

José Julián Rivera

Apuntes sobre pavimentos
en vías de bajo
volumen de tránsito
Tomo I



DOLMEN 



Apuntes sobre pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito.

Tomo 1

José Julián Rivera

Portal DOLMEN
LEMaC Centro de Investigaciones Viales
UTN FRLP – CIC PBA

edUTecNe
Buenos Aires, 2023

Rivera, José Julián

Apuntes sobre pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito: tomo I / José Julián Rivera;
Editado por Fernando Cejas. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: edUTecNe, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8992-31-0

1. Ingeniería Civil. 2. Asfalto. I. Cejas, Fernando, ed. II. Título.

CDD 625.8028

Diseño de Tapa e interior: Fernando Cejas



Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina

Rector: Ing. Rubén Soro

Vicerrector: Ing. Haroldo Avetta

Secretaria Cultura y Extensión Universitaria: Ing. Federico Olivo
Aneiros



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional San Francisco

Decano: Mg. Ing. Luis Agustín Ricci

Vicedecano: Ing. Sergio Darío Ramos

Director LEMaC: Dr. Ing. Julián Rivera



edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

Coordinador General a cargo: Fernando Cejas

Dirección General: Mg. Claudio Véliz

Dirección de Cultura y Comunicación: Ing. Pablo Lassave

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

© edUTecNe, 2023

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ)

Buenos Aires, República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina



ISBN 978-987-8992-31-0



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Prólogo de Dolmen

Permítanme mis amigos arquitectos un poco de licencia humorística abordar este tema.

Las casas no caen como un sacabocado del cielo. El municipio o Dios me tienen que asegurar que mi casa pertenece a una red municipal, provincial o nacional que va a permitirme relacionarme con mis conciudadanos del resto de mi país.

A veces tengo que salir a llevar con mi auto a un enfermo al hospital, pedir por el SAME, pedir por los bomberos o pedir por un remis ante cualquier contingencia.

Mi casa no puede estar sobre un pantano o sobre un terreno un terreno intransitable.

Hay una unión clara e indiscutida entre la construcción de mi casa y la red vial que me protege.

Lamentablemente esto no se enseña en las facultades de arquitectura.

Con paciencia, con coloquialidad y con mucha pedagogía el ingeniero Julián Rivera nos va introduciendo en este complejo y subyugante mundo de la vialidad.

La cantidad de lectores que siguen sus notas nos muestra que este faltante informativo se está cubriendo con una enorme cuota de talento.

Recomiendo, sin duda, a este como un libro para coleccionar.

Arquitecto Daniel Roberto Carmuega

Director de Dolmen

<https://dolmen.com.ar/>

Prólogo del Autor

La presente publicación se compone fundamentalmente de los primeros 25 artículos mensuales volcados en la sección de "Acercando la vialidad a los arquitectos" del Portal Dolmen entre octubre de 2021 y octubre de 2023.

Esta sección tiene como idea original abordar de forma introductoria ciertos aspectos relacionados con la vialidad, sobre todo específicamente con los pavimentos, utilizando un lenguaje coloquial intercalado con la exposición de la terminología técnica específica de la materia. Se la piensa direccionada a los arquitectos, maestros mayores de obras y demás disciplinas que, por no haber tenido la formación básica con que se cuenta en la ingeniería civil en tal sentido, podrían estar llevando acciones en la temática sin una base mínima conceptual. Estas son las razones fundamentales por las cuales sus artículos se encuentran redactados de modo informal, incorporando muchas ideas adicionales entre paréntesis y analogías.

Debido a los comentarios recibidos por algunos lectores, las ideas que fueron surgiendo desde el portal y el interés propio, la sección fue derivando a un nicho conceptual casi inexplorado en publicaciones académicas, muchas veces direccionadas a atender a las vialidades de alta categoría, como lo es el de las vías de bajo volumen de tránsito.

Debido a esta dinámica, los artículos originales se modifican levemente a los efectos de la presente publicación respecto de su redacción original, buscando evitar confusiones en el lector no avezado en la materia.

No obstante, para no traicionar el sentido general de esta compilación de fascículos, se ha respetado el orden con el cual las notas fueron generándose, más allá de que si posiblemente fueran reordenadas de algún otro modo podrían resultar en una organización conceptual optimizada.

Además, cabe aclarar que los artículos han sido levemente ampliados y reforzados en cuanto a sus referencias e imágenes, de manera tal de contribuir a que el lector que quiera profundizar en algún aspecto en particular cuente con más información al respecto.

Finalmente, quiero agradecer a mis compañeros del LEMaC que aportaron con material o de manera intelectual a través de la revisión crítica de los artículos por su apoyo de siempre.

Eso es todo y, como decimos en nuestra sección, nos seguimos leyendo.

Dr. Ing. Julián Rivera

Director LEMaC

<https://lemac.frlp.utn.edu.ar/>

Prólogo de Dolmen

Prólogo del autor

Temario

ARTÍCULO 01

De “poner asfalto” a “construir un pavimento” en una vía de bajo volumen de tránsito

ARTÍCULO 02

La mejora de la subrasante vial para vías de bajo volumen de tránsito

ARTÍCULO 03

¿Por qué diseñar estructuralmente un pavimento en una vía de bajo volumen de tránsito?

ARTÍCULO 04

La vida útil del pavimento y su demanda

ARTÍCULO 05

Algunos conceptos básicos de las mezclas asfálticas empleables

ARTÍCULO 06

El deterioro de los pavimentos

ARTÍCULO 07

La complejidad en los modelos de diseño estructural de los pavimentos

ARTÍCULO 08

La adherencia entre capas de un pavimento

ARTÍCULO 09

Defectos y buenas prácticas en los riegos de liga en pavimentos asfálticos

ARTÍCULO 10

La solicitud vehicular en un pavimento

ARTÍCULO 11

El diseño de una mezcla asfáltica convencional

ARTÍCULO 12

Dígame ingeniero, ¿es mejor el pavimento asfáltico o el de hormigón?

ARTÍCULO 13

Los pavimentos y su entorno ambiental

ARTÍCULO 14

¿Por qué un pavimento falla prematuramente?

ARTÍCULO 15

¿Cuál fue la incidencia de la pandemia por covid-19 sobre la vida útil de los pavimentos?

ARTÍCULO 16

¿Se puede pensar en una única mezcla asfáltica convencional en caliente?

ARTÍCULO 17

Mezcla asfáltica almacenable para vías de bajo volumen de tránsito

ARTÍCULO 18

Carpeta de mezcla asfáltica sobre pavimento de hormigón

ARTÍCULO 19

Algunos conceptos útiles para el diseño de los planes de pavimentación

ARTÍCULO 20

La mejora estructural en vías no pavimentadas

ARTÍCULO 21

Los pavimentos de granitullo y un “posible” descuido técnico

ARTÍCULO 22

Los pavimentos articulados y algunas consideraciones para su diseño

ARTÍCULO 23

Los pavimentos de adoquines

ARTÍCULO 24

Mezcla asfáltica en frío de fresado y aceite usado de motores

ARTÍCULO 25

Bases y subbases estabilizadas granulométricamente

De “poner asfalto” a “construir un pavimento” en una vía de bajo volumen de tránsito

En las charlas habituales que cualquier ciudadano mantiene, es común que se mencione que en tal o cual calle o ruta secundaria “asfaltaron” (o “pusieron asfalto”). Estos términos distan del vocabulario que cualquier profesional de la construcción sería conveniente maneje, pues se alejan demasiado de las implicancias técnicas mínimas necesarias que conllevan cuando se emplean en conversaciones que de algún modo se relacionan, aunque sea mínimamente, con una obra en tal sentido. Para dar algunos atisbos de rigurosidad, se redacta el presente artículo; que no pretende ser aleccionador, sino solo poner en consideración de los lectores algunos conceptos que tal vez decidan tener en cuenta en charlas futuras relacionadas.

Para comenzar, lo que comúnmente se menciona como “asfalto” (o “brea”) es en rigor un “cemento asfáltico” o un “asfalto de uso vial”; es decir, un material ligante que proviene de la destilación del petróleo y que se emplea en obras viales (no todos los asfaltos son de uso vial). Existen algunas pocas excepciones a esto (por ejemplo, con los alquitranes) aunque, por ahora, basta con lo que se ha expresado (CPA, 1985).

