en la Figura 12), consiste en reparar también las capas que actúan como soporte de la capa de rodamiento. Esto incluye la base, subbase y subrasante, las cuales, junto a la capa de rodamiento, forman el paquete estructural diseñado para un determinado contexto de cargas de tránsito, clima, entre otros.



Figura 12. Esquema bacheo profundo (LanammeUCR, 2015)

Este tipo de trabajo suele ser necesario cuando ha transcurrido cierto tiempo sin reparar tras el inicio de la falla de la carpeta asfáltica, permitiendo el ingreso de humedad proveniente de lluvias hacia las bases, o bien cuando hay ascenso de humedad por otras razones que deben estudiarse en cada caso.

2.5 PROCEDIMIENTO DE BACHEO

Antes de iniciar cualquier bacheo, deben implementarse las medidas de Seguridad Vial correspondientes para el desvío, con el fin de resguardar tanto al personal que realizará el trabajo como a los usuarios de la traza. Vialidad Nacional tiene a disposición manuales con esquemas de desvíos adecuados para cada caso.

Previo al inicio de las tareas de bacheo, debe identificarse la zona que requiere ser intervenida. Para ello, no basta con una auscultación visual, sino que se requiere una inspección de las bases mediante ensayos DCP (Penetrómetro Dinámico de Cono) y/o calicatas, según corresponda. Esto permite estudiar si por debajo del asfalto el bache tiene una mayor superficie o si la profundidad dañada es superior al espesor de la carpeta asfáltica. En este último caso, es necesario definir qué bases y subbases deben ser saneadas. Siempre es preferible minimizar o evitar la necesidad de una calicata, ya que es el ensayo más invasivo que se puede realizar sobre un pavimento; en su lugar, es recomendable incrementar con algún criterio la cantidad y ubicación de los ensayos DCP.

Al realizar el calado para luego proceder con el DCP, se aprovecha el ejemplar extraído (Figuras 13 y 14) para analizar visualmente la composición de la mezcla de cada capa, los espesores de las capas de concreto asfáltico, así como la unión entre las mismas. Un defecto habitual es la falta de adherencia entre capas por escasez o ausencia de riego de liga. También se puede observar la presencia de fisuras en algunas de las capas para estudiar su comportamiento y analizar la densidad, con el fin de evaluar la compactación que tuvo la mezcla en el momento de ser trabajada.



Figura 13. Fotografía de diferentes calados de pavimento flexible



Figura 14. Calados para ensayos DCP y Calicata

Luego a partir del ensayo DCP realizado en el hueco, se obtiene información sobre el espesor y la rigidez (resistencia a la penetración) de cada capa situada bajo el concreto asfáltico.

A continuación, se muestra un informe (Figura 15) de un ensayo DCP realizado en la Autopista Rosario Córdoba progresiva 590,000.

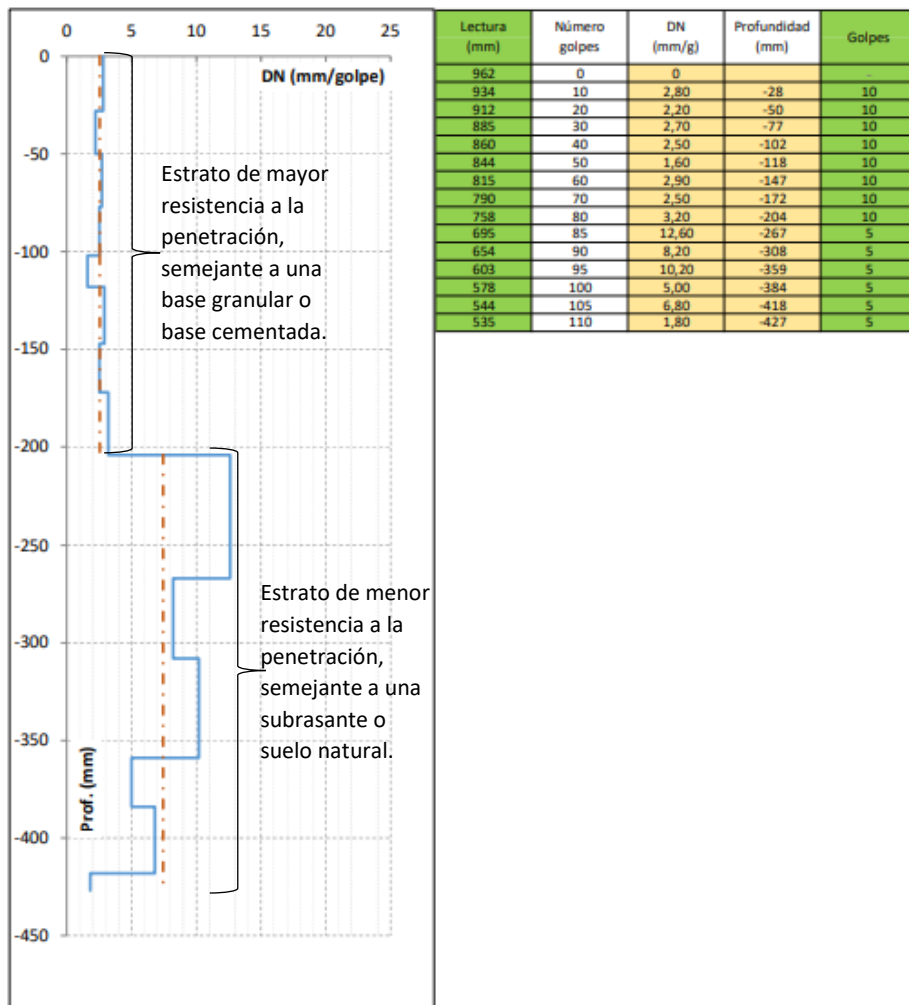


Figura 15. Ejemplo de resultado de ensayo DCP

En el desarrollo de los resultados del DCP, en la relación entre los milímetros de penetración por cada golpe que da el equipo puede observarse que en los primeros 20 cm por debajo de la carpeta asfáltica, el material se comporta de forma homogénea. Al pasar esta profundidad, el material subyacente ofrece una considerable menor resistencia a la penetración, lo que indica que es un material menos rígido o con menor resistencia.

Luego, una vez identificado el bache, se procede a delimitar la zona de trabajo a intervenir en la calzada. Es poco común encontrar un bache con un diseño rectangular; normalmente presentan formas erráticas. Sin embargo, al momento de intervenir, debe marcarse una zona rectangular alrededor del bache con una superficie cuyos lados tengan una separación de 30 centímetros respecto al comienzo del bache en sí mismo. Es importante destacar que la zona a intervenir debe guardar una relación espacial, tanto en superficie como en volumen, con las fallas observadas en el pavimento. En la Figura 16 se muestra un ejemplo de delimitación de bache.

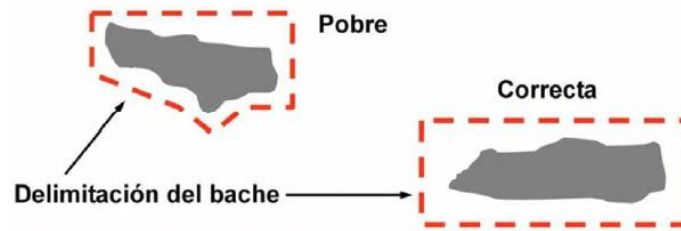


Figura 16. Delimitación de bache (J. Páramo, H. Poncino, F. Martínez, A. Pugliesi, J. P. Raffaelli, 2021)

Posteriormente, se procede a retirar la carpeta de concreto asfáltico dentro de la zona marcada. Para ello, primero debe cortarse el pavimento, utilizando una aserradora de pavimento. El aserrado (Figura 17) es fundamental porque disminuye la posibilidad de transferencia de vibraciones, producto de los trabajos de remoción del concreto, hacia la superficie lindante del bache. Además, permite obtener paredes del bache rectas y homogéneas (Figura 18), características esenciales al momento de colocar la nueva mezcla asfáltica.



Figura 17. Aserrado de pavimento para delimitación de zona de bache



Figura 18. Aserrado de bache - Paredes con superficies plana y vertical

Para retirar el concreto y las bases que deban ser intervenidas, pueden utilizarse (según el tamaño de la superficie) diversas herramientas. Estas incluyen equipos menores como martillos demolidores para fracturar el concreto, retroexcavadoras, o bien maquinaria más especializada como una fresadora (Figura 19) o una minicargadora con implemento de fresa (Figura 20), entre otros. En los casos en que se utilice una fresa, se obtiene la ventaja de una superficie homogénea con una cota interior del bache a un mismo nivel en toda la superficie (Figura 21), según los centímetros de penetración con los que haya sido calibrado el tambor de la fresa para ese trabajo. Además, la utilización de una fresadora previene la formación de fisuras en la base que servirá de apoyo al nuevo concreto. Este no es un dato menor, ya que la superficie inferior del bache debe quedar nivelada para que el espesor de la mezcla asfáltica a colocar sea constante a lo largo de dicha superficie.

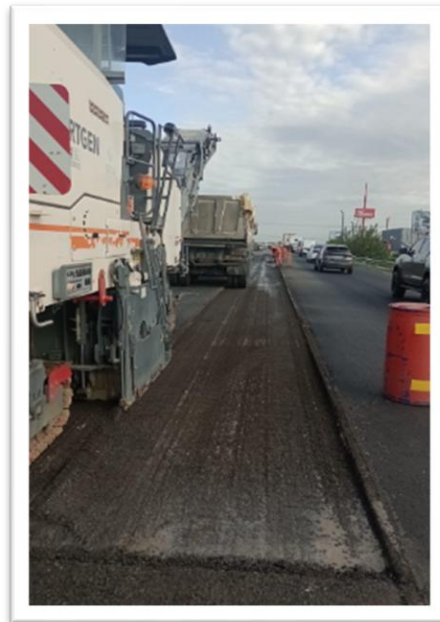


Figura 19. Fresado de pavimento con fresadora de 1 metro de ancho de tambor



Figura 20. Fresado de pavimento con minicargadora con implemento de fresa de 40 cm de ancho de tambor



Figura 21. Vista lateral de la caja de un bache mal preparado versus uno bien preparado

Si el bache es superficial, luego de fresar, se debe despojar la superficie de todo tipo de escombros. Para ello, se utilizarán palas, rastrillos y toda herramienta de mano necesaria para la remoción de material granular. Asimismo, se emplearán escobillas y equipos de aire a presión (Figura 22) para limpiar la base del bache, eliminando todo el polvillo que quede como residuo de la demolición.



Figura 22. Limpieza de fondo de bache con rifle de aire comprimido

Habiendo finalizado la limpieza, se procede a realizar el riego de liga. Este consiste en regar o pulverizar emulsión asfáltica sobre toda la superficie del bache y sus paredes, con características especificadas en el pliego de la obra, aunque normalmente se utiliza la de corte rápido (por ejemplo, la *Emulsión Asfáltica Convencional de YPF, tipo EBCR-0*). Para la aplicación, se utiliza un camión regador de asfalto. Este camión contiene un sistema que, mediante gas envasado y quemadores, calienta la emulsión asfáltica de la cisterna hasta un punto en que se encuentre líquida, permitiendo que una bomba la pulverice con una lanza que posee el equipo, tal como se observa en la Figura 23.



Figura 23. Riego de liga con lanza de camión regador

Tal como se observa en la Figura 23, es importante que el riego se refleje tanto en la base del bache como en las paredes del contorno, puesto que el riego de liga es lo que actuará como adherente entre el concreto asfáltico nuevo y el que queda debajo de este. Pero es fundamental que el riego quede realizado de forma homogénea y sin excesos; es decir, no deben quedar sectores sin regar y tampoco deben formarse charcos de emulsión. Si esto ocurriera, en ese punto la mezcla asfáltica no solo cambiaría la adhesión, sino que también podría verse modificada su composición al mezclarse con la emulsión sobrante.

Una vez aplicado el riego de liga, se procede a la colocación de la mezcla asfáltica en caliente. La temperatura de la mezcla debe oscilar entre 140°C y 175°C, ya sea asfalto convencional o modificado, y la superficie del bache debe estar preferiblemente a no menos de 7°C. La aplicación ideal se realiza mediante una terminadora de asfalto (Figura 24), ya que este equipo previene la

segregación de la mezcla. La segregación implica una modificación indeseada de la curva granulométrica en ciertas zonas del bache, afectando el esqueleto granular. Sin embargo, debido al tamaño del bache y/o a la disponibilidad limitada de herramientas y equipos, es frecuente que la terminadora no se utilice en el proceso de colocación.

La mezcla debe cubrir la totalidad del bache, con una temperatura adecuada (determinada por la viscosidad del ligante asfáltico), ya que de esta depende su densificación. Además, debe colocarse con una sobreelevación de unos milímetros, equivalente al 20% o 25% del espesor del bache debido al esponjamiento de la mezcla, es decir, la cantidad que disminuirá al ser compactada o al incrementarse su densidad.



Figura 24. Terminadora de asfalto trabajando en un bache de 1 metro

Para finalizar, la mezcla colocada debe ser compactada, y esto se realiza mediante equipos de compactación con rodillos lisos (Figura 25) y neumáticos autopropulsados. La cantidad de pasadas del compactador dependerá de la densidad deseada, del tipo de mezcla y del tipo de compactador (es decir, su peso, tamaño, si tiene opción vibratoria o no, etc.). Si siempre se trabaja con la misma fórmula de mezcla para el bacheo, debería realizarse un tramo de prueba para evaluar la cantidad de pasadas que requiere esa mezcla para alcanzar la densidad especificada, ya que excederse en el número de pasadas resulta perjudicial en lugar de beneficioso.



Figura 25. Compactador liso autopropulsado

Dado que el bacheo es una intervención puntual y no una repavimentación total, es recomendable que la compactación se realice de forma transversal al eje de la ruta en los empalmes entre la nueva mezcla y la calzada existente. Esta técnica es fundamental para lograr que la cota del material recién colocado se adapte al perfil transversal de la calzada, incluyendo cualquier ahuellamiento preexistente. Si se compacta de forma longitudinal, lo más probable es que la nueva carpeta no copie adecuadamente el perfil de la calzada, quedando unos milímetros por encima produciendo un "salto" al ser transitado, lo que no solo afecta el confort de los usuarios, sino que, si se repite en múltiples baches, puede influir negativamente en el Índice de Rugosidad (IRI).

Ahora bien, lo anteriormente descrito aplica para el bacheo superficial, es decir, donde las capas base no están afectadas por debajo del concreto asfáltico. No obstante, en caso de que toda la capa asfáltica esté afectada, debe removerse por completo y analizar si la base también requiere intervención. Para saberlo, es necesaria una auscultación visual de la misma que permita notar la presencia de humedad, además de ensayos DCP para evaluar su capacidad portante.

En caso de que sea un bache profundo, a todo el proceso anteriormente descrito debe añadirse que, al necesitar intervenir las capas base además de la capa de concreto asfáltico, será necesario contemplar en primer lugar que el bache debe ejecutarse de forma escalonada (Figura 26) para conservar la integridad estructural de cada capa. De no hacerlo, podría suceder que se debilite la pared del bache y se termine desmoronando, entre otros posibles problemas.

Es decir, al marcar la zona a intervenir, como se mencionó antes, se debe tener en cuenta un sobrecancho adicional de 10 a 15 cm por cada capa que se requiera intervenir, de modo que luego queden formados escalones para la protección de los bordes, como se observa en la siguiente imagen.

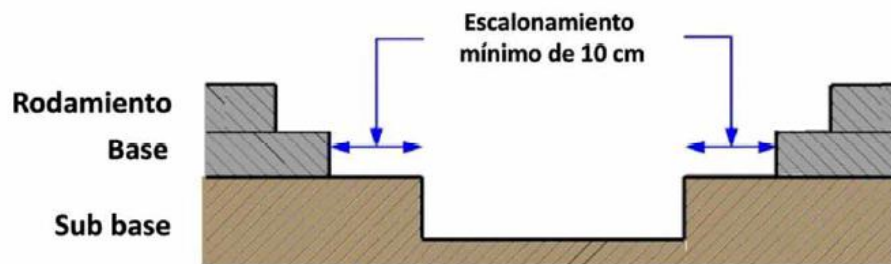


Figura 26. Esquema de bacheo profundo escalonado (J. Páramo, H. Poncino, F. Martínez, A. Pugliesi, J. P. Raffaelli, 2021)

Luego, al ser un bache profundo, debe intervenir la base, que normalmente es de material granular. Por lo tanto, deberá analizarse en cada caso de qué material se trata para utilizar el que más se asemeje dentro de las opciones disponibles para este tipo de trabajos, como, por ejemplo, un estabilizado granular con suelo seleccionado. A fin de poder determinar hasta qué profundidad debe intervenir, lo ideal sería realizar ensayos DCP en sectores aledaños al bache que presenten buen comportamiento. De esta manera, se podrán adoptar esos valores de DN obtenidos (donde DN es el número que representa la penetración del penetrómetro a través de una capa, medida en mm/golpe) como una referencia, ya que los valores DN que se correlacionan empíricamente con el CBR son calculados para un determinado paquete estructural y una sollicitación específica que deberá soportar. Por ello, dado que es una reparación de un camino existente, es conveniente tomar como parámetro los valores de DN existentes mediante ensayos DCP, como se mencionó anteriormente.

En caso de no contar con un material granular para subsanar la base, puede utilizarse mezcla asfáltica para sanear el bache completo. Sin embargo, esto deberá realizarse por capas de no más de 10 cm de espesor y, además, deberá utilizarse agua para enfriar la mezcla antes de continuar con la ejecución de las capas superiores, a fin de proveerles una base sólida. Esto es necesario, ya que, de no enfriar la mezcla, al ser esta un material bituminoso, estará lo suficientemente blanda como para no soportar una compactación adecuada.

CAPÍTULO 3 – REGISTRO DE ASPECTOS A EVALUAR

Una vez definido el marco teórico anterior donde se detallan los pasos que se deben llevar a cabo para una práctica de bacheo, se definen los siguientes puntos o aspectos que serán registrados en los baches que sean analizados en pos de poder deducir las causas de una falla si la hubiera.

Cabe destacar que los aspectos detallados a continuación pueden no ser los únicos ya que podría haber aspectos o sucesos atípicos o no esperados que deban ser anotados como una observación extraordinaria.

A priori lo que se tendrá en cuenta para observar en el proceso de bacheo que se lleve a cabo serán los siguientes:

- Delimitación del bache incluyendo escalonamiento si lo requiere.
- Apertura de caja y limpieza.
- Riego de liga.
- Tipo y Temperatura de mezcla al momento de la colocación.
- Control de calidad de la base.
- Colocación de mezcla asfáltica con su correspondiente compactación.
- Control final de calidad, relacionado a los perfiles longitudinal y transversal.

Los baches seleccionados serán geolocalizados para su posterior seguimiento en el tiempo.

CAPÍTULO 4 – INTRODUCCIÓN SOFTWARE HDM-4

El software HDM-4 (Highway Development and Management) es una importante herramienta de análisis para la evaluación técnica y económica de inversiones en la construcción y conservación de redes de carreteras. Es un simulador del comportamiento del ciclo de vida de las carreteras, considerando todas las relaciones entre estas, el ambiente, los costos de mantenimiento, las solicitudes del tránsito y los costos de los usuarios, así como la prestación que se requiere. El software realiza un análisis detallado con base en los datos que el usuario debe introducir para ajustar la devolución del mismo a la región que se está aplicando. (International Study of Highway Development and Management Tools, 2000)

En cuanto a lo que baches se refiere, el HDM-4 realiza su simulación modelando tipos de deterioros que puede tener el pavimento teniendo en cuenta un tiempo de inicio del mismo y un progreso ya establecido en función del tipo de paquete estructural, de los años en servicio, de la incidencia ambiental, de las solicitaciones del tránsito, entre otros. Los tipos de deterioros que analiza este software son los siguientes:

- Fisuración
- Desprendimiento
- Baches
- Ahuellamiento
- Rugosidad
- Rotura de borde
- Textura
- Adherencia neumático calzada

En el caso de los baches, el HDM-4 entiende que los mismos se pueden generar en zonas donde el pavimento ya presenta fisuración y/o desprendimientos por lo que estos aspectos que a su vez son modelos del HDM-4, son los que utiliza como variables en la predicción de formación de nuevos baches como así también considera los baches ya existentes al momento del inicio del estudio. (International Study of Highway Development and Management Tools, 2000)

Es decir que el análisis del progreso de formación de baches lo analiza fundamentalmente con el avance de estos dos deterioros. Los demás los utiliza para simular el progreso de la rugosidad tal como se observa en el siguiente diagrama (Figura 27).

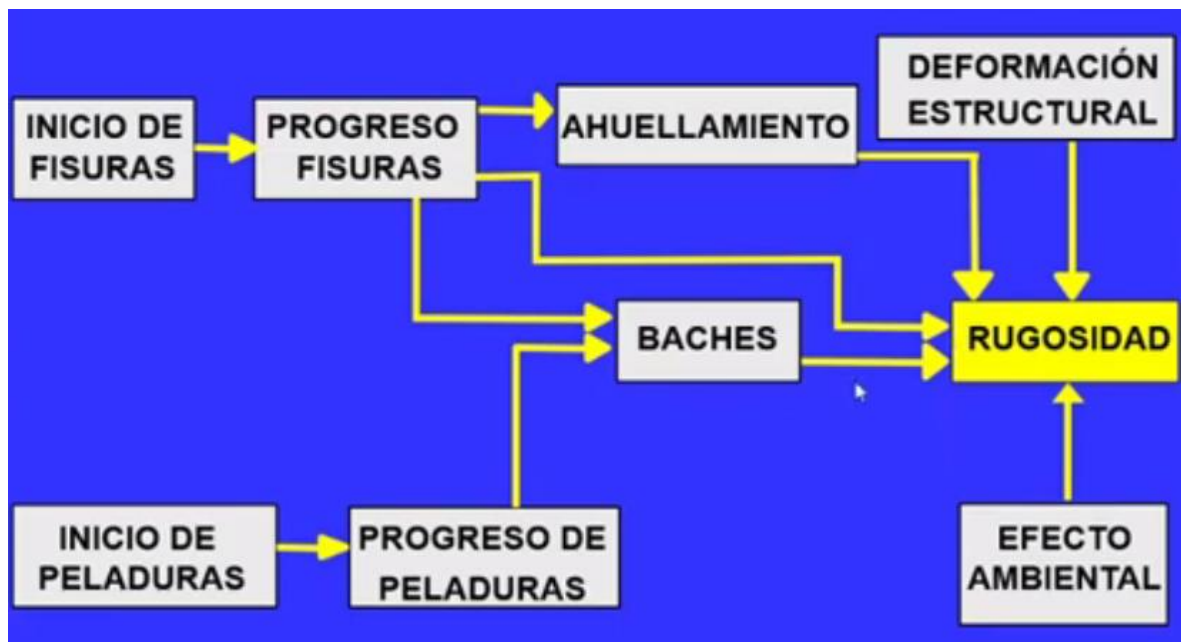


Figura 27. HMD-4 Interacción entre los modelos de deterioro (Dra. Ing. Pagola & Dr. Ing. Giovanon, 2021)

CAPÍTULO 5 – TRAMO DE ESTUDIO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DEL TRAMO

El presente estudio se enfoca en un tramo específico dentro de la Provincia de Córdoba, República Argentina. Córdoba posee una extensa red vial pavimentada, abarcando un total de 7.339 km. De esta red, 286 km corresponden a la Ruta Provincial N° 6, la cual conecta el límite con la Provincia de Santa Fe con localidades cordobesas clave como Cruz Alta, Los Surgentes, Inrville, Monte Buey, Justiniano Posse, La Laguna, Pasco y Río Tercero. Además, esta ruta interconecta con otras vías provinciales de relevancia, como las Rutas Provinciales N°12, N° 3 y N° 4, entre otras.

La Ruta Provincial N° 6 se caracteriza por un significativo grado de deterioro en forma de baches, los cuales, una vez formados, evolucionan rápidamente hacia desprendimientos de material en la rasante de la calzada. Esta condición no solo genera diversos tamaños de baches abiertos, sino que también incrementa sustancialmente el riesgo para los usuarios de la vía. Debido a esta problemática, la ruta ha sido objeto de numerosos trabajos de bacheo ejecutados por distintas empresas contratistas a lo largo de su extensión.

Dentro de las secciones actualmente en intervención, este estudio se concentra en un tramo de 10 km ubicado entre las localidades de Cruz Alta y Los Surgentes (Ver Figura 28). Este segmento

presenta aproximadamente un 50% de su superficie deteriorada, de la cual el 25% fue inicialmente marcado para trabajos de bacheo. Es importante destacar que un porcentaje de estos baches reparados manifestó fallas prematuras poco tiempo después de su ejecución. A continuación, se presenta un mapa vial de la Provincia de Córdoba, donde se señala el tramo específico de referencia objeto de este análisis.



Figura 28. Mapa vial de la Provincia de Córdoba con zoom sobre tramo de estudio (Catastro Córdoba Ministerio de Economía y Gestión Pública, 2014)

Del tramo en cuestión se estima, según información brindada por la policía local, que el tránsito es de aproximadamente el 25% de lo que transita por la Autopista RN 9 Rosario Córdoba lo que sería un TMDA de 4500 vehículos. Por otro lado, no hay información de ensayos precedentes al inicio de los trabajos ni DPV cuenta con DCP, ni deflexiones, etc.

La contratista que se encuentra trabajando ha realizado unas calicatas para observar el paquete estructural vigente y granulometrías de la base. A continuación, se presenta el paquete esquematizado en un gráfico.

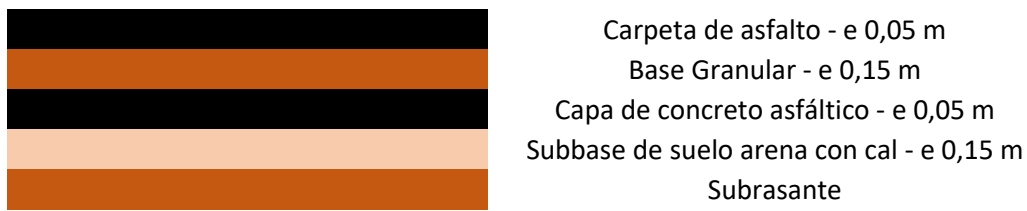


Figura 29. Paquete estructural

Un 25% de la superficie de los 10 km analizados fue seleccionada para trabajos de bacheo superficial, cuyo detalle completo se presenta en el Anexo 1. De una superficie deteriorada estimada en 37.000 m² a lo largo del segmento, un total de 18.700 m² fue marcado para intervención. Aproximadamente el 60% de esta área se ubicaba en la calzada con sentido de tránsito hacia Rosario, lo que sugiere una posible correlación con el tránsito pesado que se dirige a los puertos. La discrepancia entre la superficie marcada y el área total deteriorada se debe a decisiones de la inspección de excluir ciertas secciones. Estas áreas, aunque requerían reparación, fueron omitidas de los trabajos de bacheo, lo que plantea un riesgo inminente de deterioro futuro en las proximidades de las superficies recién reparadas.

En las siguientes imágenes se aprecian las formas de marcar por parte de esta inspección, no obstante, estas imágenes son ilustrativas para ejemplificar un patrón ya que no todos los baches delimitados tienen esta particularidad.

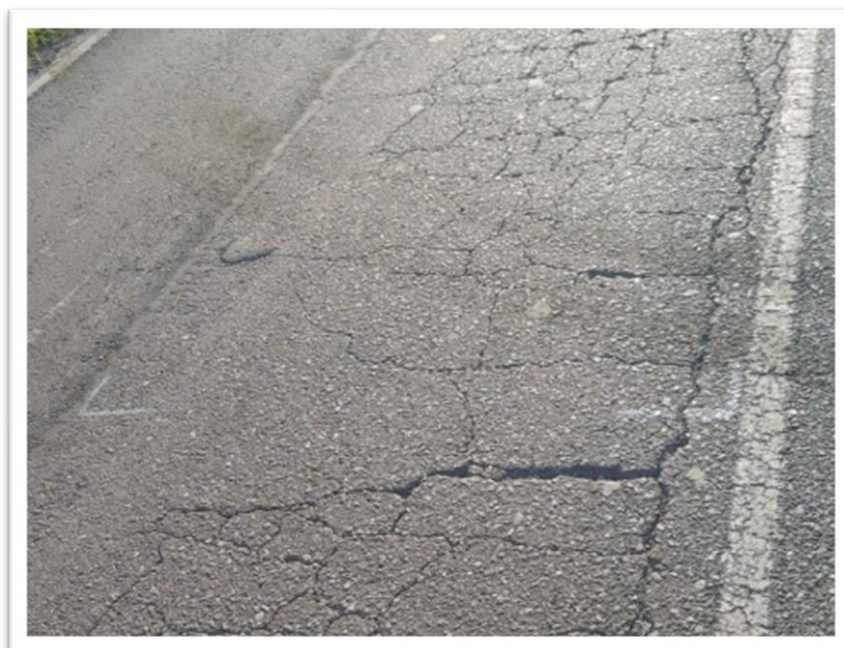


Figura 30. Bache delimitado sobre huella externa derecha



Figura 31. Bache delimitado sobre huella externa izquierda



Figura 32. Bache delimitado sobre huella externa izquierda

En las tres imágenes precedentes, figuras 31, 32 y 33, se observa que las fallas en la superficie contigua a las áreas delimitadas son extensas. Esta situación representa un riesgo significativo de que las nuevas reparaciones se vean rápidamente afectadas, incluso durante los trabajos de compactación. Dada la gran cantidad y la naturaleza de estos deterioros, la tarea más recomendable sería una reconstrucción de la sección, y no meramente un bacheo superficial. De hecho, como se detallará más adelante en la aplicación del modelo HDM-4, la estrategia de solo tapar baches no resultaría óptima para este escenario.

5.2 Ejecución del Bacheo

Antes de comenzar las tareas de bacheo, como se mencionó previamente, la inspección delimita con aerosol blanco las áreas a intervenir, lo cual intenta evitar confusiones durante la ejecución. Posteriormente, los trabajos inician con la instalación de la señalización vial provisoria adecuada, seguida por la movilización de los equipos y el comienzo de las siguientes tareas:

5.2.1 FRESADO

Se observa el proceso de fresado del pavimento, donde una fresadora opera en conjunto con un camión volcador para la recolección del material. Dos operarios, utilizando cepillos, asisten en la limpieza y supervisan continuamente la operación para asegurar que el equipo no exceda el espesor ni los límites de la zona delimitada. El fresado se realiza precisamente dentro de la superficie marcada previamente por la inspección, garantizando que no se generen escalones y ya que las intervenciones se enfocan en baches superficiales con un espesor de 5 cm, o mayor si la profundidad del deterioro lo requiere.



Figura 33. Fresado con maquina fresadora de 1 metro de ancho de tambor

5.2.2 LIMPIEZA

Tras el proceso de fresado, se procede a la limpieza de la superficie. Esta etapa implica el uso de cepillos, palas manuales y un compresor para asegurar la remoción completa de cualquier partícula suelta. Es pertinente señalar que, si bien el día en que se tomó la foto la base subyacente a la capa asfáltica era también de asfalto, es más frecuente encontrarse con una base de material granular estabilizado.



Figura 34. Limpieza de superficie con compresor de tiro y lanza, palas y cepillos.

5.2.3 RIEGO DE LIGA

El Pliego de Especificaciones Técnicas Particulares (PETP) exige la aplicación de un riego de liga de corte rápido. Este producto se aplica sobre la superficie ya limpia y libre de material suelto. Aunque en la imagen siguiente se observa un bache donde la base expuesta era de concreto, en la mayoría de los casos nos encontramos con una base granular.



Figura 35. Riego de liga sobre base de concreto

5.2.4 COLOCACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA

La colocación de la mezcla asfáltica se realiza con una terminadora de asfalto, alimentada por camiones batea que descargan el material en su tolva. El uso de la terminadora es crucial para evitar la segregación del material y asegurar una distribución homogénea dentro del área previamente preparada para el bache. Sin embargo, como se puede observar en las siguientes imágenes, a medida que la terminadora avanza sobre la superficie tratada con riego de liga, se produce un levantamiento parcial de la emulsión. Esto es una situación crítica, ya que la emulsión tiene la función esencial de adherir la nueva capa asfáltica a la base y garantizar una correcta unión. Finalmente, en la última fotografía se aprecia a los operarios realizando el rastrillado del material en la junta con el pavimento existente, trabajando la transición para asegurar una unión adecuada.



Figura 36. Batea descargando mezcla asfáltica en tolva de terminadora



Figura 37. Terminadora de asfalto avanzando con la colocación y levantando con sus neumáticos el riego de liga

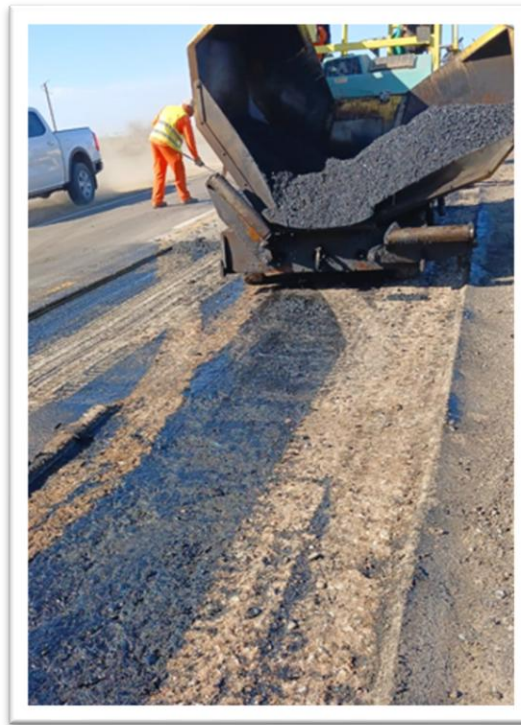


Figura 38. Terminadora de asfalto posicionándose y riego de liga levantado por neumáticos de bateas

La imagen 39 revela una situación operativa crítica donde los neumáticos de la terminadora, durante la colocación de la mezcla asfáltica, están desprendiendo el riego de liga previamente aplicado sobre la base granular del bache. Esto es una desviación de la práctica recomendada, que en este tipo de base exigiría la aplicación secuencial de un riego de imprimación para estabilizar la base granular y promover la adherencia, seguido del riego de liga para asegurar la correcta unión con la nueva capa asfáltica.

El levantamiento y, consecuentemente, la no uniformidad del riego de liga compromete significativamente la interfaz entre la base existente y la nueva mezcla. Esta deficiencia no solo resulta en una adherencia deficiente, sino que también introduce diferentes tensiones tangenciales en dicha interfaz. Esto puede provocar fallas prematuras como el deslizamiento y ahuellamiento, o el desprendimiento de la nueva capa asfáltica, facilitando la infiltración de agua y, por ende, disminuyendo drásticamente la vida útil y la calidad estructural del bacheo realizado.



Figura 39. Rastrillado de mezcla y juntas

5.2.5 COMPACTACIÓN

Se utilizan aplanadoras, rodillo neumático y combinado. Luego de esta etapa se espera unos minutos y se habilita al tránsito.

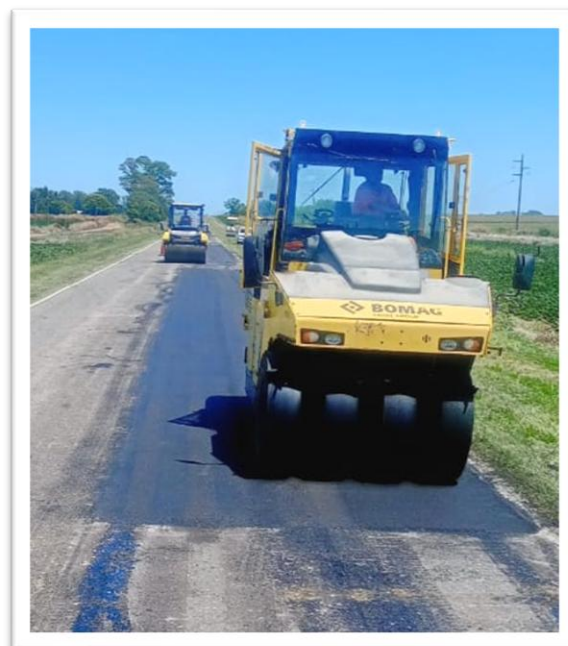


Figura 40. Rodillo neumático y aplanadora realizando trabajo de compactación final

5.3 ANÁLISIS DE FALLAS Y ACCIONES PARA RESOLVER

Hasta este punto, hemos detallado el proceso de bacheo implementado en el tramo vial analizado. Los trabajos, iniciados en junio de 2024, mostraron fallas prematuras en una longitud de 5 km hacia fines de septiembre del mismo año. Dada la corta vida útil esperable del pavimento en este periodo, se hipotetiza que estas fallas fueron causadas por defectos en la ejecución de las tareas de bacheo.