Este ligante, junto con una combinación de agregados de diversa granulometría y otros posibles materiales aditivos, da lugar a lo que se conoce como una “mezcla asfáltica” (o “concreto asfáltico”, u “hormigón asfáltico”; aunque en rigor para estos últimos conceptos algunos detalles adicionales podrían mencionarse, lo cual se deja para un futuro artículo). Es este el material que se coloca superficialmente (carpeta o capa de rodamiento), y a veces también como una primera base (base asfáltica), en un paquete de pavimento asfáltico.

Este pavimento asfáltico, a su vez, en función de su constitución y de su manera de considerarse desde el punto de vista estructural, puede tratarse o no de un "pavimento flexible"; que es lo que en la mayoría de los casos (a excepción de cuando la capa de rodamiento es de hormigón o de mampuestos) es lo que cuando se materializa recibe el nombre de "asfaltado". En resumen, no todos los pavimentos son de "asfalto" y no todos los pavimentos asfálticos son pavimentos flexibles.

Estos últimos, como su nombre lo indica, se analizan fundamentalmente por el modo en que flexionan de manera continua ante las sollicitaciones de carga de tránsito, por señalarlo de un modo básico. Lo mencionado, entre ciertos límites relativos, puede lograrse con diversas configuraciones de paquetes estructurales; entre los cuales, nuevamente, hay una que es la que se emplea en la inmensa mayoría de los casos: la del pavimento flexible multicapa (EICAM, 1998). Esta configuración es, según lo aceptado de manera generalizada, conformada por la capa de rodamiento asfáltica (más posibles bases asfálticas), una base (preferentemente granular o levemente cementada) y potenciales subbases; conjunto que apoya en una subrasante (que puede ser natural o mejorada) que cumple con ciertas condiciones mínimas como para establecerse como tal (fuertemente relacionadas con su homogeneidad y espesor), Figura 1.1.

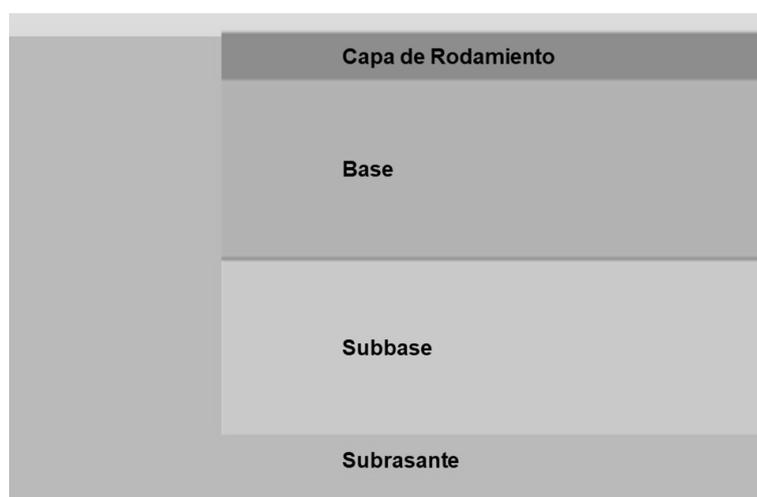


Figura 1.1. Esquema de un pavimento flexible multicapa

En conclusión, cuando se habla de la materialización de un pavimento flexible multicapa, utilizado en la pavimentación de la inmensa mayoría de las vías de bajo volumen de tránsito rurales y urbanas, se está expresando, sin un esfuerzo adicional, un concepto absolutamente superador al de "asfaltarón".

Por defecto, entonces, también pueden existir, más allá de las vías no pavimentadas, otras denominaciones técnicas adecuadas, que suelen confundirse como "asfaltado". El pavimento rígido (espantosamente a veces mencionado como "asfalto gris") puede mencionarse como un pavimento de hormigón, dado que siempre su superficie de rodamiento se materializa de este material (aunque con distintos aspectos adicionales relacionados con el modo en que las losas se encuentran "vinculadas" entre sí y con la configuración de juntas empleadas, motivo de un futuro artículo). Y el pavimento generado mediante mampuestos tiene esa denominación de manera genérica, u otra en específico en función del tipo de mampuesto utilizado en su conformación en cada caso puntual (motivo de abordaje en artículos venideros).

Por último, cabe entonces definir a la vía de bajo volumen de tránsito, que es el motivo aglutinante de todos los artículos de la presente publicación. Ésta debe comprenderse como aquella que no supera una solicitud de tránsito dada, de acuerdo con el paso de ejes por sobre el pavimento (AASHTO, 1993). Lo mencionado se suele implementar en las metodologías de análisis por medio de un eje representativo, al cual el resto de las configuraciones de ejes se transforman de manera equivalente en cuanto a su poder destructivo sobre el pavimento (existen otros criterios, como el de espectro de carga, que no se aborda para no confundir al lector, pero que se sepa existen). De manera mayoritaria, en la Argentina ese eje es del tipo simple dual (es decir, con dos neumáticos por semieje) y con una carga total de 80 KN (es decir, 8,16 toneladas o 18.000 libras).

Bajo estos conceptos, la vía de bajo volumen de tránsito es aquella que, con pavimento asfáltico, de hormigón o de mampuestos, no superaría la solicitud de 1.000.000 de ejes equivalente durante su vida útil, o que al ser tratada superficialmente con material granular o levemente cementado, pero

no pavimentada, no superaría los 100.000 ejes equivalentes (AASHTO, 1993; NCHRP, 2004).

Estos comentarios introductorios, dan pie a que en futuros artículos se pueda avanzar en diferentes aspectos que aquí solo se han mencionado a manera de disparador.

Referencias

AASHTO (1993). Guide for design of pavement structures 1993. American Association of State Highway and Transportation Officials.

CPA (1985). Tecnología del asfalto y prácticas de construcción. Comisión Permanente del Asfalto.

EICAM (1998). Curso de actualización de diseño estructural de caminos, método AASHTO93. Escuela de Ingeniería de Caminos de Alta Montaña, Universidad Nacional de San Juan.

NCHRP (2004). Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures. National Research Board, 1-37A team.

La mejora de la subrasante vial para vías de bajo volumen de tránsito

En el artículo anterior se dan algunos conceptos introductorios de lo que implica a grandes rasgos un pavimento en una vía de bajo volumen de tránsito. Allí, se menciona que el paquete estructural del pavimento apoya sobre una capa denominada "subrasante" (análoga a la capa de suelo superior de cualquier fundación de una obra civil), Figura 2.1. Vale la pena aquí decir que se considera que es "suelo" cuando el material posee cierto grado de finura (coloquialmente llamado "tierra"), en contraposición a las "rocas" que presentan mayor tamaño de partículas y que por ahora se dejan de lado en el análisis.



Figura 1.2. Subrasante de una vía de bajo volumen de tránsito

Estos suelos pueden guardar diferentes características; las cuales son factibles de ser analizadas desde el punto de vista vial, por ejemplo, mediante el sistema de Clasificación HRB basado en su "grado de plasticidad" y

“granulometría” (o el Sistema Unificado, similar al anterior y utilizado en el resto de las aplicaciones civiles).

De ese modo, un suelo vial (o de fundación) puede ser clasificado al menos como de baja, media o alta aptitud. Se dice “al menos”, pues de allí en más existen toda una serie de análisis superadores que pueden aplicarse para conocer diversos aspectos de ese suelo, pero que por ahora no se abordan.

A partir de esto, si la aptitud del suelo es baja, por ejemplo, el proyectista adopta un diseño estructural basado en esa baja aptitud o decide incrementarla mediante una mejora en un espesor dado. Esa mejora puede realizarse mediante el reemplazo del suelo, lo que se denomina “saneamiento”, o mediante una intervención sobre el mismo. Podría decirse en relación con esto, como para señalar un aspecto que técnicamente es un poco más complejo, que si ese incremento es limitado se está produciendo una “mejora” y si es significativo una “estabilización” (aunque esta última generalmente se utiliza en capas superiores y no en las de subrasante) (Rivera, 2020).

Así planteada a situación, se puede tener en una obra dada una “subrasante natural” (o fundación de suelo natural) cuando se trata del suelo existente, o una “subrasante mejorada” (o fundación de suelo mejorada) cuando se aplican sobre ésta algunas técnicas.

Las técnicas convencionales de mejorado de una subrasante son las de compactación, mecánicas (modificación de la granulometría), químicas (incorporación de cal, cemento, estabilizante iónico, etc.), entre otras (Rivera et al., 2022). Existen otras técnicas tradicionales, pero que son de baja aplicación por sus costos, como es el caso de empleo de insertos eléctricos para invertir el menisco del agua que asciende por capilaridad o la de calcinación, por citar dos ejemplos.

En los últimos años han surgido otras técnicas, a veces relacionadas con las ya mencionadas, que se basan en la aplicación como mejorador de algún residuo de la construcción, industrial o de otros procesos (arenas de descarte, residuos aceitosos, textiles triturados, etc.), las cuales se abordan en otros artículos (Rivera, 2020).

Más allá de la técnica que se aplique, en la mayoría de los casos, lo importante del mejorado es entender qué propiedad del suelo existente (o cuáles) se desea mejorar. Para esto, y solo de manera genérica, se puede decir que un suelo con "adecuada aptitud" es capaz de resistir aun ante la presencia del agua (posiblemente mediante su componente friccional de resistencia, es decir la fricción que se genera entre sus partículas), de trabajar de un modo medianamente solidario entre las partículas (posiblemente mediante su componente de cohesión, es decir su capacidad de "pegado", generalmente relacionado con la presencia de ciertos tipos de arcilla), de no presentar cambios volumétricos ante los diferentes contenidos de humedad (es decir no ser un suelo "reactivo", antiguamente denominado "expansivo"), entre otras. En resumidas cuentas, no existe la *aspirina* cuando se trata de optimizar una fundación, ya sea en una obra vial como en el resto de las obras civiles.

En conclusión, conviene entonces en todos estos casos consultar a profesionales que manejen diversos criterios de estas temáticas, pues de ese modo puede arribarse a soluciones técnicas adaptadas a la necesidad puntual de la obra; y la mayoría de las veces con ahorros significativos en los costos y en dolores de cabeza.

Referencias

Rivera, J. (2020). *Algunas experiencias en el empleo de residuos de procesos en capas de rodamiento de caminos rurales y recomendaciones que surgen de las mismas*. Vial, N° 135, pp 38-45, septiembre-octubre.

Rivera, J., Botasso, G., Porro, A., Poletti, A., & Hansen, O. (2022). *Empleo de un estabilizante iónico de suelos como agente reductor del contenido de cemento en el desarrollo de bases de suelo-cemento*. XVIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, T0254.

¿Por qué diseñar estructuralmente un pavimento en una vía de bajo volumen de tránsito?

Resulta habitual en diversos emprendimientos adoptar una solución de pavimento en función de algún “pálpito” o de experiencias previas, no siempre del todo relacionables con la obra en cuestión. Esto se debe, muchas veces, a que se ignora cómo analizar este aspecto, o a que no se le da la importancia que merece. Esa decisión, generalmente, lleva a grados de incertidumbre (traducibles en costos no justificados), que se podrían disminuir si se adoptara un diseño estructural de dichos pavimentos. Pero ¿cómo se puede apreciar de mejor modo la necesidad de encarar ese estudio?

Variadas son las respuestas que pueden citarse en este sentido, pero para dar continuidad a los conceptos que se viene volcando en estos artículos, resulta factible establecer ciertas simplificaciones que lleven de un modo sencillo a comprender cuál puede ser una de las causas más importante.

Para ello, puede señalarse que sobre la subrasante, ya sea natural o mejorada, se materializa el paquete estructural del pavimento en cuestión (p. e.: si se tratara de uno flexible multicapa, sería aquel compuesto por las subbases, bases y capas asfálticas). Ese pavimento cuenta con una “vida útil”, pues en algún momento se deteriora tanto que puede suponerse presenta un estado terminal en relación con algún aspecto fundamental en cuanto a su constitución. Esos deterioros, y su evolución, tienen que ver con las características intrínsecas del pavimento y con como éste se ve de algún modo afectado por el ambiente (régimen de lluvias, vientos, incidencia solar, heladas, etc.) y por las cargas que por él circulan (definidas en cuanto a volumen, magnitud, tipología de ejes, superficie de la impronta de contacto neumático-pavimento, etc.) (Huang, 2004), como resulta sencillo percibir.

Ahora bien, visto de este modo, y más allá de cómo se lo analice, hay solo una solución para ese pavimento que durante esa vida útil lleve a una decisión óptima; por supuesto, evaluable desde el punto de vista de los "costos" (como un concepto amplio). Esto se debe a que, para cumplir con condiciones de transitabilidad de una calidad dada durante la vida útil, el pavimento insume no solo un costo en cuanto a inversión inicial, sino también en cuanto a la aplicación de diferentes tareas, las cuales se puede definir de manera conjunta y simplificada como "mantenimiento".

Puede suponerse también que esos costos son comparables de manera directa, como para arribar en conjunto a un costo total del pavimento (se estaría hablando de valores monetarios en los cuales se ha descontado la variable tiempo, tal cual se analiza en una evaluación económica).

De ese modo, la interrelación entre los mismos en función de lo conservador o no que resulte la decisión en cuanto a la materialización del pavimento puede llevar a una gráfica como la representada de manera sencilla en la Figura 3.1. En dicha gráfica se observa cómo solo una situación en cuanto a qué tan conservador ser en una inversión inicial lleva en rigor a un menor costo total durante la vida útil (definida, por ejemplo, en algunos métodos como la "confiabilidad") (EICAM, 1998).

Justamente, el encontrar los indicios que permitan un acercamiento de manera tan ajustada como la situación lo amerite a esa solución óptima es el propósito, o debería serlo, de cualquier método de diseño estructural de pavimentos y, posiblemente, su principal razón de ser.

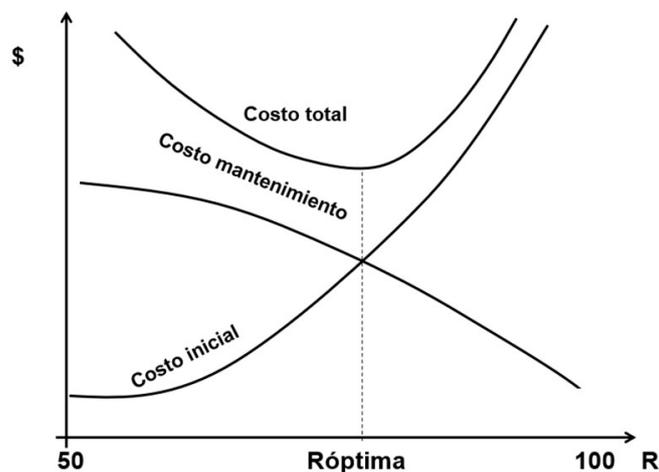


Figura 3.1. Gráfica de costos según una confiabilidad R

Referencias

EICAM (1998). Curso de actualización de diseño estructural de caminos, método AASHTO93. Escuela de Ingeniería de Caminos de Alta Montaña, Universidad Nacional de San Juan.

Huang, Y.H. (2004). Pavement analysis and design. Second Edition, University of Kentucky, Pearson Prentice.

La vida útil del pavimento y su demanda

El pavimento de la vía de bajo volumen de tránsito que se define y analiza en cuanto a su necesidad de ser diseñado estructuralmente, algún día llega al final de su vida útil.

Esto sucede pues se trata de una estructura en la cual su deterioro se da mayoritariamente por la repetición de una carga menor a la máxima admisible de manera aislada (diferente a lo que sucede en otras obras civiles como edificios, presas, etc.; en las cuales la rotura si ocurre de ese modo).

En un lenguaje sencillo, si un pavimento se establece posee una estructura que resistiría una carga de un eje simple puntual de 20 toneladas (si existiera), lo que probablemente suceda es que se "rompe" no porque esa carga alguna vez circule sobre él, sino por el consumo de fatiga interno ante una dada repetición de cargas de 10 toneladas, por ejemplo.