Antes de continuar se especifica que la fórmula de mezcla fue indicada por la inspección y es la siguiente:

Árido piedra partida 0/6	51,46 %
Árido piedra partida 6/19	42,89 %
Cal	0,95 %
Cemento Asfáltico CA30	4,70 %

Con esta premisa se comenzó a observar algunos detalles a saber:

- Se solicitó una caladora de probetas de pavimento para tomar muestras de superficie trabajada que aún no presentara fallas para realizar algunas evaluaciones y de este análisis surgió que estaba faltando compactación puesto que, en laboratorio, los ensayos de la mezcla asfáltica arrojaban una densidad promedio de 2.45 tn/m³ y las probetas rondaban el 97% en el mejor de los casos. Se decidió cambiar el equipo de compactación agregando una aplanadora de mayor peso, agregar el número de pasadas y vibración para lograr un esqueleto de áridos con menor relación de vacíos.



Figura 41. Calados de pavimento flexible en RP6

- Dado que los baches fallados se dieron en 5 km de los 10 km, surge la hipótesis de que podría haber algún problema con la mezcla asfáltica que estábamos recibiendo y que no estaba siendo auditada en planta por personal de la obra. Esto se debía a que la planta era tercerizada y, si bien contaba con laboratorio, no teníamos personal propio presente en ella. Habida cuenta de esto, se realizaron visitas de inspección aleatorias a la planta durante el proceso de elaboración y se detectó que las balanzas de áridos estaban descalibradas. Consecuentemente, aunque la fórmula de mezcla estuviera configurada, esta salía más gruesa debido a un porcentaje mayor de árido grueso que de fino. Esto llevaba a que en obra no solo se dificultara la compactación, sino que el concreto colocado quedara con un porcentaje de vacíos que se podían ver visualmente desde la superficie, dejando esta abierta y permeable. Es probable que, ante lluvias, la humedad ingresara a la base, humedeciéndola y cambiando la condición de humedad para una base que se encontraba trabajando, lo que a su vez favorecía el bombeo del material durante el paso del tránsito.

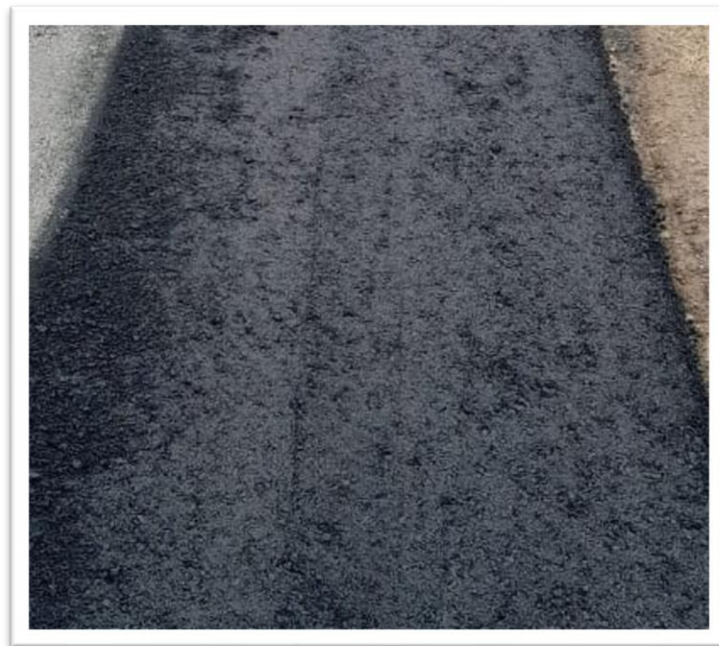


Figura 42. Mezcla asfáltica colocada con terminadora Amman aún no compactada.

- Temperatura de la mezcla: Posteriormente a la ejecución de los baches en análisis, se advirtió en un control que la mezcla estaba (al menos ese día) llegando a obra a 177°C,

luego de haber viajado 1 hora desde planta. Por lo tanto, de planta la misma salió con una temperatura de al menos 180°C. Esto incide directamente en la calidad del producto, ya que ese valor está muy por encima del máximo admisible, ocasionando un gran deterioro en el cemento asfáltico, tanto en su viscosidad como en su vida útil, puesto que genera un envejecimiento prematuro. Se intervino nuevamente la planta de asfalto para mejorar esta situación.



Figura 43. Temperatura de mezcla asfáltica en obra antes de ser corregido el causal.



Figura 44. Temperatura de mezcla en obra posterior a la corrección.

- Polvo adherido: En algunas ocasiones, la mezcla contenía piedras sin estar revestidas con asfalto. Esto sugiere que esa partida de áridos podría tener suficiente polvo adherido a su superficie o no haber sido adecuadamente acopiada. Dicha situación repercute en el proceso de mezclado con el cemento asfáltico, ya que este no logra adherirse a la piedra

en sí, sino que el polvo termina generando una membrana que separa la piedra del cemento asfáltico. En este caso, si el porcentaje de árido en esta situación es elevado, podría generar inestabilidad en el esqueleto del concreto asfáltico por falta de cohesividad. No se cuenta con información fehaciente al respecto; es meramente una inspección visual. Esto sucedió en obra y, luego de visitar los acopios de áridos, se llegó a la conclusión de que, debido a varias lluvias, los áridos se encontraban húmedos y con tierra adherida a causa del polvo que vuela por el viento en los lugares descampados. No obstante, como medida correctiva, se solicitó realizar pre-acopios específicos para secar y limpiar el material antes de su introducción en las tolvas de la planta de asfalto.

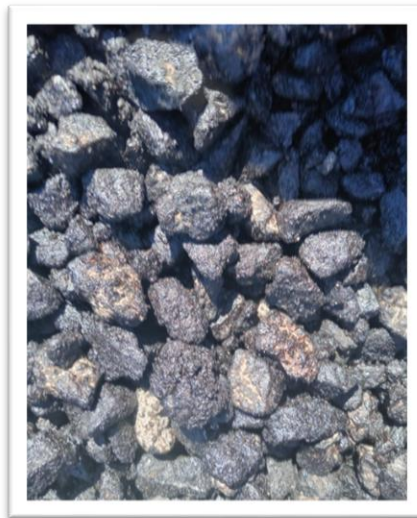


Figura 45. Muestra de mezcla asfáltica con presencia de áridos sin ligante

- Riego de Liga: En todos los casos, los bacheos se realizaron superficialmente, con un espesor de 5 cm, lo que equivale a la capa de concreto asfáltico existente. Esto significa que la nueva carpeta asfáltica se coloca directamente sobre la base granular. Técnicamente, como se describió antes, esta situación exigiría la aplicación de un riego de imprimación previo al riego de liga para asegurar una correcta adhesión y estabilidad. Sin embargo, el pliego de especificaciones técnicas vigente en “Subitem 09 – Ejecución de bacheo con fresadora” solo contempla el uso de riego de liga convencional de corte rápido (Dpto Conservación de Pavimentos, 2023). Esta discrepancia genera un problema crítico: el riego de liga no logra adherirse eficazmente a la base de estabilizado granular y, como resultado, la capa ligante es removida fácilmente por los equipos de colocación e incluso por el calzado de los operarios (como se aprecia en las Figuras 38, 39 y 47). Esta deficiencia

compromete seriamente la unión entre la nueva mezcla asfáltica y la base, lo que afectará directamente la durabilidad y el rendimiento del bacheo.

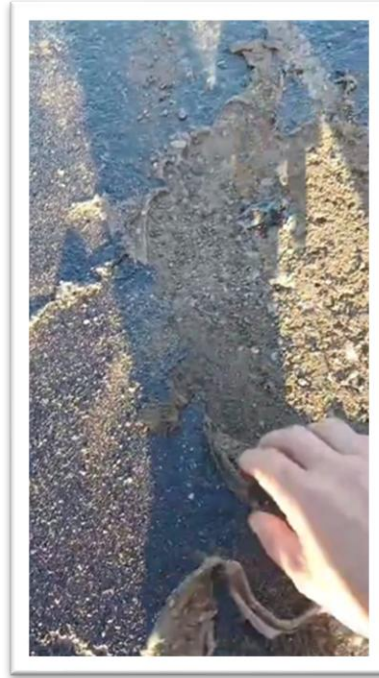


Figura 46. Riego de liga siendo levantado con la mano de un operario para mostrar adherencia.

Las observaciones detalladas a lo largo de este análisis revelan que las fallas prematuras de los bacheos realizados pueden atribuirse a numerosas deficiencias constructivas. Sin embargo, un aspecto importante y positivo que se desprende de este estudio es la relevancia del seguimiento durante la ejecución de la obra, ya que, gracias a esto, fue posible detectar a tiempo muchas de estas falencias e implementar las correcciones necesarias. Esto resulta beneficioso en pos de mejorar la calidad de las intervenciones.

CAPÍTULO 6 – EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO SOFTWARE HDM-4: BACHEO VS REPAVIMENTADO

Como hemos mencionado anteriormente, la infraestructura vial es un pilar fundamental para el desarrollo económico y social, garantizando la conectividad y la eficiencia logística. En este contexto, la gestión de pavimentos adquiere una relevancia crítica, requiriendo de estrategias que trasciendan la mera intervención para asegurar la sostenibilidad (bacheo) y funcionalidad de la red vial a largo plazo. Desde una perspectiva de ingeniería, la optimización de recursos y la toma de decisiones basada en el análisis de costos de ciclo de vida son elementos intrínsecos a una gestión eficiente.

El objetivo de este capítulo es realizar una evaluación técnico comparativa de estrategias de mantenimiento. Esta evaluación se inicia con el análisis de un paquete estructural que presenta un elevado grado de deterioro, tal como se ha evidenciado detalladamente en capítulos precedentes. Se contrastará la estrategia actual de mantenimiento, basada en el bacheo puntual (es decir, reactivo), con alternativas de rehabilitación integral (repavimentado) para el pavimento de la Ruta Provincial 6.

Para ello, emplearemos la herramienta de modelado HDM-4 (Highway Development and Management System, versión 4). Es una herramienta poderosa y ampliamente reconocida a nivel mundial, desarrollada inicialmente por el Banco Mundial, permite modelar el comportamiento, la degradación y los costos de ciclo de vida de un pavimento para optimizar las decisiones de inversión, mantenimiento y rehabilitación a nivel de proyecto o red vial.

Para comprender la compleja interacción de factores que influyen en la degradación de un pavimento y cómo estos se traducen en los deterioros modelados por el HDM-4, la Figura 48 presenta un diagrama conceptual de la evolución de las causas de deterioro. Este diagrama ilustra cómo elementos como los materiales, el tránsito, el ambiente, la construcción y el mantenimiento (o la falta de) interactúan, dando lugar a procesos como el ingreso de agua, el envejecimiento o la variabilidad de propiedades, que a su vez desencadenan fallas como la fisuración, los desprendimientos, el ahuellamiento y, finalmente, la aparición de baches. Comprender estas interrelaciones es fundamental para justificar las estrategias de intervención propuestas en este estudio.

estructurales y los coeficientes de drenaje requeridos por la norma AASHTO), estos valores se obtuvieron mediante una estimación fundamentada en los espesores de las capas de asfalto, base granular y subbases definidas para el análisis comparativo propuesto.

Valor de CBR de la Subrasante: Se adoptó un valor de CBR de 15%. Este dato se obtuvo de un ensayo realizado en obra por el equipo de inspección en una ubicación cercana al bacheo, lo que permitió tomarlo como un valor de referencia confiable para la subrasante.

Índice de Regularidad Internacional (IRI) Inicial: En línea con las observaciones de campo que revelan una alta incidencia de baches y un deterioro generalizado del pavimento, se adoptó un IRI inicial de 4.0 m/km. Este valor, si bien estimado a partir de la condición visual y funcional de la ruta, se alinea con los rangos comúnmente asociados a caminos en mal estado y justifica la evaluación de soluciones que van más allá del mantenimiento puntual, indicando la necesidad de intervenciones estructurales.

Tránsito Medio Diario Anual (TMDA): Para el tránsito, se consideraron dos valores de TMDA: 4.500 y 6.000 vehículos. Se aplicó una tasa de crecimiento del 2.5% anual para ambos. La composición del tráfico se distribuyó de la siguiente manera: 10% vehículos de transporte público (autobuses de uno y dos pisos), 50% vehículos livianos, 20% vehículos semipesados y 20% vehículos pesados. Estos datos son cruciales para la estimación de los ejes equivalentes y el modelado del deterioro del pavimento en HDM-4.

Para la ejecución modelo HDM-4, se evaluaron tres escenarios de intervención principal, cada uno de ellos analizado bajo las cuatro combinaciones de SN y TMDA definidas (SN 2.65 con TMDA 4500 y 6000; y SN 3.0 con TMDA 4500 y 6000), resultando en un total de 12 corridas de simulación.

- **Escenario 1:** No realizar ninguna acción sobre la calzada ("No Hacer Nada"). Esta estrategia sirve como línea base para entender la progresión natural del deterioro sin intervención.
- **Escenario 2:** Implementar bacheo superficial ("Bacheo") cuando existan baches en calzada, es decir con número de baches por kilómetro superior a cero. Este escenario simula el mantenimiento correctivo que se ha estado realizando en la ruta en estudio. Para el modelado en HDM-4, los parámetros de efectividad del bacheo se mantuvieron en sus valores por defecto, asumiendo una ejecución teóricamente correcta, a pesar de las observaciones que se han plasmado en esta tesis, que indican deficiencias constructivas significativas como la falta de adherencia del riego de liga y la segregación de la mezcla

entre otras. Esta hipótesis permite evaluar el impacto del bacheo ideal frente a otras estrategias.

- **Escenario 3:** Efectuar una reconstrucción integral de la calzada ("Reconstrucción Integral"). Este escenario representa una intervención de rehabilitación profunda, que va más allá de un simple repavimentado. Implica el tratamiento tanto de la capa asfáltica como la mejora o reconstrucción de las capas base, dado que es muy probable que estas hayan estado afectadas por el gran deterioro de la capa de rodadura. El objetivo es restaurar la capacidad estructural y funcional del pavimento a un nivel cercano al de una vía nueva.

A continuación, se observan los resultados mediante gráficos del análisis realizado por HDM-4.

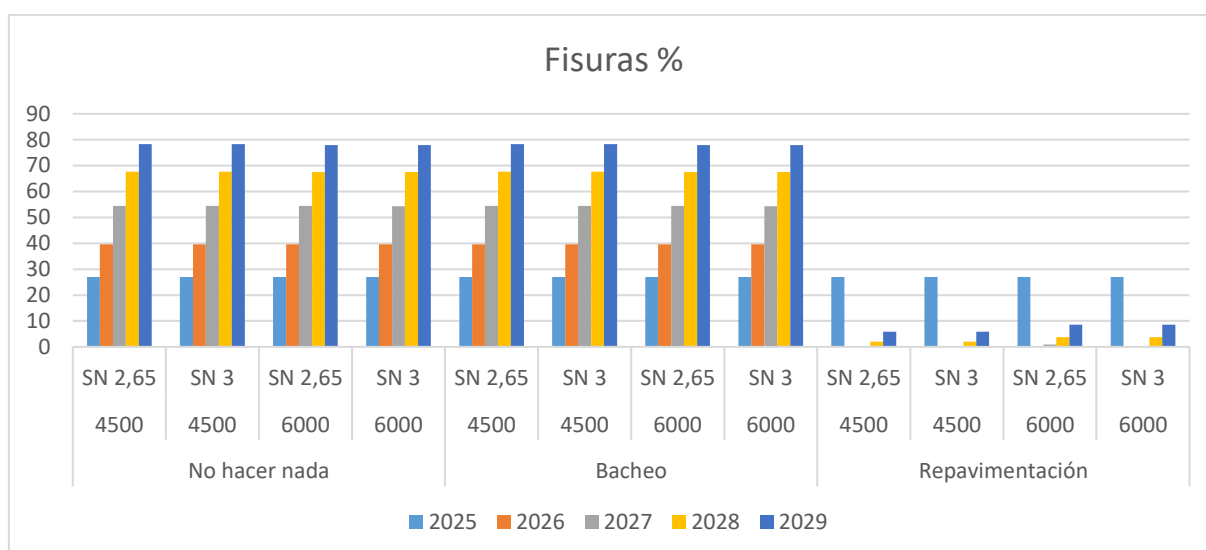


Figura 48. HDM 4 – Cuadro comparativo de % Fisuras

El primer gráfico compara la evolución del porcentaje de fisuras entre los tres escenarios de intervención. Se observa con claridad que, bajo los escenarios de "No Hacer Nada" y "Bacheo", la progresión de las fisuras es muy similar. El bacheo, al ser una intervención puntual y superficial que asume parámetros de ejecución ideales en el modelo (a pesar de las deficiencias de obra que se fueron corrigiendo), no logra contener significativamente el deterioro generalizado por fisuración en el tramo. En contraste, el escenario de "Repavimentado" muestra una reducción considerable del porcentaje de fisuras, reestableciendo el pavimento a una condición de fisuración mínima. Sin embargo, las fisuras comienzan a reaparecer a partir del cuarto año, lo que subraya la naturaleza inevitable del deterioro a largo plazo y la necesidad de mantenimiento.