La clave está entonces en establecer una demanda dada (volumen de pasadas) de diferentes tipos de ejes (simples direccionales y simples, tándem y trídem de carga) y sus cargas asociadas en una vida útil que se establezca (por ejemplo, entre 5 y 10 años en vías de bajo volumen de tránsito) (EICAM, 1998).

La ingeniería resuelve este problema mediante complejos sistemas de medición de carga (por ejemplo, con balanzas de pesaje en movimiento y establecimiento de un espectro de carga) o asociando lo anteriormente expresado a categorías de vehículos y cargas representativas que dichos vehículos trasladan, por explicarlo de algún modo.

Para ello, en cada proyecto se realiza desde la ingeniería lo que suele identificarse como el "estudio de tránsito" que, en rigor, involucra análisis que pueden conducirse de dos maneras principales diferentes; aunque las dos bajo el concepto de que los pavimentos son un problema de "red" y no de "obras puntuales".

La primera manera, que es la que más habitualmente se aplica, es la que efectivamente se conoce bajo el concepto de estudio de tránsito. Esta vía de análisis entiende que existe una tendencia en la demanda que posee una vía dada a ser pavimentada y su red de entorno, la cual naturalmente debería extrapolarse hacia el futuro al considerar dicha pavimentación. Así, en esa vía de ejemplo se analiza para un instante próximo a la inauguración de la obra una demanda que posee diferentes componentes (que adoptan diversas denominaciones de acuerdo con el autor que los aborde). Uno de esos componentes es la demanda actual; a la cual se suma la demanda que actualmente existiría, pero se daría por itinerarios de viajes (tanto viales como aquellos que incluyan otros medios de transporte) que no incluyen el tramo a ser pavimentado y que pasarían a utilizarlo por percibir una ventaja asociada; y la demanda que actualmente no existe, pero se generaría por las mejoras en la movilidad que genera la materialización de la obra (Cal y Mayor, 2016). Esa demanda inicial, además, se suele analizar en cuanto a cómo se expande en el tiempo, en función generalmente de una tasa de crecimiento del tránsito (que suele establecerse como de interés compuesto). En resumidas palabras, si una vía a pavimentarse registra actualmente una demanda de 1.000 veh/día, no se debería diseñar para una vida útil asociada a esa demanda, pues lo que se tendría es en realidad una vida útil marcadamente menor ya que no se han considerado las ventajas que involucra la pavimentación y cómo eso influye en el tiempo.

La segunda manera es menos habitual de ver implementada, pero es la que corresponde en situaciones en las cuales el pavimento a desarrollarse se encuentra en una red que va a ser intervenida mediante una reingeniería (inclusión de un sistema de transporte público, ampliación del sistema de puentes, subsidios fuertes a ciertas soluciones de transporte alternativo, etc., o la suma de varias de éstas). Bajo ese concepto no puede implementarse un sistema de análisis que considere que la tendencia que viene registrándose se extrapolará hacia un futuro, más allá de que se adapte de algún modo. En estos casos la demanda correspondería se establezca mediante "escenarios tipo" de la aplicación de estas políticas a lo largo de la vida útil del pavimento,

establecidos mediante lo que se conoce como la “planificación del transporte”. Esta planificación suele abordarse con modelos de redes que implementan diferentes etapas de análisis sobre matrices de movimientos origen-destino entre zonas de interés del área en estudio en la que se encuentra el proyecto, ampliada hasta una cierta lógica dada (de Dios Ortúzar, 2012).

En resumidas cuentas, nuevamente, se abre aquí toda una nueva especialidad asociada al pavimento flexible, la del análisis de la demanda, que debe tener un grado de participación a la hora de definir pavimentos en las vías de bajo volumen de tránsito que se están analizando.

Referencias

Cal y Mayor, R. (2016). Ingeniería de Tránsito. Editorial Alfaomega.

de Dios Ortúzar, J. (2012). Modelos de demanda de transporte. Ediciones UC.

EICAM (1998). Curso de actualización de diseño estructural de caminos, método AASHTO93. Escuela de Ingeniería de Caminos de Alta Montaña, Universidad Nacional de San Juan.

Algunos conceptos básicos de las mezclas asfálticas empleables

El pavimento asfáltico posee al menos una capa asfáltica constituida en la mayoría de los casos por una mezcla asfáltica, pues existen pavimentos flexibles en los cuales las capas superficiales se constituyen de riegos asfálticos de diversas características con combinaciones, o no, de distribuciones superpuestas de agregados (tratamientos superficiales, sellados, etc.) u otros materiales (fibras, por ejemplo), que no ajustarían exactamente el concepto de una "mezcla" (dado que no existe en rigor un mezclado en su constitución).

Ahora bien, en el caso de que sí exista esa mezcla asfáltica, diversas opciones se abren en la actualidad, pues no existe un único material "mezcla asfáltica". Esto permite establecer sistemas de clasificación en función de las características fundamentales que la mezcla pueda tener. Este debería ser un concepto mínimo que un profesional relacionado con la obra vial maneje, al menos de manera orientativa.

Las clasificaciones de estas mezclas se pueden realizar en cuanto a si son estructurales o no estructurales, en caliente o en frío, en planta o in situ, de rodamiento o de base, de materiales vírgenes o con incorporaciones de reciclados, convencionales o modificadas, etc.

Esas condiciones se definen por cuestiones relacionadas con su constitución, obviamente. Por ejemplo, las mezclas estructurales son generalmente densas, por lo que se constituyen por agregados que responden a una "curva granulométrica" (porcentajes de material pasantes por los tamices de una serie preestablecida) continua y con cierta concavidad (cuando se la grafica con los pasantes porcentuales de cada tamiz en escala aritmética y la abertura del tamiz en escala logarítmica); mientras que las no

estructurales son monogranulares o presentan importantes discontinuidades entre pares de tamices consecutivos dados.

Otro ejemplo se tiene con las mezclas en caliente que se realizan con cemento asfáltico vial, en plantas asfálticas que lo llevan a una temperatura tal que adquiere una adecuada viscosidad como para permitir el mezclado con áridos a una temperatura similar (y a veces otros materiales adicionales), su transporte y su colocación en obra también en caliente; mientras que las mezclas en frío se confeccionan con emulsiones asfálticas que pueden ser utilizadas en mezclados a temperaturas ambiente normales. Y así con el resto de las características distintivas mencionadas.

Se puede ahora entonces definir algunas de las mezclas más utilizadas, como para seguir ejemplificando al respecto. Las más comunes, por lejos, son los concretos asfálticos densos en caliente, que con algunos detalles se los utiliza en capas de base y/o rodamiento; los llamados CAC-D (19 o 12) por la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), dado su tamaño máximo de agregados de 19 mm o 12 mm respectivamente (relacionado con el espesor en el cual se van a colocar) (DNV, 2017).

Esos concretos, si se utilizan en vías de bajo a medio nivel de tránsito, pueden ser "convencionales" pues se los confecciona con el cemento asfáltico convencional, o "modificados", en vías de alto tránsito, cuando contienen cementos asfálticos modificados mediante la incorporación de algún aditivo, a los efectos de mejorar cierto comportamiento en la mezcla asfáltica resultante.

También se los puede elaborar en frío, generalmente con menor aptitud vial y con largos periodos de curado, pero sin necesidad de contar con la planta asfáltica en caliente y de colocarse en caliente. Si esos concretos se los confecciona con tamaños máximos menores y con curvas granulométricas con discontinuidades se obtienen mezclas que permiten corregir las características superficiales de las vías en las que se las coloca, generándose los microaglomerados, tanto en caliente como en frío (Botasso et al., 2001).

También en frío y no estructurales existen mezclas elaboradas por equipos móviles in situ, que se colocan en el espesor de su tamaño máximo (que va generalmente de 6 a 12 mm), generándose las denominadas lechadas asfálticas, ampliamente utilizadas en la conservación.

Muchas otras tipologías se podrían seguir describiendo, en función de la utilidad que se busca con cada mezcla en particular, pero esto es motivo de futuros artículos.

Referencias

Botasso, G., Rivera, J., & González, R. (2001). New method for the elaboration of cold concrete asphalt. IRF Congress.

DNV (2017). Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos. Dirección Nacional de Vialidad.

El deterioro de los pavimentos

Más allá de que en la actualidad, y posiblemente desde hace unos años ya, se esté hablando de los pavimentos perpetuos (Newcomb et al., 2001), la realidad es que las mejoras involucradas en cuanto al incremento de la durabilidad de dichos pavimentos solo resultan apreciables en términos relativos.

Esto no quiere decir que esas mejoras no sean significativas y que no deban ser reconocidas como un gran avance en diversos aspectos concurrentes (materiales, metodologías de diseño, técnicas constructivas, etc.); sino que en su acepción "absoluta" es difícil hablar de un "pavimento perpetuo" si se pretende traducir a esa denominación al hecho de que dure indefinidamente. Por eso, lo más acetado sería posiblemente hablar de pavimentos de larga duración (Villalba Vilanova, 2016), lo cual ya si deja ver hacia donde se apunta con el presente artículo.

¿Por qué? Bueno, por diversas razones. Unas se relacionan a que el solo desarrollo de algunas de estas ventajas enunciadas no basta para su aplicación. Por ejemplo, los asfaltos modificados no obstante han pasado décadas ya desde su introducción, no se emplean en la totalidad de los pavimentos que ameritarían su uso; debido a desconocimiento, falta de recursos iniciales para la adaptación tecnológica requerida, o lo que fuera. Es decir, existen aspectos periféricos que hacen que una ventaja no conlleve a su materialización.

Pero, por otro lado, existen otros aspectos relacionados con la relativamente acelerada curva de deterioro que el material posee ante una dada fuente de "daño" versus las expectativas que puedan tenerse en función de la inversión realizada. Exponer esta situación es el propósito específico de este artículo.

Existen entonces razones para que un pavimento se deteriore (en los existentes y en los que se materialicen en un futuro perceptible), las cuales la ingeniería busca traducir en modelos matemáticos relacionables a su cálculo estructural (Huang, 2004).

Esas razones no son necesariamente de ocurrencia aislada, sino que en la práctica se pueden dar de forma simultánea, por lo que el avance en los estudios lleva a manera de atenderlas cada vez más complejas (aunque no siempre impliquen un menor error, tema a ser abordado en próximos artículos). No obstante, y a los propósitos de este artículo, sí vale la pena mencionarlas como hechos por separado, aunque sea solo a los efectos de exponerlos ante quien no los conozca.

Se puede entonces considerar que existen fuentes de deterioro que son, justamente, las que se abordan, en el pavimento ya materializado y en operación, en lo que se conoce como la patología de pavimentos.

Mediante dicha disciplina pueden estudiarse los pavimentos flexibles por ejemplo, aunque también es aplicable con sus particularidades en pavimentos rígidos y de mampuestos o, incluso, en las vías no pavimentadas. En estos, si los ingenieros observan pavimentos que presentan un dado entramado de fisuras semejantes a una "piel de cocodrilo" (Figura 6.1) deducen que, si es que no se observa acompañada de deformaciones elevadas, se debe a un consumo de la resistencia a fatiga del pavimento que se ha dado a temperaturas de operación habituales y que se debe tratar de algún modo específico que contemple el hecho de que el espesor de la capa asfáltica se encuentra totalmente fisurado (pues esa tipología de fisuras mayoritariamente se registra con una evolución desde la fibra inferior hacia la fibra superior).



Figura 6.1. Fisura tipo piel de cocodrilo

De igual modo, cuando observan un pavimento asfáltico ahuellado (Figura 6.2), saben que puede relacionarse con lo que ocurre a temperaturas elevadas, dado un paquete estructural deficiente y/o problemas en la constitución de la capa asfáltica (Rivera, 2019).



Figura 6.2. Pavimento ahuellado

○ si lo que se observa es un entramado de fisuras longitudinales y transversales, con un cierto módulo de distancia entre las mismas, saben que

posiblemente se relacionen con problemas de tipo térmico a bajas temperaturas; y así con toda otra serie de defectos propios de una situación dada y con un tratamiento óptimo mediante una intervención dada.

La idea es exponer a los lectores a la existencia de la patología de pavimentos mediante este artículo, y al hecho de que dicha disciplina permite establecer la causa de un deterioro asociándola a una técnica resolutive óptima en particular. O sea, que tampoco existe para los pavimentos la *aspirina* que todo lo cura cuando se lo piensa desde este punto de vista.

Referencias

Huang, Y.H. (2004). *Pavement analysis and design. Second Edition, University of Kentucky, Pearson Prentice.*

Newcomb, D. E., Buncher, M., & Huddleston, I. J. (2001). *Concepts of perpetual pavements. Transportation Research Circular, 503, 4-11.*

Rivera, J. J. (2019). *Estudio de riegos asfálticos de liga entre capas asfálticas para rehabilitación de pavimentos flexibles fresados. edUTecNe, Universidad Tecnológica Nacional.*

Villalba Vilanova, S. (2016). *Estudio y diseño de firmes de larga duración.*

La complejidad en los modelos de diseño estructural de los pavimentos

El avance en los estudios asociados a los pavimentos lleva a maneras de atenderlos cada vez más complejas y con modelos más sofisticados. Pero esto, mal que le pese a numerosos investigadores de la temática, no siempre implica necesariamente un menor error debido a su instrumentación. La discusión asociada a este aspecto, o al menos su planteo inicial, es materia del presente artículo.

De manera genérica, los ingenieros civiles, y específicamente los dedicados a la ingeniería vial, modelizan al buscar resolver una situación que se les presenta como un problema a resolver; y generalmente esa modelización la hacen basada en parámetros matemáticos.

Así, se toma de la "realidad" solo aquello que resulta desde un punto de vista subjetivo fundamental a un fin específico, se le da algún tipo de valoración numérica y se descartan aquello que resulta accesorio (de Dios Ortúzar, 2012). Si esto se definiera desde la teoría de los modelos se podría decir que se definen variables decisorias y se las interrelaciona en funciones de relevancia, sujetas muchas veces a restricciones (todo expresado de manera matemática).

Ahora bien, de manera ideal esa construcción conceptual podría suceder de manera diferente según cada individuo encare el problema. Es decir, existirían diferentes modelos para la resolución de un mismo problema.

En la práctica, esta situación se acota porque quienes llevan adelante una intervención se basan en experiencias previas (propias y ajenas), normas, reglamentaciones, etc. O sea, toda una serie de condicionantes que llevan a que el número de formas de encarar la resolución sea reducido. No obstante, sigue existiendo generalmente, y particularmente en la resolución de diseños estructurales de pavimentos, diversas opciones (Huang, 2004).

Esas opciones de modelos deberían llevar implícito un grado de complejidad dado, en función de cómo la realidad trata de explicarse con cada uno de ellos; o, más exactamente, un rango de complejidades, pues contemplan su aplicación de diversos modos.

Se supone que a mayor complejidad menor debería ser el error asociado a la especificación de ese modelo; sino ¿cuál sería la razón de hacerlo complejo?

Pero, por otro lado, un mayor grado de complejidad se ve acompañado de más variables consideradas, relacionadas de formas más complicadas y con requisitos de medición más rigurosos. Por ello, se induce a mayor complejidad una mayor probabilidad de error asociado a la medición de esas variables (de Dios Ortúzar, 2012).

Dada esta situación, existirá una curva de error total asociado al grado de complejidad que presentará un punto mínimo. Eso permite asegurar que para resolver un diseño estructural en específico debería existir un modelo (o una herramienta dentro de un sistema de modelización) que posea el grado de complejidad de ese mínimo error (complejidad óptima). O, en otras palabras, nuevos modelos y más complejos no conllevan porque si menores errores asociados.

Además, un mismo problema tiene siempre una misma curva de error de especificación asociada, aunque se aplique en diferentes lugares y de diferentes maneras (es decir, con distintas curvas de error de medición). De ese modo, y para un mismo problema, en aplicaciones en las cuales se “invierte” más en medir se pueden emplear complejidades mayores de análisis que en lugares en los cuales se invierte menos (de Dios Ortúzar, 2012). O, nuevamente en otras palabras, costosos modelos foráneos con aplicaciones exitosas en otras latitudes puede que no sean los más indicados para su empleo local. Todo lo expresado puede verse de un modo sencillo esquematizado en la Figura 7.1.