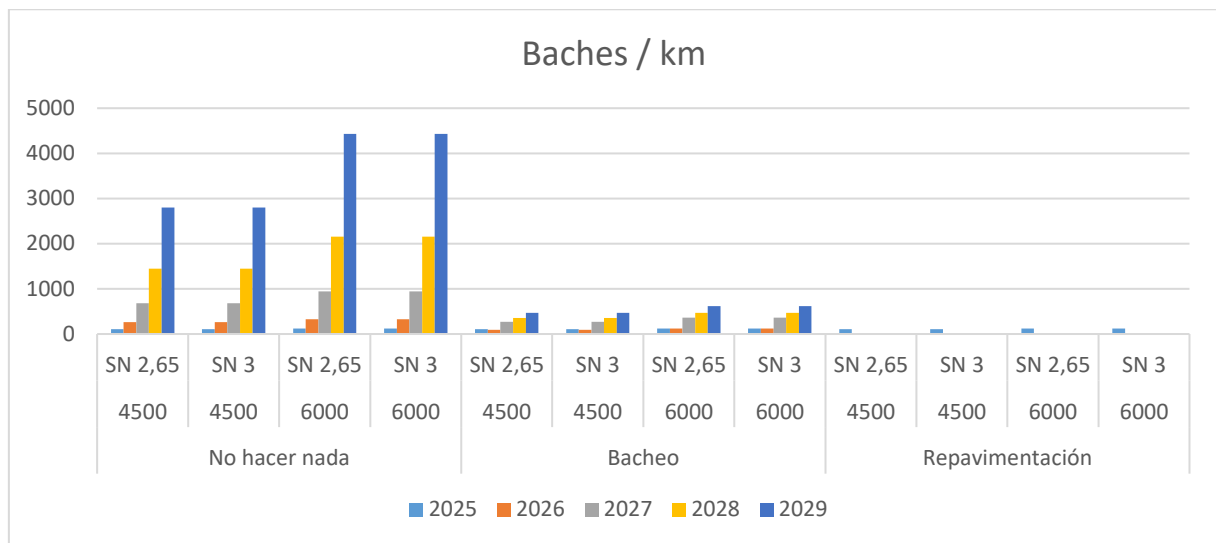


Figura 49. HDM4 – Cuadro comparativo Nro de Baches / km

El segundo gráfico muestra la evolución de la cantidad de baches abiertos por kilómetro. Es importante recordar que, según el diagnóstico inicial de campo, el tramo presentaba 70 baches por kilómetro antes del estudio según consta en el Anexo 1, un valor que fue cargado como condición inicial en el HDM-4. En este análisis, el escenario de "Bacheo" muestra una diferencia notable con respecto a "No Hacer Nada", logrando una reducción fuerte en la cantidad de baches por kilómetro. Esto indica que el bacheo, considerando que las deficiencias fueron superadas, es efectivo en el control directo de los baches. Sin embargo, en el escenario de "Repavimentado", los baches prácticamente desaparecen, demostrando la eficacia de una rehabilitación integral para eliminar este tipo de deterioro.

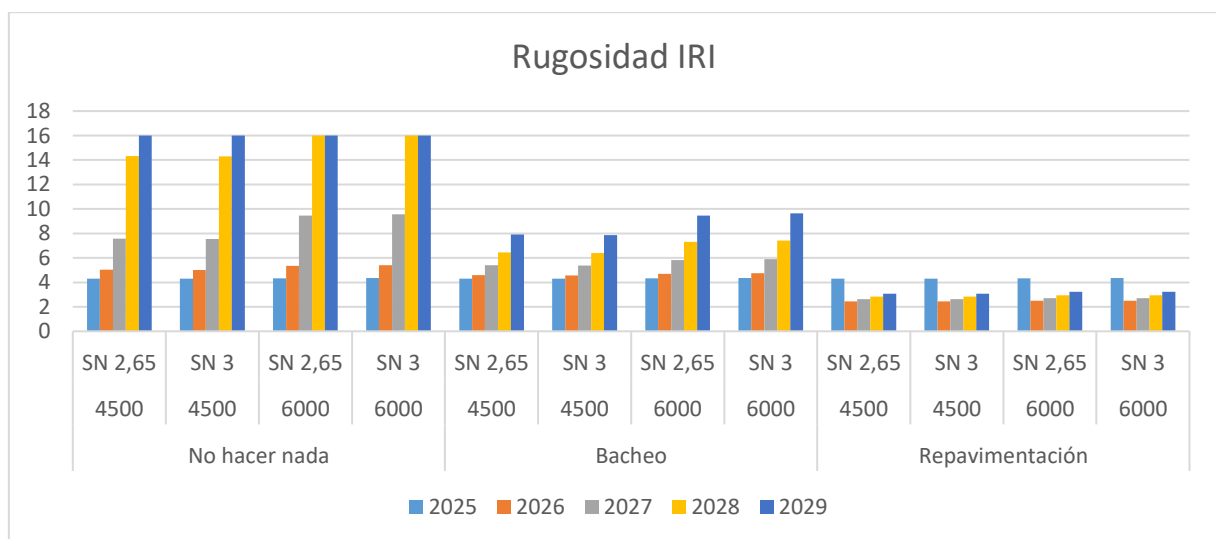


Figura 50. HDM4 – Cuadro comparativo Rugosidad IRI

El último gráfico muestra la evolución de la rugosidad, medida en IRI (m/km en el eje Y), para los tres escenarios y las distintas condiciones de TMDA. Para el escenario de "Bacheo", la rugosidad mejora en comparación con "No Hacer Nada", pero se mantiene en rangos elevados: entre 4 y 8 m/km para TMDA 4500, y entre 4 y 10 m/km para TMDA 6000. Esta diferencia entre los valores de TMDA resalta el impacto acelerado en la pérdida de confort y funcionalidad, incluso con bacheo. En el escenario de "Repavimentado", la rugosidad disminuye a valores considerablemente más bajos, oscilando entre 2 y 4 m/km. Este rango se considera aceptable para ambos niveles de TMDA (4500 y 6000), indicando una mejora sustancial en el confort y la calidad de rodamiento del pavimento. La capacidad del repavimentado para restaurar la rugosidad a niveles aceptables es un indicador clave de su beneficio funcional.

CAPÍTULO 7 – GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS EN LAS TAREAS DE BACHEO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

El análisis de las fallas prematuras en los trabajos de bacheo, detallado en los capítulos anteriores de esta tesis, ha permitido identificar una serie de deficiencias recurrentes en la ejecución, los materiales y la gestión. Estas conclusiones resaltan la necesidad de implementar procedimientos estandarizados que permitan optimizar la durabilidad de las reparaciones y, por ende, la gestión del mantenimiento vial. En respuesta directa a los problemas detectados y como parte fundamental de los objetivos de esta investigación, se elaboró la Guía de Buenas Prácticas y Aspectos a Controlar para Lograr Buenos Resultados en Tareas de Bacheo de Pavimentos Asfálticos. El propósito de esta guía es servir como una herramienta práctica, enfocada en la prevención de los defectos más comunes que acortan la vida útil de los baches.

El documento anexo se ha estructurado para abordar los puntos críticos del proceso de bacheo, desde la planificación y los materiales hasta la ejecución en campo.

Su contenido incluye:

- **Fundamentación de la Guía:** Se explica la relevancia de la guía como una solución a los problemas reales detectados durante el estudio de campo.
- **Procedimiento Detallado:** Un paso a paso con recomendaciones técnicas claras sobre cada etapa de la reparación: demarcación, corte, fresado, limpieza, riego de liga, colocación de mezcla y compactación.

- Aspectos Críticos y Errores Comunes: Una lista de los defectos más frecuentes y las acciones correctivas para evitarlos.
- Controles de Calidad: Indicadores clave y mediciones sugeridas para asegurar la calidad de la reparación.

De esta manera, la guía no es solo una adición, sino la culminación práctica de los hallazgos de la tesis, demostrando que una comprensión teórica profunda puede traducirse en soluciones aplicables que optimizan los recursos y mejoran la infraestructura vial.

CAPÍTULO 8 – CONCLUSIONES

Esta tesis ha abordado la optimización de la gestión del mantenimiento de una carretera a través del análisis de las causas de fallas prematuras en baches y la evaluación de la pertinencia de las tareas de bacheo frente al estado real de la infraestructura y la limitación de recursos.

A lo largo de este trabajo, se identificó que las fallas prematuras en los baches son multifactoriales. Se detectaron deficiencias en la ejecución de las tareas de bacheo, incluyendo una delimitación de áreas de reparación excesivamente acotada por parte de la inspección, lo que dejó secciones adyacentes deterioradas y propensas a fallar rápidamente. Asimismo, se evidenciaron problemas en los Pliegos de Especificaciones Técnicas de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Córdoba (PETP), los cuales no siempre se ajustan a la realidad de la obra y prescriben el uso de materiales como la emulsión de corte rápido que no era para este caso. Esto subraya la necesidad de PETP más flexibles o adaptados a las condiciones específicas de cada ruta. También se observaron errores en la ejecución directa, tales como la temperatura inadecuada de la mezcla asfáltica, la posible presencia de polvo en los áridos que contribuye a las fallas, y una compactación deficiente, entre otros factores. Todas estas deficiencias fueron la base para la elaboración de la Guía de Buenas Prácticas y Aspectos a Controlar, incluida en el Anexo 4 de este trabajo, cuyo objetivo es justamente prevenir la recurrencia de estos problemas. Adicionalmente, se hipotetiza que el exceso de peso, por la falta de control en el tránsito pesado, es otra causa significativa de estas fallas, dado que la mayor concentración de baches se observa en el carril que transporta camiones desde Córdoba hacia los puertos de Rosario o Buenos Aires.

El análisis realizado, apoyado en el software HDM-4, que es una herramienta de análisis y gestión de deterioros y no de diseño de pavimentos, reveló conclusiones sospechadas. Se demostró que continuar con el bacheo en una ruta con un nivel de deterioro avanzado es comparable a no realizar

ninguna intervención significativa. Ambas estrategias resultan en una degradación continua del pavimento, generando un ciclo de aparición de nuevos baches (si bien mejora un poco pero insuficiente), progresión de fisuras y otros daños. Esta situación no solo implica un gasto creciente e ineficiente para el organismo vial, sino que también impone mayores costos de operación vehicular a los usuarios, aumenta sus tiempos de viaje, combustibles y compromete directamente la seguridad vial.

En contraste, los resultados confirman que se debería optar por el repavimentado de la capa de rodamiento. Esta intervención genera una reducción significativa de la fisuración, los desprendimientos y la aparición de nuevos baches, restaurando el pavimento a niveles de condición y rugosidad (IRI entre 2 y 4 m/km) aceptables. Tal mejora se traduce no solo en un ahorro económico sustancial a largo plazo para la entidad gestora, al minimizar la necesidad de reparaciones frecuentes, sino también en beneficios tangibles para los usuarios. Una superficie de rodamiento optimizada disminuye drásticamente los costos para los usuarios, reduce los tiempos de viaje, mejora el confort y eleva los estándares de seguridad vial.

En síntesis, este estudio concluye que, para una optimización efectiva de la gestión del mantenimiento vial en carreteras con un deterioro estructural avanzado, es imperativo considerar estrategias de rehabilitación integral en lugar de un enfoque basado en el bacheo o más bien dejarlo para situaciones de emergencia. Esta aproximación no solo es técnica y económicamente más eficiente, sino que también garantiza una mejor calidad de servicio y mayor seguridad para los usuarios, maximizando así el valor de la inversión en infraestructura vial.

CAPÍTULO 9 – BIBLIOGRAFÍA

- Anderson & Thomas, A. D. (1981). *Pothole Repair in Pennsylvania*. The Pennsylvania State University.
- Blog: Pavimentos*. (s.f.). Obtenido de <https://libro-pavimentos.blogspot.com/>
- Catastro Córdoba Ministerio de Economía y Gestión Pública. (2014). Obtenido de <https://www.catastrocordoba.gob.ar/>
- Cueva del Ing Civil*. (s.f.). Obtenido de www.cuevadelcivil.com
- Department for Transport. (2019). *Potholes - A Repair Guide*. ADEPT Engineering Board.
- Díaz, L. E. (2018). *Análisis de los modelos de ahorro de costes de los usuarios debido a la gestión de conservación de carreteras*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Dpto Conservación de Pavimentos. (2023). *Pliego de Especificaciones Técnicas Particulares RP6*. Ministerio de Obras Públicas DPV Córdoba.
- Dra. Ing. Pagola, & Dr. Ing. Giovanon. (2021). *Análisis y Evaluación de proyectos viales con HDM4*. Rosario: UNR - FCEIA - IMAE.
- Gesford, A. L. (2009). *Seminario sobre mantenimiento de pavimentos asfálticos*. Michigan USA.
- International Study of Highway Development and Management Tools. (2000). *Manuales de uso HDM4 Versión 1 y 2 - Vol 1, 2, 3, 4 y 5*. Washington D. C.: PIARC.
- J. Páramo, H. Poncino, F. Martínez, A. Pugliesi, J. P. Raffaelli. (2021). *Prácticas de Bacheo con Mezclas Asfálticas*. Rosario, Santa Fe, Argentina: UNR - FCEIA - IMAE.
- Jiménez-Momediano. (2015). *Estado de la Técnica y Manual de Buenas Prácticas para el Bacheo de Pavimentos Asfálticos*. Grupo Elsamex.
- LanammeUCR. (2015). *GUÍA PARA INSPECTORES PARA BACHEO FORMAL CON MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE*. San Jose, Costa Rica: UCTT.
- LanammeUCR. (2021). *Guía para inspectores para bacheo formal con mezcla asfáltica en caliente. Segunda edición*. Universidad de Costa Rica.
- McHale Nicholls and I Carswell. (2016). *Best Practice guide for the selection of pothole repair options*. Transport Research Laboratory.
- Rojas Cazaluade, O. O. (2008). *Ajuste de las Variables que Gobiernan los Modelos de Comportamiento de HDM-4 para Vías no Pavimentadas de la Región Antofagasta Chile*. La Plata: UNLP.
- Universidad de Texas de San Antonio. (2012). *Mejores prácticas para optimizar tareas de bacheo*. San Antonio, Texas.
- Wolters R. O. (2003). *Repair of Potholes with Hot Mix Asphalt (HMA)*. Minnesota Asphalt Pavement Association.
- WSDOT. (2017). *Patching and Repair Maintenance Manual*. WSDOT, Washington State Department of Transportation.

IMAE (1994). Aplicación del penetrómetro dinámico de cono en obras viales y controles de compactación. Rosario, Santa Fe, Argentina: UNR - FCEIA – IMAE

ANEXOS

ANEXO 1 – RELEVAMIENTO DE BACHES DELIMITADOS

Este anexo presenta el detalle de los baches delimitados por inspección a lo largo del tramo de estudio. La información corresponde a los 10 kilómetros de la Ruta Provincial 6 analizados, en los cuales se identificaron un total de 743 baches.

Progresiva	Lado	Largo	Ancho	Superficie
10+000	IZQ	9,30 m	1,00 m	9,30 m2
	IZQ	4,00 m	2,00 m	8,00 m2
	IZQ	6,40 m	1,00 m	6,40 m2
	IZQ	6,80 m	1,00 m	6,80 m2
	IZQ	5,00 m	1,00 m	5,00 m2
	IZQ	3,80 m	1,00 m	3,80 m2
	IZQ	6,60 m	1,00 m	6,60 m2
	IZQ	9,70 m	2,00 m	19,40 m2
	IZQ	8,70 m	2,00 m	17,40 m2
	IZQ	3,00 m	1,00 m	3,00 m2
	IZQ	10,50 m	2,00 m	21,00 m2
	IZQ	26,50 m	1,50 m	39,75 m2
	IZQ	2,00 m	1,50 m	3,00 m2
	IZQ	22,00 m	1,50 m	33,00 m2
	IZQ	21,50 m	1,50 m	32,25 m2
	IZQ	3,50 m	3,30 m	11,55 m2
	IZQ	3,30 m	1,00 m	3,30 m2
	IZQ	3,00 m	3,30 m	9,90 m2
	IZQ	4,30 m	3,30 m	14,19 m2
	IZQ	5,50 m	3,30 m	18,15 m2
	IZQ	10,00 m	1,00 m	10,00 m2
	IZQ	3,30 m	1,50 m	4,95 m2
	IZQ	5,00 m	1,50 m	7,50 m2
	IZQ	4,50 m	3,30 m	14,85 m2
	IZQ	21,00 m	1,50 m	31,50 m2
	IZQ	1,00 m	2,00 m	2,00 m2
	IZQ	15,00 m	2,00 m	30,00 m2
	IZQ	2,80 m	1,50 m	4,20 m2
	IZQ	6,00 m	1,00 m	6,00 m2
	IZQ	35,00 m	1,50 m	52,50 m2
	IZQ	24,00 m	1,00 m	24,00 m2
	IZQ	15,00 m	1,00 m	15,00 m2
11+200	EJE	2,00 m	8,50 m	17,00 m2
	DER	1,00 m	5,50 m	5,50 m2
	IZQ	37,00 m	1,00 m	37,00 m2
	IZQ	3,00 m	3,30 m	9,90 m2
	IZQ	8,00 m	1,50 m	12,00 m2
	IZQ	15,00 m	1,50 m	22,50 m2
	IZQ	15,00 m	1,00 m	15,00 m2
	IZQ	8,00 m	1,00 m	8,00 m2
	IZQ	25,00 m	1,00 m	25,00 m2
	IZQ	13,00 m	1,00 m	13,00 m2
	IZQ	1,00 m	1,00 m	1,00 m2
	IZQ	5,00 m	3,10 m	15,50 m2
	IZQ	3,00 m	1,00 m	3,00 m2
	IZQ	1,00 m	1,00 m	1,00 m2
	IZQ	1,00 m	3,30 m	3,30 m2
	IZQ	13,00 m	1,00 m	13,00 m2
	IZQ	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	IZQ	9,00 m	1,00 m	9,00 m2
	IZQ	5,60 m	3,30 m	18,48 m2