En resumen, no deben descartarse las experiencias recabadas a lo largo de muchos años de analizar desde un punto de vista estructural los pavimentos a nivel local, y muchas veces con modelos que han sido

ampliamente superados desde lo conceptual (pero no tal vez en su aplicabilidad), por la simple aparición de fulgurantes nuevos modelos; habitualmente costosos y muchas veces con auspicios que pueden reflejar algún tipo de interés exógeno.

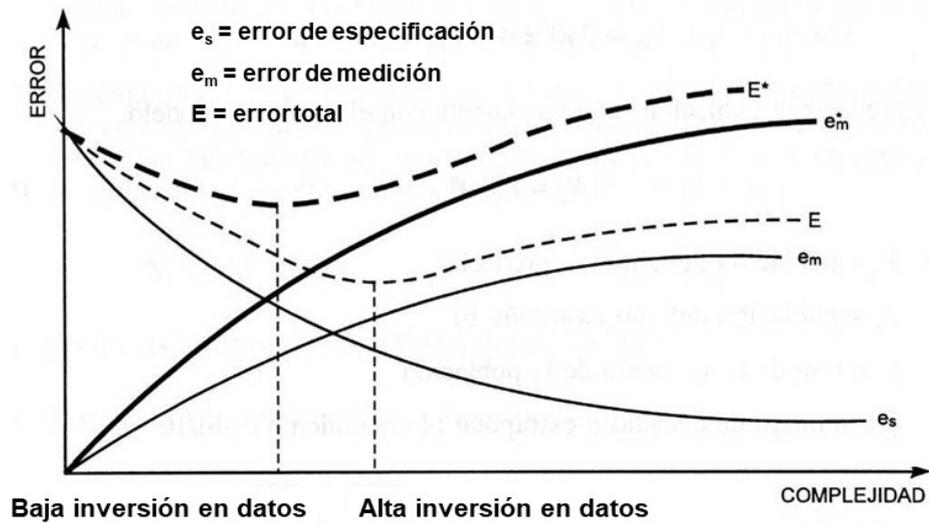


Figura 7.1. Modelado en el diseño estructural de un pavimento

Referencias

de Dios Ortúzar, J. (2012). Modelos de demanda de transporte. Ediciones UC.

Huang, Y.H. (2004). Pavement analysis and design. Second Edition, University of Kentucky, Pearson Prentice.

La adherencia entre capas de un pavimento

Si una viga simplemente apoyada estuviera formada por varias capas de espesor delgado, colocadas unas sobre otras, sería menos resistente a la flexión que una viga monolítica de igual altura total, o que la misma viga de delgadas capas, pero con ellas adheridas fehacientemente entre sí.

Esto puede demostrarse con la teoría básica de la flexión, que dice que la tensión debida a ella en cualquier sección es directamente proporcional a la relación entre el momento flector y su módulo resistente. Como este último es, a su vez, directamente proporcional al cuadrado de la altura en una sección rectangular (como modelo simplificado), se evidencia la importancia de poseer espesores de capa considerables y netamente adheridos entre sí.

En esa viga, la mitad superior de la sección está sometida a esfuerzos de compresión y la inferior a tracción. Por la condición de equilibrio de fuerzas en toda la sección, las fuerzas de compresión quedan equilibradas con las de tracción.

Ahora bien, si se analizase sólo una de las láminas de la sección, el esfuerzo resultante en la misma sólo sería equilibrado por un esfuerzo cortante y de sentido opuesto. Este esfuerzo cortante se ve materializado por la adherencia en los sistemas multicapas, y de allí su importancia.

Los pavimentos, y sobre todo los flexibles, son un ejemplo particular de todo lo expuesto, pues en su materialización se generan interfases que pueden afectar el comportamiento monolítico del espesor total (Rivera, 2019).

La existencia de superficies de intertrabado y de riegos de liga en esas interfases, dada la discontinuidad generada, da origen a una situación que merece un análisis específico; pues generalmente el diseño estructural de los pavimentos considera que el conjunto de capas actúa en forma perfectamente solidaria frente a las cargas de tránsito, aunque esto en la práctica puede no suceda.

Para fortalecer los conceptos volcados, en la Figura 8.1. se muestra el perfil de un pavimento multicapa y su modelado mediante dos opciones ideales de vigas simplemente apoyadas. En la situación A se tiene una viga monolítica con adherencia perfecta entre capas, como las que suponen mayoritariamente los métodos de cálculo, y en la situación B dos vigas superpuestas cuya adherencia entre capas es nula. Se puede observar, que para un mismo valor de una fuerza F la tensión generada en la situación A es la mitad de la generada en la situación B. Se concluye que, debido a la falta de adherencia, en la situación B la deflexión en el centro de la viga aumenta, la distribución de tensiones se modifica drásticamente y la tensión de tracción en la interfase se incrementa.

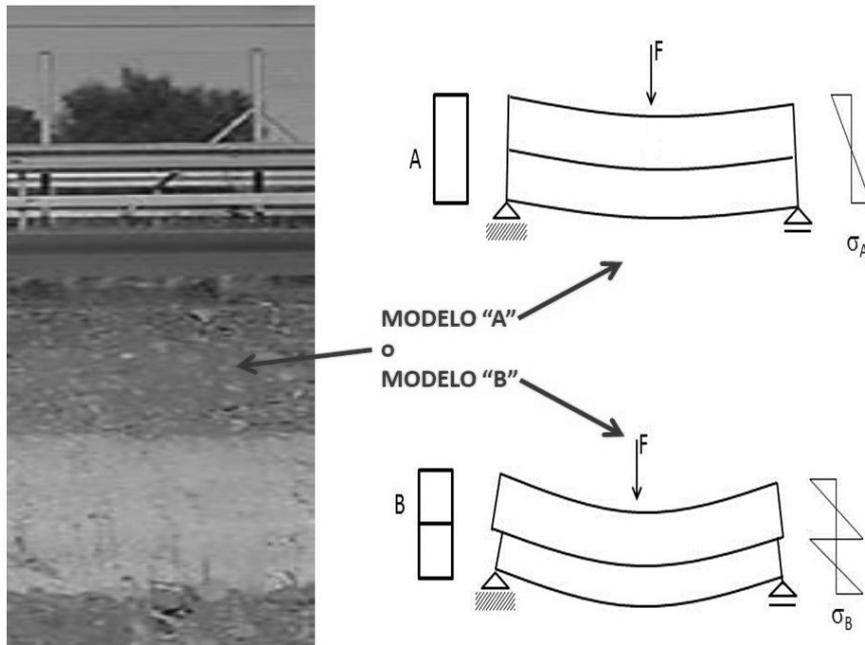


Figura – Modelos de pavimentos flexibles multicapas

Cuando en la práctica se tiene pavimentos que se asemejan a la situación B, la falta de adherencia entre las capas genera una reducción en la vida útil y la presencia de fallas prematuras, con consecuencias económicas considerables.

Por esto, el sistema de capas superpuestas debe actuar solidariamente, pues la relación íntima que tienen sus componentes lleva a que su

comportamiento satisfactorio no sea sólo derivado del comportamiento individual de cada parte constituyente, sino también de esta relación (Rivera, 2019).

El mecanismo que contribuye a la resistencia al corte en la interfase es complejo e interactivo, y escapa a los alcances de este artículo, el primero dedicado a la temática de interfases. Esto se debe a que, como muchos fenómenos de la ingeniería, en servicio la adherencia es difícil de medir u observar sin impactar en el proceso; como también es difícil aislar los variados componentes que contribuyen a la adherencia total entre las capas involucradas. Como resultado de esto, existen aún zonas de grises en el conocimiento relacionado y diferentes opiniones respecto de cómo cada componente contribuye a la adherencia entre capas, tanto como de los mecanismos asociados con las fallas por despegue.

Pero, no bien lo expresado, sí es posible señalar para las obras una serie de “buenas prácticas” que pueden implementarse, sobre todo en función de la tipología de materiales que generan esa interfase; para obtener así materializaciones que se acerquen lo más posible al modelo A ya explicado.