	IZQ	9,00 m	1,60 m	14,40 m2
	IZQ	8,00 m	2,00 m	16,00 m2
	IZQ	1,50 m	3,30 m	4,95 m2
	IZQ	1,00 m	1,50 m	1,50 m2
	IZQ	3,00 m	1,50 m	4,50 m2
	IZQ	21,00 m	1,00 m	21,00 m2
	IZQ	1,00 m	1,50 m	1,50 m2
	IZQ	1,00 m	3,30 m	3,30 m2
	IZQ	13,50 m	1,00 m	13,50 m2
	IZQ	1,00 m	3,30 m	3,30 m2
	IZQ	2,50 m	3,30 m	8,25 m2
	IZQ	3,00 m	1,30 m	3,90 m2
	IZQ	5,00 m	1,00 m	5,00 m2
	IZQ	5,00 m	3,30 m	16,50 m2
	IZQ	1,80 m	3,30 m	5,94 m2
	IZQ	6,00 m	1,00 m	6,00 m2
	IZQ	8,00 m	1,00 m	8,00 m2
	IZQ	45,00 m	1,00 m	45,00 m2
	DER	2,80 m	1,30 m	3,64 m2
	DER	9,00 m	1,30 m	11,70 m2
	DER	5,50 m	1,30 m	7,15 m2
	DER	5,00 m	1,50 m	7,50 m2
	DER	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	DER	11,50 m	2,00 m	23,00 m2
	DER	5,00 m	1,50 m	7,50 m2
	DER	3,30 m	2,00 m	6,60 m2
	DER	3,30 m	1,00 m	3,30 m2
	DER	6,00 m	1,50 m	9,00 m2
	DER	29,00 m	1,70 m	49,30 m2
	DER	12,10 m	1,70 m	20,57 m2
	DER	6,00 m	1,50 m	9,00 m2
	DER	3,30 m	1,00 m	3,30 m2
	DER	24,00 m	1,00 m	24,00 m2
	DER	3,10 m	3,10 m	9,61 m2
	DER	18,00 m	1,00 m	18,00 m2
	DER	135,00 m	1,00 m	135,00 m2
	DER	2,10 m	1,00 m	2,10 m2
	DER	4,50 m	3,10 m	13,95 m2
	DER	50,00 m	1,00 m	50,00 m2
	DER	23,00 m	1,00 m	23,00 m2
	DER	55,50 m	1,50 m	83,25 m2
	DER	38,00 m	1,00 m	38,00 m2
	DER	4,70 m	3,20 m	15,04 m2
	DER	17,00 m	1,00 m	17,00 m2
	DER	5,00 m	1,00 m	5,00 m2
	DER	1,00 m	3,10 m	3,10 m2
	DER	32,00 m	1,00 m	32,00 m2
	DER	1,00 m	2,20 m	2,20 m2
	DER	3,80 m	3,30 m	12,54 m2
	DER	72,40 m	1,00 m	72,40 m2
	DER	1,00 m	2,10 m	2,10 m2
	DER	1,00 m	3,30 m	3,30 m2
	DER	22,00 m	1,00 m	22,00 m2
	DER	33,00 m	1,00 m	33,00 m2
	DER	3,10 m	3,30 m	10,23 m2
	DER	10,40 m	1,50 m	15,60 m2
	DER	25,00 m	1,00 m	25,00 m2
	IZQ	23,00 m	1,00 m	23,00 m2
	IZQ	212,00 m	1,50 m	318,00 m2
	IZQ	22,00 m	1,00 m	22,00 m2
	IZQ	3,00 m	2,30 m	6,90 m2
	IZQ	41,50 m	1,00 m	41,50 m2
	IZQ	3,00 m	1,00 m	3,00 m2
	IZQ	9,00 m	1,00 m	9,00 m2
	IZQ	48,50 m	1,00 m	48,50 m2
	IZQ	1,00 m	3,30 m	3,30 m2

	IZQ	59,00 m	1,00 m	59,00 m2
	IZQ	41,50 m	2,00 m	83,00 m2
	IZQ	70,00 m	1,00 m	70,00 m2
	IZQ	24,00 m	1,00 m	24,00 m2
	IZQ	32,50 m	1,00 m	32,50 m2
	IZQ	63,00 m	1,50 m	94,50 m2
	IZQ	13,00 m	2,00 m	26,00 m2
	IZQ	18,00 m	2,00 m	36,00 m2
	DER	59,00 m	1,00 m	59,00 m2
	DER	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	DER	3,30 m	1,00 m	3,30 m2
	DER	3,50 m	3,30 m	11,55 m2
	DER	3,30 m	1,00 m	3,30 m2
	DER	15,00 m	1,50 m	22,50 m2
	DER	13,80 m	1,00 m	13,80 m2
	DER	12,00 m	1,00 m	12,00 m2
	DER	7,00 m	1,00 m	7,00 m2
	DER	3,50 m	1,00 m	3,50 m2
	DER	14,50 m	1,50 m	21,75 m2
	DER	1,00 m	3,30 m	3,30 m2
	DER	1,00 m	1,00 m	1,00 m2
	DER	24,00 m	1,50 m	36,00 m2
	DER	28,00 m	1,00 m	28,00 m2
	DER	23,00 m	1,50 m	34,50 m2
	DER	29,00 m	1,50 m	43,50 m2
	DER	5,50 m	18,00 m	99,00 m2
	DER	29,30 m	1,50 m	43,95 m2
	DER	36,00 m	3,00 m	108,00 m2
	DER	3,50 m	3,00 m	10,50 m2
	DER	2,00 m	1,70 m	3,40 m2
	DER	19,70 m	1,00 m	19,70 m2
	DER	4,80 m	3,30 m	15,84 m2
	DER	3,20 m	3,30 m	10,56 m2
	DER	20,00 m	1,60 m	32,00 m2
	IZQ	10,00 m	1,50 m	15,00 m2
	IZQ	4,00 m	3,10 m	12,40 m2
	IZQ	12,00 m	1,50 m	18,00 m2
	IZQ	9,00 m	1,00 m	9,00 m2
	IZQ	1,50 m	2,60 m	3,90 m2
	IZQ	8,00 m	1,00 m	8,00 m2
	IZQ	2,70 m	3,30 m	8,91 m2
	IZQ	13,50 m	1,00 m	13,50 m2
	IZQ	10,50 m	1,60 m	16,80 m2
	IZQ	4,50 m	1,00 m	4,50 m2
	IZQ	9,20 m	1,60 m	14,72 m2
	IZQ	13,00 m	2,00 m	26,00 m2
	IZQ	13,00 m	2,00 m	26,00 m2
	IZQ	4,30 m	1,50 m	6,45 m2
	IZQ	2,20 m	1,50 m	3,30 m2
	DER	15,00 m	1,60 m	24,00 m2
	IZQ	7,00 m	2,00 m	14,00 m2
	IZQ	7,50 m	3,20 m	24,00 m2
	IZQ	14,00 m	2,00 m	28,00 m2
	IZQ	23,00 m	3,30 m	75,90 m2
	IZQ	6,50 m	2,00 m	13,00 m2
	IZQ	5,30 m	3,10 m	16,43 m2
	IZQ	7,00 m	2,00 m	14,00 m2
	IZQ	11,20 m	2,00 m	22,40 m2
	IZQ	39,40 m	1,50 m	59,10 m2
	IZQ	16,30 m	3,50 m	57,05 m2
	IZQ	60,00 m	2,00 m	120,00 m2
	IZQ	20,00 m	1,00 m	20,00 m2
	IZQ	8,00 m	2,00 m	16,00 m2
	IZQ	10,00 m	1,50 m	15,00 m2
	DER	3,00 m	1,00 m	3,00 m2
	IZQ	13,40 m	2,00 m	26,80 m2

	IZQ	8,30 m	1,50 m	12,45 m2
	IZQ	14,30 m	2,00 m	28,60 m2
	IZQ	12,30 m	2,00 m	24,60 m2
	IZQ	10,50 m	2,00 m	21,00 m2
	IZQ	7,00 m	2,00 m	14,00 m2
	IZQ	10,50 m	2,00 m	21,00 m2
	IZQ	13,00 m	2,00 m	26,00 m2
	IZQ	10,30 m	2,00 m	20,60 m2
	IZQ	3,80 m	1,00 m	3,80 m2
	IZQ	3,70 m	1,00 m	3,70 m2
	IZQ	2,00 m	3,20 m	6,40 m2
	IZQ	4,50 m	1,00 m	4,50 m2
	IZQ	3,30 m	3,50 m	11,55 m2
	IZQ	4,70 m	1,00 m	4,70 m2
	IZQ	169,00 m	1,50 m	253,50 m2
	IZQ	11,00 m	1,50 m	16,50 m2
	IZQ	10,00 m	1,80 m	18,00 m2
	IZQ	2,70 m	3,10 m	8,37 m2
	IZQ	4,60 m	1,40 m	6,44 m2
	IZQ	3,70 m	1,00 m	3,70 m2
	IZQ	8,50 m	1,80 m	15,30 m2
	IZQ	16,50 m	3,20 m	52,80 m2
	IZQ	26,00 m	1,50 m	39,00 m2
	IZQ	10,00 m	1,00 m	10,00 m2
	IZQ	2,60 m	3,20 m	8,32 m2
	IZQ	18,00 m	1,50 m	27,00 m2
	IZQ	4,00 m	1,50 m	6,00 m2
	IZQ	9,30 m	3,00 m	27,90 m2
	IZQ	11,50 m	1,50 m	17,25 m2
	IZQ	132,00 m	1,50 m	198,00 m2
	IZQ	10,00 m	1,00 m	10,00 m2
	IZQ	9,00 m	3,50 m	31,50 m2
	IZQ	100,00 m	1,50 m	150,00 m2
	IZQ	8,00 m	1,50 m	12,00 m2
	IZQ	6,00 m	3,30 m	19,80 m2
	IZQ	24,70 m	1,50 m	37,05 m2
	IZQ	9,90 m	3,50 m	34,65 m2
	IZQ	77,00 m	1,70 m	130,90 m2
	IZQ	2,00 m	1,50 m	3,00 m2
	IZQ	20,00 m	1,00 m	20,00 m2
	IZQ	45,00 m	1,70 m	76,50 m2
	IZQ	5,70 m	1,80 m	10,26 m2
	IZQ	3,40 m	1,80 m	6,12 m2
	IZQ	41,60 m	1,70 m	70,72 m2
	IZQ	35,00 m	1,50 m	52,50 m2
	IZQ	19,00 m	1,50 m	28,50 m2
	IZQ	8,50 m	1,50 m	12,75 m2
	IZQ	85,50 m	1,60 m	136,80 m2
	IZQ	3,00 m	2,00 m	6,00 m2
	IZQ	3,80 m	2,00 m	7,60 m2
	IZQ	22,50 m	3,50 m	78,75 m2
	IZQ	23,00 m	2,00 m	46,00 m2
	IZQ	19,00 m	3,50 m	66,50 m2
	IZQ	12,00 m	1,00 m	12,00 m2
	IZQ	21,50 m	1,00 m	21,50 m2
	IZQ	2,80 m	2,50 m	7,00 m2
	IZQ	7,70 m	1,00 m	7,70 m2
	IZQ	25,00 m	2,00 m	50,00 m2
	IZQ	32,00 m	2,00 m	64,00 m2
	IZQ	26,40 m	3,50 m	92,40 m2
	IZQ	8,50 m	1,80 m	15,30 m2
	IZQ	33,00 m	17,00 m	561,00 m2
	IZQ	16,00 m	1,00 m	16,00 m2
	IZQ	1,80 m	1,00 m	1,80 m2
	IZQ	18,00 m	1,00 m	18,00 m2
	IZQ	9,70 m	1,00 m	9,70 m2

	IZQ	12,80 m	1,00 m	12,80 m2
	IZQ	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	IZQ	21,50 m	3,40 m	73,10 m2
	IZQ	12,00 m	3,40 m	40,80 m2
	IZQ	15,60 m	1,70 m	26,52 m2
	IZQ	16,90 m	1,70 m	28,73 m2
	IZQ	1,00 m	1,80 m	1,80 m2
	IZQ	4,40 m	1,80 m	7,92 m2
	IZQ	48,00 m	1,70 m	81,60 m2
	IZQ	6,00 m	1,50 m	9,00 m2
	IZQ	11,30 m	1,50 m	16,95 m2
	IZQ	6,70 m	1,70 m	11,39 m2
	IZQ	29,70 m	1,80 m	53,46 m2
	IZQ	1,00 m	1,80 m	1,80 m2
	IZQ	19,80 m	1,70 m	33,66 m2
	IZQ	18,00 m	3,60 m	64,80 m2
	IZQ	21,00 m	1,80 m	37,80 m2
	IZQ	1,90 m	1,00 m	1,90 m2
	IZQ	8,50 m	1,80 m	15,30 m2
	IZQ	1,80 m	1,00 m	1,80 m2
	IZQ	11,00 m	1,00 m	11,00 m2
	IZQ	1,00 m	2,60 m	2,60 m2
	IZQ	10,70 m	3,30 m	35,31 m2
	IZQ	7,00 m	1,40 m	9,80 m2
	DER	34,50 m	1,50 m	51,75 m2
	DER	3,10 m	1,80 m	5,58 m2
	DER	1,00 m	2,00 m	2,00 m2
	DER	1,00 m	1,80 m	1,80 m2
	DER	7,70 m	1,30 m	10,01 m2
	DER	7,00 m	1,30 m	9,10 m2
	DER	1,50 m	2,20 m	3,30 m2
	DER	38,00 m	1,60 m	60,80 m2
	DER	3,50 m	1,80 m	6,30 m2
	DER	3,00 m	1,80 m	5,40 m2
	DER	13,20 m	1,00 m	13,20 m2
	DER	2,00 m	3,60 m	7,20 m2
	DER	5,70 m	1,40 m	7,98 m2
	DER	22,20 m	1,40 m	31,08 m2
	DER	39,80 m	1,40 m	55,72 m2
	DER	1,00 m	1,00 m	1,00 m2
	DER	7,50 m	1,00 m	7,50 m2
	DER	1,00 m	1,60 m	1,60 m2
	DER	2,20 m	2,10 m	4,62 m2
	DER	1,00 m	16,00 m	16,00 m2
	DER	51,50 m	1,30 m	66,95 m2
	DER	1,00 m	1,90 m	1,90 m2
	DER	4,00 m	1,90 m	7,60 m2
	DER	6,00 m	2,40 m	14,40 m2
	DER	4,00 m	2,10 m	8,40 m2
	DER	11,00 m	1,60 m	17,60 m2
	DER	7,50 m	2,60 m	19,50 m2
	DER	4,70 m	3,60 m	16,92 m2
	DER	1,10 m	2,50 m	2,75 m2
	DER	1,00 m	2,50 m	2,50 m2
	DER	1,00 m	3,60 m	3,60 m2
	DER	10,70 m	1,20 m	12,84 m2
	DER	28,60 m	3,60 m	102,96 m2
	DER	14,80 m	1,80 m	26,64 m2
	DER	6,00 m	1,00 m	6,00 m2
	DER	51,60 m	1,20 m	61,92 m2
	DER	3,60 m	1,20 m	4,32 m2
	DER	4,30 m	1,00 m	4,30 m2
	DER	17,50 m	1,00 m	17,50 m2
	DER	2,40 m	1,00 m	2,40 m2
	DER	24,00 m	1,00 m	24,00 m2
	DER	22,40 m	1,00 m	22,40 m2

	DER	5,00 m	2,00 m	10,00 m2
	DER	14,20 m	2,00 m	28,40 m2
	DER	17,80 m	1,00 m	17,80 m2
	DER	27,00 m	1,50 m	40,50 m2
	DER	7,80 m	1,00 m	7,80 m2
	DER	19,00 m	1,00 m	19,00 m2
	DER	48,80 m	1,00 m	48,80 m2
	DER	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	DER	6,00 m	1,00 m	6,00 m2
	DER	2,10 m	1,80 m	3,78 m2
	DER	1,40 m	1,80 m	2,52 m2
	DER	67,50 m	1,50 m	101,25 m2
	DER	7,40 m	3,50 m	25,90 m2
	DER	4,30 m	2,00 m	8,60 m2
	DER	6,90 m	2,80 m	19,32 m2
	DER	13,30 m	1,80 m	23,94 m2
	DER	5,40 m	1,00 m	5,40 m2
	DER	6,60 m	2,80 m	18,48 m2
	DER	4,60 m	1,00 m	4,60 m2
	DER	8,30 m	3,50 m	29,05 m2
	DER	5,60 m	1,00 m	5,60 m2
	DER	6,40 m	1,00 m	6,40 m2
	DER	32,50 m	1,20 m	39,00 m2
	DER	167,50 m	1,50 m	251,25 m2
	DER	1,60 m	1,00 m	1,60 m2
	DER	4,50 m	1,00 m	4,50 m2
	DER	3,40 m	1,50 m	5,10 m2
	DER	1,00 m	3,50 m	3,50 m2
	DER	1,50 m	3,20 m	4,80 m2
	DER	5,60 m	1,50 m	8,40 m2
	DER	8,80 m	1,90 m	16,72 m2
	DER	4,10 m	1,90 m	7,79 m2
	DER	8,30 m	1,90 m	15,77 m2
	DER	12,50 m	1,00 m	12,50 m2
	DER	11,50 m	1,00 m	11,50 m2
	DER	23,80 m	1,00 m	23,80 m2
	DER	3,50 m	1,00 m	3,50 m2
	DER	24,60 m	1,50 m	36,90 m2
	DER	77,50 m	1,00 m	77,50 m2
	DER	77,50 m	1,00 m	77,50 m2
	DER	26,50 m	1,50 m	39,75 m2
	DER	5,50 m	1,50 m	8,25 m2
	DER	12,00 m	1,00 m	12,00 m2
	DER	30,00 m	1,50 m	45,00 m2
	DER	10,80 m	1,50 m	16,20 m2
	DER	29,00 m	1,00 m	29,00 m2
	DER	22,00 m	1,30 m	28,60 m2
	DER	63,00 m	1,00 m	63,00 m2
	DER	25,00 m	1,60 m	40,00 m2
	DER	6,50 m	1,00 m	6,50 m2
	DER	52,00 m	1,00 m	52,00 m2
	DER	147,00 m	1,00 m	147,00 m2
	IZQ	6,00 m	1,80 m	10,80 m2
	IZQ	11,70 m	1,00 m	11,70 m2
	IZQ	48,00 m	1,70 m	81,60 m2
	IZQ	2,00 m	2,00 m	4,00 m2
	IZQ	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	IZQ	12,00 m	2,00 m	24,00 m2
	IZQ	1,00 m	2,00 m	2,00 m2
	IZQ	1,70 m	2,00 m	3,40 m2
	IZQ	39,00 m	1,50 m	58,50 m2
	IZQ	1,00 m	1,90 m	1,90 m2
	IZQ	8,00 m	1,00 m	8,00 m2
	IZQ	19,70 m	2,00 m	39,40 m2
	IZQ	3,80 m	1,60 m	6,08 m2
	IZQ	52,00 m	1,70 m	88,40 m2