Estas buenas prácticas, se abordan en el próximo artículo.

Referencias

Rivera, J. J. (2019). *Estudio de riegos asfálticos de liga entre capas asfálticas para rehabilitación de pavimentos flexibles fresados*. edUTecNe, Universidad Tecnológica Nacional.

Defectos y buenas prácticas en los riegos de liga en pavimentos asfálticos

El grado de solidaridad entre las diferentes capas de un pavimento permite el desarrollo de los esfuerzos de corte que posibilitan que el paquete trabaje de acuerdo con lo previsto en su diseño estructural.

Este aspecto se logra entre las capas granulares inferiores (o capas constituidas con ligantes hidráulicos u otro tipo de producto estabilizante) de base, subbase y subrasante (natural y mejorada), mediante una textura superficial de grado suficiente (no excesiva) y con una resistencia al desprendimiento mínima asociada.

Pero entre las capas de base y las capas asfálticas, o entre dos capas asfálticas, es de esperarse que esa "trabazón" no sea suficiente; dada la mayor lisura relativa del material y su cercanía a niveles de máxima sollicitación tangencial (más allá del aporte normal al plano generado por la propia carga del tránsito).

Por tales razones en esas situaciones se emplean los denominados "riegos de liga" (o "riegos de adherencia" en algunos países). La ausencia de dichos riegos es la causa fundamental del desprendimiento de las capas superiores de un pavimento flexible, Figura 9.1.



Figura 9.1. Ausencia de riego de liga

Dichos riegos, en la generalidad de los casos, se constituyen de emulsiones asfálticas de corte rápido (emulsión de asfalto en agua en glóbulos microscópicos, aplicada a temperatura ambiente); más allá de que en algunos lugares todavía se admiten los ambientalmente discutibles riegos con asfaltos diluidos. Estos riegos se analizan en cuanto a sus características puntuales relacionadas con la tecnología de los materiales implicados (de la propia emulsión asfáltica y de los constituyentes de las capas a ser adheridas) y en cuanto a su dotación (ni escasa como para no permitir la adherencia, ni excesiva como para generar exudaciones y escurrimientos).

Pero la propia constitución de un riego de liga no resulta determinante para que el funcionamiento sea el óptimo pues, como en todos los casos, existen aspectos en cuanto a su aplicación que son fundamentales.

Entre estos aspectos es habitual encontrar en obra una serie de malas prácticas, que conviene sean resaltadas para evitarlas, pues se contraponen a otra serie de adecuadas soluciones que contribuyen a optimizar la materialización del riego. A continuación, se citan algunos ejemplos de ambos casos, como para ilustrar lo asegurado.

Entre los defectos de aplicación puede mencionarse en primer lugar el inadecuado solape entre los picos del camión regador que distribuye el riego,

lo cual genera surcos con material en exceso y/o surcos con material faltante, como se puede observar en la Figura 9.2.

También se observa este exceso de material aplicado cuando se generan puntos de arranque o detención del camión de regado sobre la propia superficie de riego, como puede verse en la Figura 9.3, o incluso disminuciones en la velocidad de desplazamiento de dicho equipo.



Figura 9.2. Surcos con faltante de riego de liga



Figura 9.3. Deposición excesiva de riego por detención del regador

Otro defecto habitual se debe a la habilitación al tránsito del tramo en el cual se ha aplicado el riego de liga, lo que suele generar la deposición de material suelto sobre éste, que impide se genere la adherencia efectiva buscada (Figura 9.4).



Figura 9.4. Suciedad del riego de liga por liberación al tránsito

Asociado a esto último, es común observar en áreas urbanas el mojado de la base en zonas aledañas a las cunetas, debido a los desagües de los frentistas. Esto provoca que esos sectores se “ablanden” ante la presencia de arcillas en dichas bases, generándose la rotura de la adherencia (Figura 9.5).



Figura 9.5. Mojado accidental del riego de liga

En busca de solucionar aspectos como los señalados, en ocasiones se recurre a soluciones inadecuadas. Ese es el caso de la técnica conocida muchas veces como el “granceado”, que consiste en distribuir de forma manual una capa mínima de la mezcla asfáltica en caliente a utilizarse en la pavimentación. Se pretende con esto dejar al riego protegido de algún modo, pero en realidad lo que se está introduciendo es una discontinuidad entre ese granceado, ya frío al momento de colocar la mezcla asfáltica a temperatura, y dicha mezcla en su espesor compactado (Figura 9.6).



Figura 9.6. Granceado sobre un riego de liga

Sí, en cambio, se ven como adecuadas soluciones el empleo de otras técnicas alternativas (Fonseca Ibarra, 2016). En la Figura 9.7 se observa una de ellas, que consiste en el empleo de un vehículo de transferencia de la mezcla asfáltica hacia la terminadora que la coloca, para de ese modo evitar “pisar” sobre el riego aplicado.



Figura 9.7. Empleo de un vehículo de transferencia de la mezcla asfáltica

Otra alternativa de obra sería la de emplear en el riego emulsiones asfálticas termoadherentes, como la de la Figura 9.8, que podrían ser pisadas a temperatura ambiente sin que el riego se vea afectado.



Figura 9.8. Riego de liga mediante una emulsión asfáltica termoadherente

O, en ese mismo sentido, el utilizar equipos que de manera simultánea cumplen la función de aplicar el riego y distribuir la mezcla asfáltica, Figura 9.9.



Figura 9.9. Aplicación del riego de liga junto con el extendido de la mezcla asfáltica

Finalmente, resulta interesante señalar una técnica que parece es la que reúne las mejores características asociadas a una solución sencilla y de óptimas prestaciones, la cual es la de aplicación de una lechada de cal sobre el riego de liga como un elemento de protección (Ortiz Ripoll, 2018), según se observa en la Figura 9.10. Cabe aclarar que esta lechada de cal se aplica en dosis específicas y contando con ciertas características especiales, y no es una simple mezcla de cal y agua como podría pensarse.

Se espera con el presente artículo, nuevamente, haber generado una reseña que permita despertar el interés del lector que se acerca de manera inicial a la temática. Debe, por lo tanto, indicarse la necesidad de recurrir a documentación más rigurosa si se desea profundizar en cada uno de los aspectos abordados.



Figura 9.10. Empleo de una lechada de cal sobre el riego de liga

Referencias

Fonseca Ibarra, C. (2016). Estudio del comportamiento mecánico de los riegos de liga entre capas asfálticas: relevancia, ensayos y recomendaciones. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Ortiz Ripoll, J., Miró Recasens, J. R., & Botella Nieto, R. (2018). Adherencia parcial y fallo por fatiga de la unión entre capas de mezclas bituminosas. Simposio Nacional de Firmes.

La solicitud vehicular en un pavimento

En un artículo precedente se abordan las dos líneas conceptuales que pueden dar lugar a un estudio de la demanda vehicular. Con el presente artículo se busca profundizar en algunas particularidades en tal sentido que se deben considerar a la hora de diseñar un pavimento.

Para ello, hay que decir que muy variados pueden ser los componentes considerados y, también, las condiciones de la obra en sí. Pero para simplificar el abordaje de la temática, se establece una situación típica representativa, que puede ser de interés del lector.

Supóngase entonces un ámbito urbano típico de la región central de la Argentina, aunque lo que aquí se señala es fácilmente extrapolable a cualquier otra situación.

Las vías de esa zona urbana que posiblemente se estén analizando para su pavimentación son aquellas existentes en sectores periféricos que llevan ya algunos años de constitución; pues en sectores céntricos más antiguos es probable ya se haya pavimentado, y deba pensarse en la conservación, rehabilitación o reciclado del pavimento, y en sectores más nuevos es posible no exista un nivel de demanda tal de la sociedad que lleven a la necesidad de pavimentar.

Se trata entonces de vías existentes no pavimentadas que, por acción de campañas anteriores del municipio o por aporte de los propios frentistas, cuentan con una materialidad tal que las torna generalmente como transitables, pero no en una situación óptima.