	IZQ	6,00 m	1,30 m	7,80 m2
	IZQ	3,00 m	1,20 m	3,60 m2
	IZQ	16,00 m	1,90 m	30,40 m2
	IZQ	1,90 m	1,70 m	3,23 m2
	IZQ	1,40 m	1,00 m	1,40 m2
	IZQ	9,00 m	1,90 m	17,10 m2
	IZQ	5,20 m	1,00 m	5,20 m2
	IZQ	16,00 m	1,50 m	24,00 m2
	IZQ	32,00 m	2,00 m	64,00 m2
	IZQ	8,00 m	1,50 m	12,00 m2
	IZQ	2,70 m	3,70 m	9,99 m2
	IZQ	38,00 m	1,50 m	57,00 m2
	IZQ	1,00 m	1,90 m	1,90 m2
15+500	IZQ	5,80 m	1,50 m	8,70 m2
	IZQ	1,00 m	2,00 m	2,00 m2
	IZQ	3,50 m	2,00 m	7,00 m2
	IZQ	11,70 m	3,50 m	40,95 m2
	IZQ	23,20 m	1,00 m	23,20 m2
	IZQ	7,00 m	2,00 m	14,00 m2
	IZQ	8,00 m	1,25 m	10,00 m2
	IZQ	27,00 m	3,50 m	94,50 m2
	IZQ	83,50 m	2,00 m	167,00 m2
	IZQ	1,00 m	1,50 m	1,50 m2
	IZQ	1,00 m	1,50 m	1,50 m2
	IZQ	4,00 m	1,50 m	6,00 m2
	IZQ	5,60 m	1,50 m	8,40 m2
	IZQ	3,50 m	2,00 m	7,00 m2
	IZQ	4,70 m	3,50 m	16,45 m2
	IZQ	13,00 m	1,80 m	23,40 m2
	IZQ	29,00 m	3,50 m	101,50 m2
	IZQ	3,50 m	1,50 m	5,25 m2
	IZQ	4,00 m	2,00 m	8,00 m2
	IZQ	3,50 m	1,00 m	3,50 m2
	IZQ	4,50 m	1,00 m	4,50 m2
	IZQ	1,00 m	2,20 m	2,20 m2
	IZQ	2,80 m	1,50 m	4,20 m2
	IZQ	1,00 m	3,20 m	3,20 m2
	IZQ	3,20 m	1,30 m	4,16 m2
	IZQ	2,50 m	3,50 m	8,75 m2
	IZQ	3,50 m	1,30 m	4,55 m2
	IZQ	7,30 m	3,50 m	25,55 m2
	IZQ	1,00 m	1,50 m	1,50 m2
	IZQ	1,80 m	1,50 m	2,70 m2
	IZQ	1,50 m	1,50 m	2,25 m2
	IZQ	2,00 m	1,50 m	3,00 m2
	IZQ	9,00 m	1,00 m	9,00 m2
	IZQ	8,20 m	1,50 m	12,30 m2
15+878	IZQ	30,00 m	1,50 m	45,00 m2
15+878	IZQ	40,00 m	1,50 m	60,00 m2
	IZQ	5,20 m	2,00 m	10,40 m2
	IZQ	1,00 m	2,00 m	2,00 m2
	IZQ	1,00 m	2,00 m	2,00 m2
	IZQ	3,80 m	2,00 m	7,60 m2
	IZQ	14,00 m	3,50 m	49,00 m2
	IZQ	3,50 m	1,80 m	6,30 m2
	IZQ	23,00 m	1,70 m	39,10 m2
	IZQ	9,00 m	1,00 m	9,00 m2
	IZQ	6,00 m	1,00 m	6,00 m2
	IZQ	10,80 m	1,70 m	18,36 m2
	IZQ	27,00 m	3,20 m	86,40 m2
	IZQ	17,00 m	1,50 m	25,50 m2
	IZQ	23,70 m	1,80 m	42,66 m2
	IZQ	7,00 m	1,50 m	10,50 m2
	IZQ	1,00 m	1,50 m	1,50 m2
	IZQ	9,00 m	1,80 m	16,20 m2
	IZQ	3,00 m	2,70 m	8,10 m2

	IZQ	3,90 m	3,20 m	12,48 m2
	IZQ	3,00 m	1,70 m	5,10 m2
	IZQ	2,00 m	2,20 m	4,40 m2
	IZQ	18,00 m	1,50 m	27,00 m2
	IZQ	10,00 m	3,20 m	32,00 m2
	IZQ	2,00 m	2,00 m	4,00 m2
	IZQ	1,00 m	1,00 m	1,00 m2
	IZQ	9,50 m	2,50 m	23,75 m2
	IZQ	6,90 m	2,00 m	13,80 m2
	IZQ	13,00 m	3,30 m	42,90 m2
	IZQ	7,00 m	3,30 m	23,10 m2
	IZQ	1,80 m	1,80 m	3,24 m2
	IZQ	8,80 m	2,00 m	17,60 m2
	IZQ	6,20 m	1,80 m	11,16 m2
	IZQ	6,00 m	1,50 m	9,00 m2
	IZQ	2,20 m	1,50 m	3,30 m2
	IZQ	20,00 m	1,50 m	30,00 m2
	IZQ	4,70 m	3,20 m	15,04 m2
	IZQ	8,30 m	1,50 m	12,45 m2
16+240	IZQ	19,20 m	3,60 m	69,12 m2
16+240	IZQ	30,20 m	1,50 m	45,30 m2
	IZQ	11,60 m	3,50 m	40,60 m2
	IZQ	88,60 m	1,50 m	132,90 m2
	IZQ	27,00 m	3,20 m	86,40 m2
	IZQ	11,00 m	3,00 m	33,00 m2
	IZQ	22,00 m	1,50 m	33,00 m2
	IZQ	18,50 m	1,50 m	27,75 m2
	IZQ	8,50 m	1,50 m	12,75 m2
	IZQ	32,00 m	1,50 m	48,00 m2
	IZQ	4,50 m	3,10 m	13,95 m2
	IZQ	7,00 m	1,50 m	10,50 m2
	IZQ	3,50 m	3,10 m	10,85 m2
	IZQ	4,50 m	3,10 m	13,95 m2
	IZQ	7,00 m	2,30 m	16,10 m2
	IZQ	26,00 m	1,50 m	39,00 m2
	IZQ	22,00 m	1,70 m	37,40 m2
	IZQ	6,00 m	1,50 m	9,00 m2
	IZQ	2,00 m	3,10 m	6,20 m2
	IZQ	1,50 m	1,50 m	2,25 m2
	IZQ	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	IZQ	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	IZQ	2,00 m	1,50 m	3,00 m2
	IZQ	12,00 m	1,50 m	18,00 m2
	IZQ	4,50 m	3,10 m	13,95 m2
	IZQ	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	IZQ	4,70 m	2,00 m	9,40 m2
	IZQ	3,00 m	1,50 m	4,50 m2
	IZQ	13,00 m	1,50 m	19,50 m2
	IZQ	5,40 m	2,00 m	10,80 m2
	IZQ	8,60 m	2,20 m	18,92 m2
	IZQ	5,00 m	2,20 m	11,00 m2
	DER	63,00 m	1,00 m	63,00 m2
	DER	156,00 m	1,00 m	156,00 m2
	DER	73,00 m	1,00 m	73,00 m2
	DER	10,00 m	1,50 m	15,00 m2
	DER	23,00 m	1,00 m	23,00 m2
	DER	130,00 m	1,30 m	169,00 m2
	IZQ	13,50 m	2,00 m	27,00 m2
	IZQ	11,00 m	4,00 m	44,00 m2
	IZQ	5,00 m	2,00 m	10,00 m2
	IZQ	8,30 m	3,50 m	29,05 m2
	IZQ	21,00 m	2,00 m	42,00 m2
	IZQ	12,50 m	3,50 m	43,75 m2
	IZQ	18,00 m	2,00 m	36,00 m2
	IZQ	2,90 m	2,60 m	7,54 m2
	IZQ	15,30 m	3,60 m	55,08 m2

	IZQ	6,80 m	3,60 m	24,48 m2
	IZQ	18,50 m	2,00 m	37,00 m2
	IZQ	10,70 m	2,00 m	21,40 m2
	IZQ	23,30 m	2,00 m	46,60 m2
	DER	220,00 m	1,30 m	286,00 m2
	DER	11,00 m	1,00 m	11,00 m2
	DER	7,00 m	1,00 m	7,00 m2
	DER	40,00 m	1,00 m	40,00 m2
	DER	6,00 m	1,00 m	6,00 m2
	DER	7,00 m	1,00 m	7,00 m2
	DER	6,50 m	1,00 m	6,50 m2
	DER	3,00 m	1,00 m	3,00 m2
	DER	32,00 m	1,00 m	32,00 m2
	DER	70,00 m	1,00 m	70,00 m2
	DER	3,00 m	1,00 m	3,00 m2
	DER	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	DER	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	DER	18,00 m	1,00 m	18,00 m2
	DER	3,00 m	1,00 m	3,00 m2
	DER	4,00 m	1,00 m	4,00 m2
	DER	3,20 m	1,00 m	3,20 m2
	DER	2,00 m	1,00 m	2,00 m2
	DER	63,00 m	1,20 m	75,60 m2
	DER	8,90 m	1,30 m	11,57 m2
	DER	61,00 m	1,20 m	73,20 m2
	DER	42,10 m	1,30 m	54,73 m2
	DER	12,00 m	1,20 m	14,40 m2
	DER	36,30 m	1,20 m	43,56 m2
	DER	13,90 m	1,00 m	13,90 m2
	DER	15,00 m	1,30 m	19,50 m2
	DER	16,00 m	1,30 m	20,80 m2
	DER	9,60 m	1,30 m	12,48 m2
	DER	15,00 m	1,00 m	15,00 m2
	DER	8,00 m	1,30 m	10,40 m2
	DER	12,30 m	2,60 m	31,98 m2
	DER	41,80 m	1,00 m	41,80 m2
	DER	35,70 m	1,20 m	42,84 m2
	DER	41,00 m	1,20 m	49,20 m2
	DER	17,70 m	1,30 m	23,01 m2
	DER	5,40 m	1,20 m	6,48 m2
	DER	28,00 m	1,00 m	28,00 m2
	DER	31,00 m	1,20 m	37,20 m2
	DER	4,00 m	1,10 m	4,40 m2
	DER	2,50 m	1,00 m	2,50 m2
	DER	3,00 m	1,00 m	3,00 m2
	DER	10,50 m	1,00 m	10,50 m2
	DER	2,10 m	1,20 m	2,52 m2
	DER	4,00 m	1,00 m	4,00 m2
	DER	9,00 m	1,00 m	9,00 m2
	DER	18,00 m	1,10 m	19,80 m2
	DER	21,50 m	1,00 m	21,50 m2
	IZQ	4,00 m	1,50 m	6,00 m2
	IZQ	17,00 m	1,50 m	25,50 m2
	IZQ	43,50 m	1,50 m	65,25 m2
	IZQ	4,00 m	1,50 m	6,00 m2
	IZQ	34,00 m	2,00 m	68,00 m2
	IZQ	44,20 m	1,50 m	66,30 m2
	IZQ	1,50 m	1,50 m	2,25 m2
	IZQ	5,50 m	1,50 m	8,25 m2
	IZQ	5,00 m	1,50 m	7,50 m2
	DER	1,00 m	1,00 m	1,00 m2
	DER	1,00 m	1,00 m	1,00 m2
	DER	15,70 m	1,00 m	15,70 m2
	DER	3,50 m	1,00 m	3,50 m2
	DER	12,30 m	1,40 m	17,22 m2
	DER	11,00 m	1,00 m	11,00 m2

	DER	94,60 m	1,40 m	132,44 m2
18+500	IZQ	5,50 m	1,30 m	7,15 m2
	IZQ	18,00 m	1,40 m	25,20 m2
	IZQ	22,00 m	1,10 m	24,20 m2
	IZQ	12,00 m	1,70 m	20,40 m2
	IZQ	6,00 m	1,50 m	9,00 m2
	IZQ	3,50 m	1,00 m	3,50 m2
	IZQ	5,50 m	1,00 m	5,50 m2
18+500	IZQ	18,00 m	2,00 m	36,00 m2
	IZQ	4,00 m	1,50 m	6,00 m2
	IZQ	6,00 m	1,00 m	6,00 m2
	IZQ	19,00 m	1,20 m	22,80 m2
	IZQ	117,60 m	2,00 m	235,20 m2
	IZQ	8,50 m	1,80 m	15,30 m2
	IZQ	45,00 m	3,00 m	135,00 m2
	IZQ	6,50 m	1,80 m	11,70 m2
	IZQ	16,00 m	3,00 m	48,00 m2
	IZQ	60,00 m	1,90 m	114,00 m2
	IZQ	1,70 m	3,00 m	5,10 m2
	IZQ	4,50 m	2,00 m	9,00 m2
	IZQ	3,00 m	3,00 m	9,00 m2
	IZQ	4,00 m	1,60 m	6,40 m2
	IZQ	14,00 m	2,00 m	28,00 m2
	IZQ	5,00 m	1,60 m	8,00 m2
	IZQ	29,20 m	3,00 m	87,60 m2
	IZQ	5,00 m	1,80 m	9,00 m2
	IZQ	19,00 m	3,00 m	57,00 m2
	DER	6,90 m	1,30 m	8,97 m2
	DER	8,20 m	1,20 m	9,84 m2
	DER	4,00 m	1,00 m	4,00 m2
	DER	2,70 m	1,00 m	2,70 m2
	DER	3,10 m	1,00 m	3,10 m2
	DER	3,00 m	1,30 m	3,90 m2
	DER	29,00 m	1,20 m	34,80 m2
	DER	4,00 m	2,00 m	8,00 m2
	DER	15,00 m	1,50 m	22,50 m2
	DER	10,50 m	1,30 m	13,65 m2
	DER	19,50 m	1,00 m	19,50 m2
	DER	2,90 m	1,30 m	3,77 m2
	DER	10,50 m	1,20 m	12,60 m2
	DER	5,50 m	1,50 m	8,25 m2
	DER	1,70 m	2,40 m	4,08 m2
	DER	1,70 m	1,00 m	1,70 m2
	DER	3,80 m	1,00 m	3,80 m2
	DER	6,50 m	1,50 m	9,75 m2
	DER	91,00 m	1,00 m	91,00 m2
	DER	32,00 m	2,00 m	64,00 m2
	DER	3,40 m	2,00 m	6,80 m2
	DER	20,00 m	2,00 m	40,00 m2
	DER	3,60 m	1,00 m	3,60 m2
	DER	2,50 m	2,00 m	5,00 m2
	DER	4,50 m	2,00 m	9,00 m2
	DER	2,50 m	1,50 m	3,75 m2
	DER	15,50 m	1,50 m	23,25 m2
	DER	3,00 m	2,00 m	6,00 m2
	DER	6,50 m	1,00 m	6,50 m2
	DER	284,00 m	2,00 m	568,00 m2
	DER	19,00 m	1,00 m	19,00 m2
	DER	1,40 m	1,30 m	1,82 m2
	DER	48,00 m	1,20 m	57,60 m2
	DER	37,00 m	1,50 m	55,50 m2
	DER	3,00 m	3,30 m	9,90 m2
	DER	4,70 m	1,20 m	5,64 m2
	DER	21,00 m	1,30 m	27,30 m2
	IZQ	16,00 m	2,00 m	32,00 m2
	IZQ	23,50 m	1,60 m	37,60 m2

	IZQ	2,70 m	1,50 m	4,05 m2
	IZQ	21,50 m	1,00 m	21,50 m2
	IZQ	38,00 m	1,00 m	38,00 m2
	IZQ	8,90 m	1,20 m	10,68 m2
	IZQ	16,50 m	1,40 m	23,10 m2
	IZQ	9,00 m	1,70 m	15,30 m2
	IZQ	3,90 m	1,30 m	5,07 m2
	IZQ	2,00 m	2,00 m	4,00 m2
	IZQ	1,00 m	1,60 m	1,60 m2
	IZQ	19,20 m	1,50 m	28,80 m2
	IZQ	16,00 m	1,20 m	19,20 m2
	IZQ	4,70 m	1,30 m	6,11 m2
	IZQ	1,50 m	1,40 m	2,10 m2
	IZQ	4,70 m	2,00 m	9,40 m2
	IZQ	4,00 m	1,30 m	5,20 m2
	IZQ	3,00 m	2,00 m	6,00 m2
	IZQ	4,70 m	2,20 m	10,34 m2
	DER	17,30 m	3,50 m	60,55 m2
18+250	IZQ	12,00 m	2,10 m	25,20 m2
	IZQ	12,00 m	2,00 m	24,00 m2
	IZQ	3,00 m	3,70 m	11,10 m2
	IZQ	7,70 m	3,50 m	26,95 m2
	IZQ	27,80 m	3,50 m	97,30 m2
19+600	IZQ	15,70 m	3,50 m	54,95 m2
	IZQ	4,80 m	2,50 m	12,00 m2
	IZQ	16,20 m	3,50 m	56,70 m2
18+470	IZQ	4,30 m	1,50 m	6,45 m2
	DER	6,00 m	2,50 m	15,00 m2
	DER	8,00 m	2,50 m	20,00 m2
	DER	6,50 m	3,10 m	20,15 m2
	DER	6,00 m	3,40 m	20,40 m2
	IZQ	9,00 m	2,00 m	18,00 m2
	IZQ	10,50 m	2,00 m	21,00 m2
	IZQ	7,60 m	1,20 m	9,12 m2
	IZQ	5,70 m	23,00 m	131,10 m2
	IZQ	3,00 m	1,30 m	3,90 m2
	IZQ	5,90 m	3,20 m	18,88 m2
	IZQ	5,00 m	1,20 m	6,00 m2
	IZQ	9,50 m	3,30 m	31,35 m2
	IZQ	6,30 m	1,20 m	7,56 m2
	IZQ	11,50 m	3,10 m	35,65 m2
	IZQ	4,80 m	1,20 m	5,76 m2
	IZQ	2,70 m	3,20 m	8,64 m2
	IZQ	10,60 m	1,20 m	12,72 m2
	IZQ	5,20 m	1,20 m	6,24 m2
	IZQ	6,00 m	1,00 m	6,00 m2
	IZQ	3,60 m	2,00 m	7,20 m2
	IZQ	36,00 m	1,30 m	46,80 m2
	IZQ	7,00 m	2,00 m	14,00 m2
	IZQ	21,00 m	1,00 m	21,00 m2
	IZQ	18,20 m	1,40 m	25,48 m2
19+500	IZQ	7,30 m	2,00 m	14,60 m2
	IZQ	3,00 m	3,40 m	10,20 m2
	IZQ	22,30 m	1,30 m	28,99 m2
	IZQ	1,00 m	1,40 m	1,40 m2
	IZQ	6,00 m	1,30 m	7,80 m2
	IZQ	1,00 m	1,00 m	1,00 m2
	IZQ	3,60 m	1,30 m	4,68 m2
	IZQ	2,30 m	1,20 m	2,76 m2
	IZQ	3,80 m	1,00 m	3,80 m2
	IZQ	1,00 m	3,30 m	3,30 m2
	DER	3,00 m	1,00 m	3,00 m2
19+700	DER	7,00 m	1,00 m	7,00 m2
	DER	5,00 m	1,00 m	5,00 m2
	DER	2,50 m	1,80 m	4,50 m2
	DER	1,70 m	2,50 m	4,25 m2

	DER	25,00 m	1,00 m	25,00 m ²
	DER	1,70 m	2,50 m	4,25 m ²
	DER	11,50 m	1,00 m	11,50 m ²
	DER	12,90 m	1,00 m	12,90 m ²
	DER	8,00 m	1,00 m	8,00 m ²
	IZQ	5,50 m	1,00 m	5,50 m ²
	Eje	24,00 m	2,00 m	48,00 m ²
	Eje	11,00 m	2,00 m	22,00 m ²
	Eje	13,80 m	2,20 m	30,36 m ²
	IZQ	1,00 m	2,00 m	2,00 m ²
	IZQ	1,50 m	2,10 m	3,15 m ²
	IZQ	2,10 m	1,00 m	2,10 m ²
	IZQ	10,00 m	1,10 m	11,00 m ²
	IZQ	1,10 m	1,50 m	1,65 m ²
	Eje	14,80 m	1,60 m	23,68 m ²
	DER	6,50 m	1,10 m	7,15 m ²
	IZQ	1,10 m	2,20 m	2,42 m ²
	IZQ	11,80 m	1,00 m	11,80 m ²
	Eje	6,40 m	1,10 m	7,04 m ²
	DER	1,50 m	1,10 m	1,65 m ²
	DER	3,20 m	1,00 m	3,20 m ²
19+400	DER	10,40 m	1,10 m	11,44 m ²

Tabla 1. Detalle cómputo de baches realizados dentro de tramo evaluado

ANEXO 2 – DATOS CARGADOS EN HDM4

Este anexo contiene un cuadro resumen que consolida los parámetros de entrada que fueron cargados en el software HDM-4 para el modelado y análisis de las estrategias.

Datos comunes para todos los escenarios			
GEOMÉTRICAS			
Longitud tramo	10 km		
Ancho Calzada	7,3 m		
Peralte	0,01		
Ancho Banquinas	2,5 m		
Velocidad limite	110 km/h		
Topografía	Llana		
Subidas más bajadas	2 m/km		
Curvatura horizontal promedio	2 Grados/km		
Altitud	100 msnm		
ESTRUCTURA			
Capas	Espesor	Composición	Año
	0,05 m	Concreto asfáltico	2000
	0,15 m	Base granular	2000
	0,05 m	Concreto asfáltico	1970
	0,15 m	Subbase granular	1970
CBR Subrasante	15		
Drenes	Sin drenes		
CONDICIÓN DE ESTADO			
Rugosidad	4 m/km IRI		
Ahuellamiento	10 mm		
Fisuras	4% grado 4, fisuras totales 17%, fisuras anchas 4%		
Baches abiertos	70 baches por kilómetro		
Drenaje	Regular		
Peladura	0		
Rotura de borde	0		
TRANSITO			
Colectivos	10%		
Vehiculos livianos	50%		
Vehiculos semipesados	20%		
Vehiculos pesados	20%		
Crecimiento anual	2,5%		

Datos de entrada con variantes para 4 combinaciones para cada escenario				
TMDA	4500	4500	6000	6000
Numero Estructural (SN)	2,65	3	2,65	3

ANEXO 3 – CAPTURAS DE PANTALLA HDM4

Este anexo complementa la información presentando una serie de capturas de pantalla que ilustran los pasos y las interfaces del software HDM-4 durante el proceso de carga de los parámetros utilizados para el análisis.

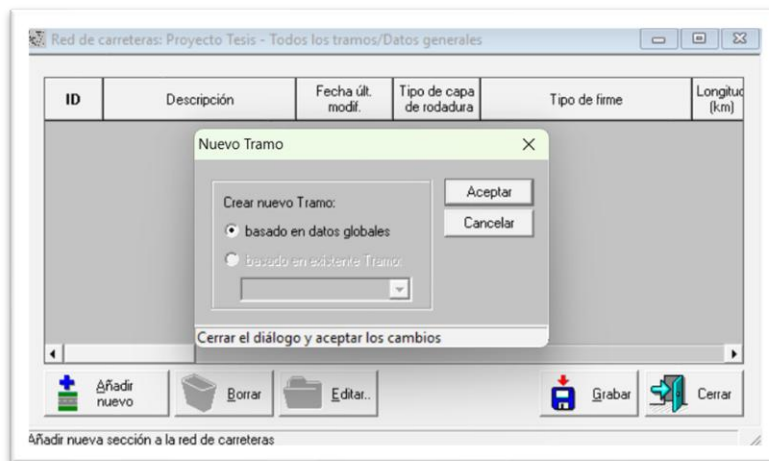


Figura 51. Creación de nuevo tramo

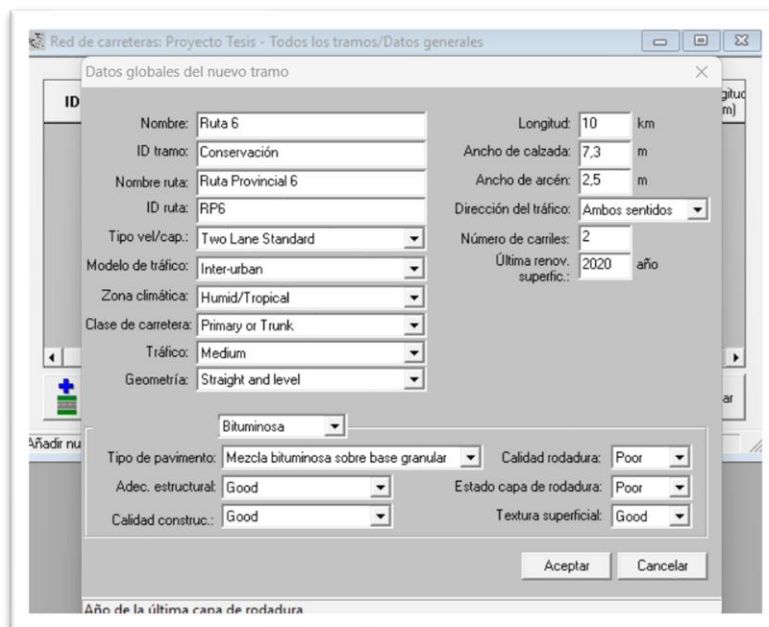


Figura 52. Datos globales del nuevo Tramo Ruta 6

ramo: Ruta 6

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo: Ruta 6
ID del tramo: Conservación
Nombre ruta: Ruta Provincial 6
ID de ruta: RP6
Tipo de vel/cap: Two Lane Standard
Modelo de tráfico: Inter-urban
Zona climática: Humid/Tropical
Clase carretera: Primary or Trunk
Tipo c.rodadura: Bituminosa
Tipo firme: Mezcla bituminosa sobre base granular

Longitud: 10 km
Ancho de calzada: 7.3 m
Ancho de arcén: 2.5 m
Número de carriles: 2

Tráfico
Motorizado: 4500 IMD
No motorizado: 0 IMD
Año: 2024
Sentido: Ambos sentidos

Detalles... Aceptar Cancelar

romedio anual de la intensidad de tráfico medio diario motorizado para el tramo

Figura 53. Datos definición de Tramo Ruta 6

ramo: Ruta 6

Definición | Geometría | Fime | Estado

Rampas + pendientes: 2 m/km
Curvatura horizontal media: 2 %/km
Velocidad límite: 110 km/h
Altitud: 110 m
Tipo dren: No hay efectos del drenaje

Detalles... Aceptar Cancelar

tipo de drenaje

Figura 54. Datos geométricos de Tramo Ruta 6

Tramo: Ruta 6

Definición | Geometría | Firme | Estado

Capa de Rodadura

Tipo material: Mezcla bituminosa

Espesor más reciente: 50 mm

Espesor anterior/antiguo: 0 mm

Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)

Últ. reconstr. o nueva const.: 2020 año

Última rehabilitación (capa rodadura): 2020 año

Último repavimentado (resellado): 2020 año

Último tratamiento preventivo: 2020 año

Capacidad de Soporte

Parámetros calc. para estación húmeda

SNP: 4.17 DEF: 0.66 mm

[1] Número estructural: 2.65

CBR explanada: 15 %

Estación seca Estación húmeda

[2] SNP calculado:

Base (sólo para bases estabilizadas)

Espesor base: mm

Módulo Resiliencia: GPa

datos recogidos durante la estación húmeda

Figura 55. Datos del pavimento del Tramo Ruta 6

Tramo: Ruta 6

Definición | Geometría | Firme | Estado

Estado a final de año	2024
Regularidad (IRI - m/km)	4.00
Área total fisurada (%)	17.00
Área con desp. de áridos (%)	20.00
Número de baches (N ^o /km)	70.00
Área con rotura de borde (m ² /km)	0.00
Profundidad media de roderas	10.00
Textura (mm)	0.30
Rozamiento (SCRIM 50 km/h)	0.35
Drenaje	Excelente ▼

Edición en columnas para un nuevo año de datos de estado

Figura 56. Datos de estado del Tramo Ruta 6

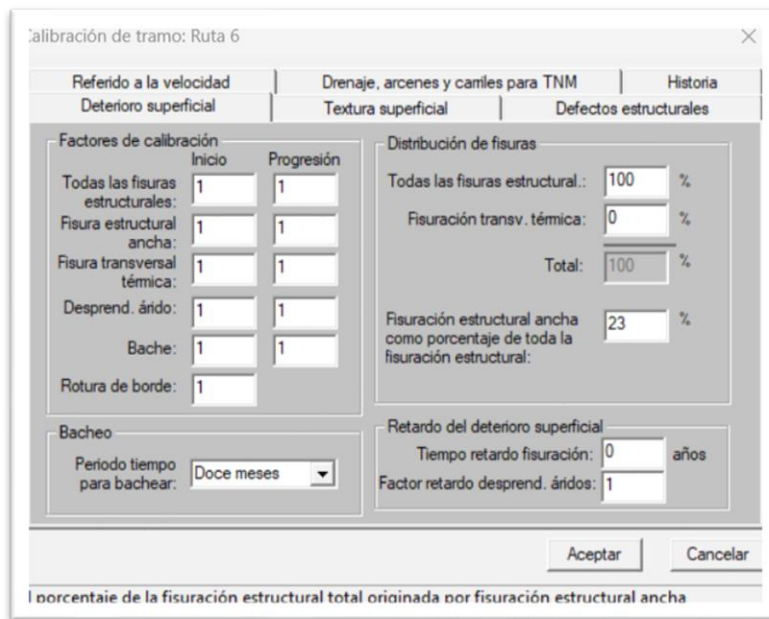


Figura 57. Calibración de Tramo Ruta 6



Figura 58. Creando nuevo proyecto "Proyecto Tesis"

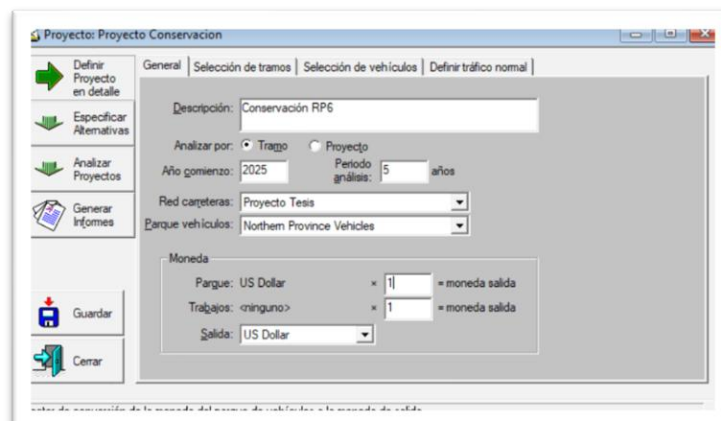


Figura 59. Definiciones generales Proyecto

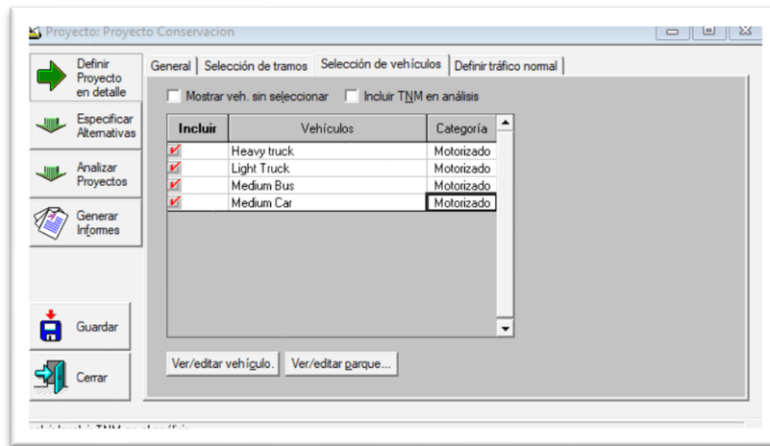


Figura 60. Definición de vehículos de Proyecto

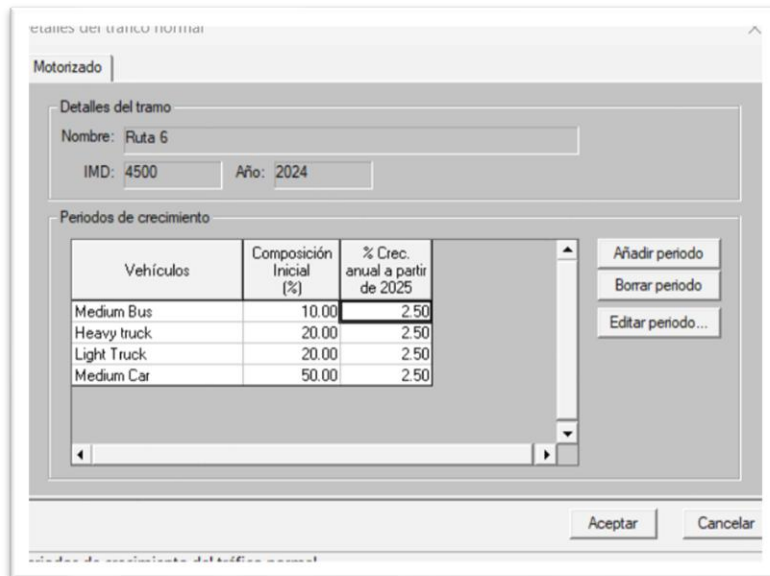


Figura 61. Definición de composición del tránsito del proyecto

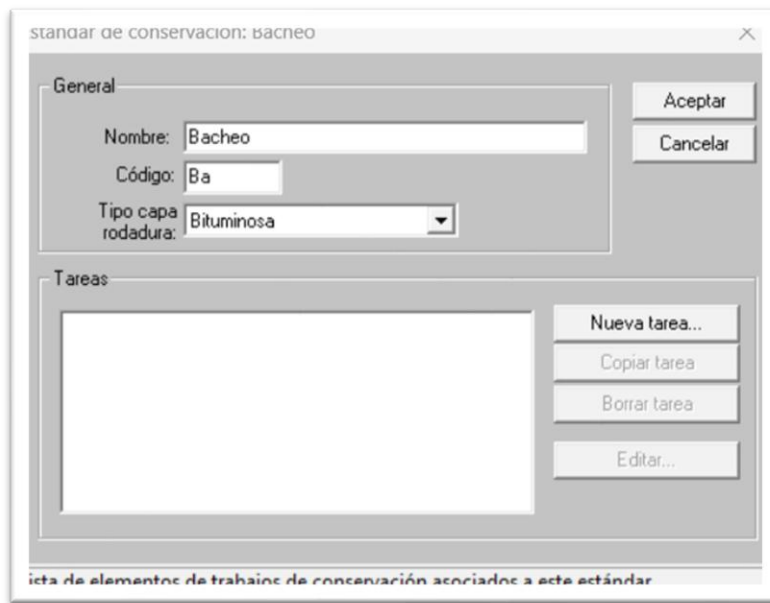


Figura 62. Definición de estándar de conservación como alternativa del proyecto

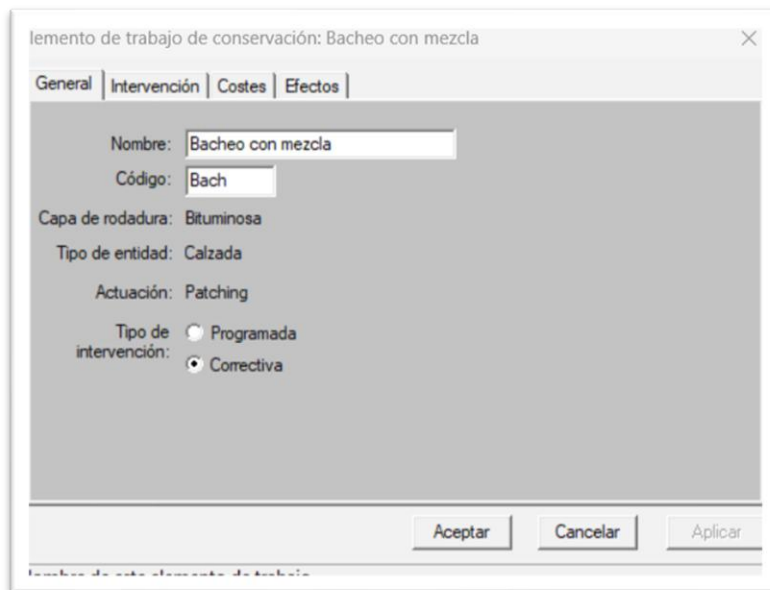


Figura 63. Definiciones generales de alternativa de conservación

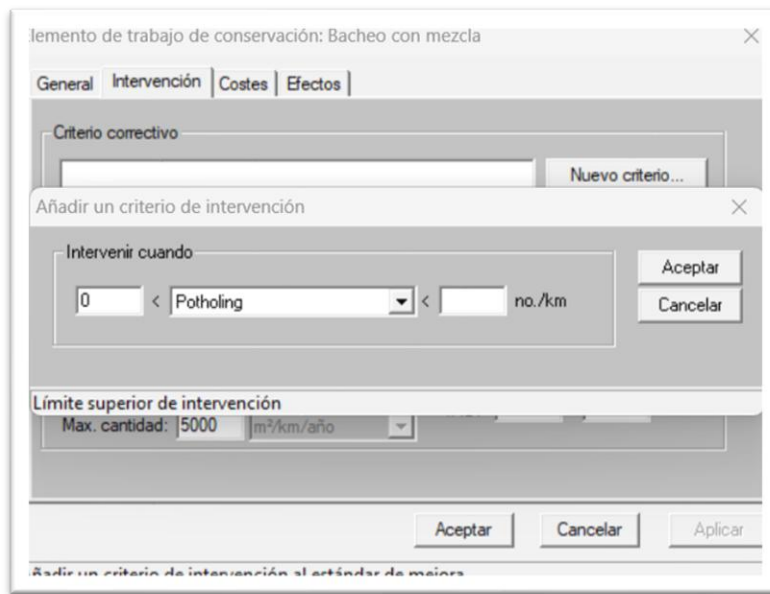


Figura 64. Definiciones de criterios de alternativa de conservación

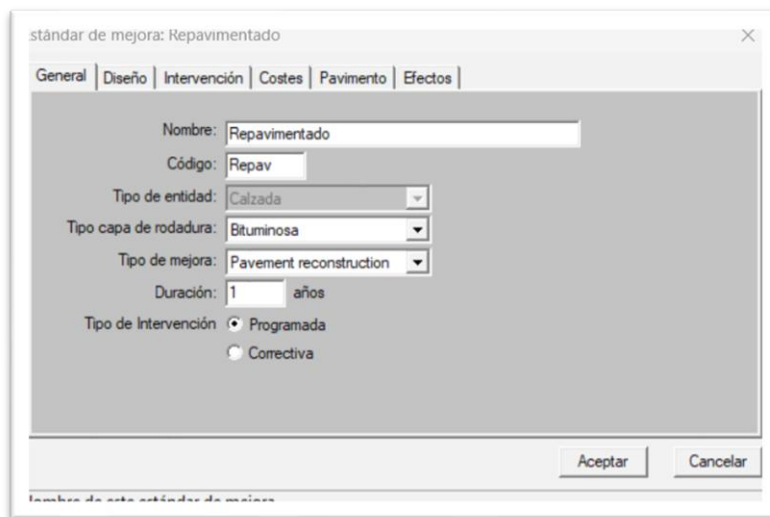


Figura 65. Definición de Estándar de Mejora como alternativa del proyecto

ANEXO 4 – GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS Y ASPECTOS A CONTROLAR PARA LOGRAR BUENOS RESULTADOS EN TAREAS DE BACHEO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Introducción

El mantenimiento de la infraestructura vial es un pilar fundamental para la seguridad y eficiencia del transporte. Dentro de las intervenciones más recurrentes se encuentra el bacheo, una tarea que, a pesar de su aparente simplicidad, es una fuente común de fallas prematuras si no se ejecuta con rigor. Esta guía, desarrollada a partir de la investigación en la presente tesis y el análisis de diversas referencias técnicas, se centra en las buenas prácticas y los aspectos críticos a controlar para mitigar los defectos recurrentes en el bacheo de pavimentos asfálticos. Su propósito es servir como una herramienta práctica para la toma de decisiones y la supervisión en campo, garantizando la durabilidad y la optimización de los recursos.

1. Comprender la Raíz del Problema: Causas y Evolución de los Baches

Un bache no es solo un agujero; es la manifestación de un deterioro subyacente que, si no se aborda correctamente, llevará a la falla del parche realizado. Los defectos más comunes se originan en:

- **Infiltración de Humedad y Tránsito:** La acción combinada de agua y cargas de tránsito es el motor principal de la desintegración del pavimento. La humedad se filtra por fisuras, grietas o zonas porosas, debilitando las capas inferiores. El tránsito repetido sobre estas zonas saturadas provoca una erosión progresiva del material fino y la pérdida de soporte, desencadenando la formación del bache. Los ciclos de congelación y deshielo, comunes en ciertas regiones, amplifican este daño al expandir y contraer el agua infiltrada. (Wolters R. O., 2003)

Defectos a prevenir: Fallas por humedad en la base o subrasante, bombeo de finos.

- **Deficiencias en la Construcción y Calidad de Materiales:** Errores como la falta de compactación adecuada en las capas de base, temperaturas incorrectas de la mezcla asfáltica durante la colocación, segregación de los agregados, espesores insuficientes o heterogéneos, y una inadecuada dosificación del ligante asfáltico, crean puntos débiles estructurales que evolucionan rápidamente en baches (Jiménez-Momediano, 2015). La baja afinidad entre el asfalto y los agregados, así como una mezcla poco flexible, contribuyen a la fisuración y el desprendimiento prematuro.

Defectos a prevenir: Desintegración prematura del bache, desprendimiento de agregados, fisuración por fatiga.

- **Fatiga y Envejecimiento del Material:** Con el tiempo y la exposición al ambiente y al tráfico, el asfalto pierde su elasticidad, volviéndose más rígido y susceptible a la fisuración y la desintegración.

Defectos a prevenir: Baches por envejecimiento, fisuración superficial.

La evolución de un bache superficial a uno profundo es rápida y exponencial. Ignorar un bache en su fase inicial resulta en mayores costos de reparación y un riesgo constante para la seguridad vial.



Figura 66. Evolución de un bache (LanammeUCR, Guía para inspectores para bacheo formal con mezcla asfáltica en caliente. Segunda edición., 2021)

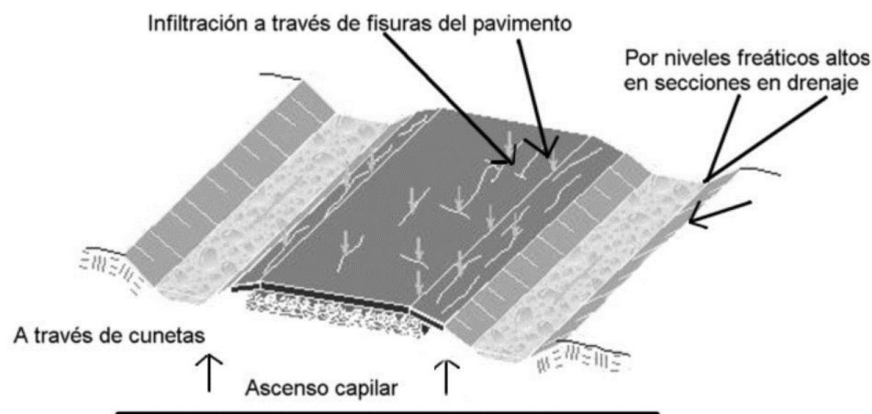


Figura 67. Mecanismos de infiltración de humedad (Blog: Pavimentos, s.f.)

2. Selección Correcta de Productos y Materiales: Clave para la Durabilidad

La elección del material de bacheo debe adaptarse a la situación y al objetivo de durabilidad, evitando el uso de productos inadecuados que generen fallas.

- **Mezclas Asfálticas Calientes:** Son la opción óptima para reparaciones permanentes. Su durabilidad superior se debe a la mejor compactación y cohesión que ofrecen. Requieren planificación y una logística adecuada de transporte y colocación para mantener la temperatura (WSDOT, 2017).

Defectos a prevenir: Fallas estructurales del parche a largo plazo, alta permeabilidad.

- **Mezclas en Frío:** Adecuadas para reparaciones de emergencia o temporales, especialmente cuando se necesita una apertura rápida al tránsito. Su limitación radica en una menor durabilidad y mayor permeabilidad en comparación con las mezclas en caliente (Department for Transport, 2019).

Defectos a prevenir: Desprendimiento por baja adherencia o lavado, deformaciones.

- **Materiales Tratados con Cemento (Hormigón):** Usados en baches de gran volumen o donde se requiere fraguado rápido. Su rigidez los hace menos compatibles con pavimentos asfálticos circundantes si no se manejan adecuadamente las juntas.

Defectos a prevenir: Fisuración por incompatibilidad de rigidez, desprendimiento de bordes.

- **Emulsiones Asfálticas para Riego de Liga:** Esenciales para la adherencia. Se utilizan emulsiones de rotura rápida, a menudo modificadas con polímeros para mejorar el rendimiento (LanammeUCR, Guía para inspectores para bacheo formal con mezcla asfáltica en caliente. Segunda edición., 2021). La no compatibilidad entre la emulsión y la base, o su aplicación inadecuada, son fuentes de fallas.

Defectos a prevenir: Despegue del bache, inestabilidad del bache, fisuración temprana en la interfaz.

3. Procedimiento de Ejecución: Mitigando Defectos en Cada Paso

El seguimiento estricto de un procedimiento de bacheo es fundamental para evitar las fallas más comunes.

- **Delimitación y Corte:** Base de una Reparación Duradera

Buena Práctica: Delimitar el área a reparar extendiéndose al menos 30 cm más allá del daño visible, sobre material sano. Los cortes deben ser verticales y cuadrados, preferiblemente mediante aserrado. Esto proporciona una contención lateral al nuevo parche y evita fisuras en los bordes (Wolters R. O., 2003).

Defecto a Evitar: Cortes irregulares o sobre material dañado, lo que lleva a un soporte deficiente y fallas de borde prematuras. El "balanceo" excesivo del martillo neumático puede debilitar el pavimento adyacente (Wolters R. O., 2003).

- **Remoción del Material Deteriorado y Limpieza:**

Buena Práctica: Remover todo el material dañado hasta alcanzar una base estable y firme. Si la base está inestable, debe ser removida y reemplazada. El bache debe estar completamente limpio y seco (sin polvo, escombros o humedad) antes de la aplicación de cualquier material (WSDOT, 2017).

Defecto a Evitar: Dejar material suelto, polvo o humedad en el bache. Esto impide la correcta adherencia del nuevo material y causa una falla temprana por desprendimiento o inestabilidad.

- **Aplicación de Riego de Liga: El Puente de Adherencia**

Buena Práctica: Aplicar una capa uniforme y fina de riego de liga. Su función es asegurar la adherencia entre el pavimento existente y la nueva mezcla. Para bases granulares, primero un riego de imprimación previo. La altura de la barra pulverizadora es crítica para la uniformidad (LanammeUCR, Guía para inspectores para bacheo formal con mezcla asfáltica en caliente. Segunda edición., 2021).

Defecto a Evitar: Exceso o deficiencia de riego de liga. Un exceso puede generar una capa resbaladiza e inestabilidad del bache, mientras que una deficiencia provoca la falta de adherencia y el despegue del parche (WSDOT, 2017).

- **Colocación de la Mezcla Asfáltica Caliente: Densidad y Nivelación**

Buena Práctica: Depositar la mezcla cuidadosamente para evitar la segregación de agregados. Se recomienda una sola capa (si el espesor lo permite) para maximizar la densidad in-situ. Nivelar uniformemente, dejando el bache ligeramente sobreelevado (3 a 6 mm) respecto al pavimento circundante antes de la compactación (Wolters R. O., 2003).

Defecto a Evitar: Segregación de la mezcla (separación de agregados finos y gruesos), lo que reduce la densidad y durabilidad. Sub-compactación por falta de material o nivelación incorrecta.

- **Compactación: El Factor Crítico de Durabilidad**

Buena Práctica: La compactación densa y uniforme es el paso más crítico. Utilizar rodillos compactadores de acero, preferiblemente vibratorios para capas de más de 10 cm. La compactación debe iniciarse desde los bordes del bache y avanzar hacia el centro. Cada capa, en baches profundos, debe compactarse individualmente (Wolters R. O., 2003). El número de pasadas debe ser suficiente para alcanzar la densidad especificada por laboratorio.

Cuando hablamos de bacheo, la compactación debe realizarse de forma transversal al eje de la ruta en los empalmes entre la nueva mezcla y la calzada existente. Esta técnica es fundamental para que el material recién colocado se adapte al perfil transversal de la calzada, copiando cualquier ahuellamiento preexistente. De no hacerlo, se corre el riesgo de que quede ligeramente por encima del nivel del pavimento adyacente, lo que genera un "salto" al ser transitado por los vehículos y afecta negativamente el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Defecto a Evitar: Compactación insuficiente, que resulta en un parche permeable, débil, propenso a la deformación y la entrada de agua. Una mala compactación es una causa principal de falla prematura del bache (Anderson & Thomas, 1981). Compactación a temperaturas inadecuadas de la mezcla asfáltica. Disconformidad de usuarios.

- **Acabado Final y Sellado de Bordes:**

Buena Práctica: Una vez compactado, si se usó mezcla en frío, se puede aplicar arena para evitar adherencia a neumáticos. Sellar los bordes del bache con material bituminoso, como un sellador de juntas, es una práctica recomendada para prevenir la infiltración de agua en la interfaz entre el bache y el pavimento existente.

Defecto a Evitar: Dejar los bordes sin sellar, creando un punto débil para la entrada de agua y el eventual desprendimiento del parche.

4. Maquinaria y Equipos: Optimizando la Ejecución

La selección adecuada de la maquinaria impacta directamente en la calidad del bacheo y en la prevención de defectos.

- **Maquinaria de Proyección:** Ofrecen eficiencia y rapidez, resultando en bacheos más duraderos al aplicar el material de forma más homogénea y compacta (McHale Nicholls and I Carswell, 2016).
- **Compactadores Específicos:** Rodillos vibratorios pequeños, planchas vibrantes o pisones son esenciales para asegurar la densidad en baches de diferentes tamaños y formas [3].
- **Distribuidores Modernos de Emulsión:** Equipados con sensores y control de velocidad para garantizar tasas de aplicación precisas y uniformes, evitando los defectos asociados a una aplicación errónea del riego de liga.

5. Control de Calidad y Prevención de Fallas: Rol Fundamental del Inspector

Un control de calidad riguroso en todas las fases es la principal herramienta para prevenir los defectos de bacheo. El inspector es una figura clave.

- **Rol del Inspector:** Debe ser una persona honesta, con sentido común, habilidades de observación y capaz de llevar registros completos. Su función es crítica para asegurar que se sigan los procedimientos y se detecten desviaciones que puedan llevar a fallas [8].
- **Control de Temperaturas:** Monitorear constantemente la temperatura de la mezcla asfáltica en planta y en obra. Temperaturas fuera del rango óptimo (aprox. 140°C) afectan la compactabilidad y la durabilidad del material (Jiménez-Momediano, 2015).
- **Control de Dosificación:** Verificar la calibración de las balanzas en la planta de asfalto para asegurar las proporciones correctas de agregados y ligante. La segregación de la mezcla es un defecto común asociado a una mala dosificación o manipulación.
- **Calidad de los Áridos:** Inspeccionar la calidad de los agregados, prestando atención al contenido de polvo o humedad, que puede impedir la adherencia del asfalto.
- **Densidad de Compactación:** Realizar ensayos en campo para verificar que el bache alcanza la densidad especificada. La falta de densidad es una causa fundamental de permeabilidad y desintegración temprana.
- **Delimitación y Cortes:** El inspector debe asegurar que los cortes se realicen sobre material sano y con la forma adecuada para proporcionar un buen confinamiento al bache.
- **Control de Espesores y Nivelación:** Verificar que los espesores de las capas son los correctos y que la nivelación es adecuada para garantizar el drenaje superficial y la uniformidad.
- **Seguridad en Zona de Trabajo:** Garantizar la adecuada señalización y gestión del tránsito para la seguridad del personal y los usuarios. El incumplimiento de estas normas es un factor de riesgo para accidentes.

6. El Bacheo en la Gestión Integral de Pavimentos: Estrategias para la Prevención de Defectos Mayores

El bacheo, aunque esencial y tal como se desarrolló en esta tesis, no debe ser la única herramienta de gestión. Una visión integral previene la recurrencia de baches y prolonga la vida útil de la vía.

- **Mantenimiento Preventivo:** Es más rentable y efectivo que el bacheo correctivo. Las inspecciones regulares permiten detectar deficiencias incipientes (fisuras, pérdida de perfil, etc.) y programar reparaciones antes de que se conviertan en baches. Esta proactividad reduce la cantidad de baches y, por ende, los costos a largo plazo.

Defectos a prevenir: Deterioro generalizado del pavimento que exija un bacheo constante.

- **Importancia del Drenaje:** Un drenaje superficial y subsuperficial deficiente es una causa primordial de baches. Priorizar la mejora del drenaje en las zonas problemáticas reduce significativamente la aparición de baches futuros.

Defectos a prevenir: Baches recurrentes en zonas de acumulación de agua.

7. Conclusión

La implementación de estas buenas prácticas no solo optimiza la infraestructura, sino que mejora directamente la seguridad vial y el confort de los usuarios, reduciendo los costos operativos de los vehículos.

La presente guía destaca que la efectividad del bacheo formal radica en la minuciosidad de su ejecución y en una comprensión profunda de las causas de los defectos. Al adherirse a procedimientos estandarizados, seleccionar adecuadamente los materiales y equipos, y aplicar un control de calidad riguroso en cada etapa, se pueden prevenir la mayoría de las fallas prematuras que comprometen la durabilidad de las reparaciones.

Es necesario que el bacheo sea visto no como una solución aislada, sino como parte de una estrategia integral de gestión de pavimentos, que priorice el mantenimiento preventivo y las rehabilitaciones oportunas. Solo mediante esta aproximación sistemática se logrará optimizar la vida útil de las vías y garantizar una infraestructura de calidad para la sociedad.