Es por eso, principalmente, que seguramente la decisión de pavimentar se da en función de reclamos de esos vecinos, que ya ven como necesario el asegurar su transitabilidad. Es decir, no surge de una planificación centralizada que prevé la ampliación de la red de transporte público u otras decisiones

análogas, por ejemplo; las cuales existen, pero no serían representativas de la mayoría de los casos.

A lo que se quiere llegar es a que esas vías cuentan con un actual nivel de solicitud, establecido típicamente por la cantidad de automóviles, camionetas, camiones, etc., que circulan por ella diariamente. Se trata de usuarios que se transportan buscando satisfacer necesidades básicas como las de trabajo, estudio, alimentación, etc. Ese volumen de solicitud es un tránsito efectivo, el cual se puede reconocer y cuantificar como "actual".

Ahora bien, el diseño estructural del pavimento tiene como variable de entrada una cantidad de pasadas de ejes de tipología (direccional, dual, tándem, etc.) e intensidad (en toneladas) dadas, durante una vida útil prevista. Pero esa solicitud no puede deberse solo a la solicitud actual extrapolada constante en el tiempo, pues si solo en función de ésta se realizan los cálculos, entonces lo más probable es que el pavimento falle prematuramente.

¿Y por qué lo señalado en el párrafo anterior es así? Pues, porque existe una diferencia conceptual entre lo que se puede denominar el tránsito efectivo y la demanda (algunos autores pueden mencionar esto con otros términos, pero la idea subyacente es la misma).

Esto se debe a que el tránsito es conformado por aquellos usuarios que utilizan la vía, pues no vislumbran para la solución a la necesidad que origina el movimiento (trabajo, estudio, alimentación, recreación, etc.) otra alternativa más conveniente. Son, si se quiere, un tránsito cautivo, que se da en función también de la capacidad que ofrece la vialidad (en términos de servir a un flujo vehicular).

Cuando se genera la pavimentación de esa vía, que no está aislada y forma itinerarios en la red vial en la cual se encuentra inscrita, usuarios cautivos a otros sectores de vía e itinerarios de la red, es decir que actualmente realizan movimientos por ellos, es probable vean una ventaja en el circular por la misma. De ese modo, se tiene un componente adicional de solicitud, dado por movimientos actualmente existentes pero que "derivan"

hacia la vía en cuestión, por la pavimentación (dando lugar a la “demanda derivada”).

Pero también es posible suceda otro hecho asociado a la pavimentación, ya que por tener que materializarse de un modo “factible a las posibilidades existentes”, es probable que algunas de las necesidades básicas de los habitantes del entorno de la vía en cuestión no se vean resueltas. Por ejemplo, es posible que esos vecinos vean tan negativa sus posibilidades de circulación, que solo decidan satisfacer sus necesidades prioritarias (por ejemplo, trabajo, alimentación, educación y salud) dejando a otras sin resolver (por ejemplo, recreación, cultura, etc.) (Rivera, 2007).

La pavimentación puede dar origen a un cambio de esa situación personal, haciendo que las condiciones de entorno sean favorables a la generación de movimientos para satisfacer necesidades que antes quedaban insatisfechas. Se genera así un componente adicional de solicitud inducido por la mejora implementada (dando lugar a la “demanda inducida”).

Todo esto que se menciona con relación al movimiento de las personas, tiene correspondencia con el movimiento de los bienes (mal llamados “carga”), dando lugar a la solicitud sobre la vía vista de un modo completo.

Como estos componentes, otros podrían verse, pero en ciertas ocasiones puntuales que, para no complejizar el artículo, se dejan de lado en la exposición, aunque mencionándose que existen para que el lector no crea que se encuentran agotadas las instancias en tal sentido (Cal y Mayor, 2016).

Un ejemplo de esto puede ser la existencia de una “demanda trasladada”, cuando la pavimentación hace que una demanda actualmente existente en un modo de transporte alternativo (por ejemplo, ferrocarril) se vuelque al componente vial.

Estos componentes descritos, hacen que sea fácil comprender ahora ese aspecto “potencial” que posee la demanda y que la distingue de lo que conocemos como tránsito. Pero a lo expuesto queda todavía agregarle un adicional, que es el paso del tiempo.

Cuando se analizan los componentes actuales, derivados e inducidos, se está pensando en términos que se dan en forma relativa desde la fase inicial de la pavimentación (en rigor es probable que los movimientos inducidos aparezcan de manera un tanto gradual, pero a los efectos del artículo no se profundiza en este aspecto).

Se puede pensar de ese modo en una "demanda inicial" que tendría el pavimento, si se la considera dada en un lapso (por ejemplo, demanda diaria). Pero existirá un crecimiento en el tiempo debido al hecho de que el sector en el que se encuentra empieza a tener mayores características de centralidad y menores de periferia.

Dicho en otras palabras, con el tiempo es de esperarse que nuevos sectores sean urbanizados; por lo que pasan sectores ya existentes a ser más céntricos en forma relativa. De ese modo, la red se amplía, la población a la que sirve un área urbana (aunque sea de paso) crece, etc.

En conclusión, se tiene un incremento de demanda respecto de esa demanda inicial enunciada. Este aspecto es el que se configura mediante lo que habitualmente se conoce como la "tasa de crecimiento", la cual puede estudiarse y conceptualizarse de diferentes modos. No obstante, habitualmente se la considera de interés compuesto, ya que se estima como constante en el periodo de vida útil de un pavimento, pero aplicada directamente sobre el nivel de demanda del ciclo inmediatamente anterior; es decir, del año previo.

Con lo volcado en este artículo se intenta dar herramientas a quienes deben tomar decisiones relacionadas con la materialización de un pavimento, que les permitan comprender la necesidad de estudiar aspectos más allá de lo que perciban como claro y obvio, o asesorarse con profesionales que se especializan en los mismos.

Referencias

Cal y Mayor, R. (2016). Ingeniería de Tránsito. Editorial Alfaomega.

Rivera, J. (2007). Metodología para la obtención del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) por conteos diarios. SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, 19(2), 192-204.

El diseño de una mezcla asfáltica convencional

En un artículo previo se realiza una descripción general de los diversos tipos de mezclas asfálticas existentes y de sus formas de clasificación. En él se expresa que una de esas mezclas es la más habitualmente utilizada, por lejos, en los pavimentos flexibles de toda la Argentina. Se trata de los concretos en caliente para capa de rodamiento estructural aplicados en al menos 5 cm de espesor, tipificado por las Especificaciones Técnicas (ET), primero de la Comisión Permanente del Asfalto (CPA) y finalmente por la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), como un Concreto Asfáltico en Caliente Denso de Tamaño Máximo de 19 mm (CAC D-19) (DNV, 2017).

Pero no por mucho que se haya aplicado se implica que se lo haga de buen modo. Es más, en gran parte de sus aplicaciones, sobre todo cuando se realizan a ciertos niveles comúnmente desprovistos de profesionalismo (bajos en cuanto a complejidad, pero absolutamente extendidos en cuanto a volúmenes generales), lo más habitual es encontrar una aplicación "espantosa" y no una "medianamente decente".

Un ejemplo de esto podrían ser los planes de pavimentación municipales de arterias periféricas en zonas urbanizadas; son vialidades que posiblemente no presenten altos niveles de demanda en forma aislada, pero sí cuando se las considera en su conjunto y con una amplia superficie de extensión asociada. Otros ejemplos son las urbanizaciones privadas, los parques industriales, etc.; es decir, lugares en los cuales arquitectos, maestros mayores de obra o ingenieros que no han recibido instrucciones en cuanto a las vías de comunicación, puede que estén realizando sus actividades.

Por eso, se entiende, vale la pena hacer una breve referencia al respecto, que pueda darle a quien no ha tenido una capacitación relacionada, al menos una pequeña base conceptual.

El diseño de dichas mezclas inicia con la selección adecuada de sus materiales constituyentes de manera individual. Históricamente, diversos requisitos han existido en tal sentido. Los más recientes, establecidos por la ET de la DNV de 2017, puede decirse de manera general establecen, mediante ensayos de laboratorio, para los agregados gruesos (por encima de los 5 mm) parámetros relacionados con la forma de sus partículas, su resistencia ante diversas sollicitaciones, su durabilidad y su afinidad con el cemento asfáltico. A estos aspectos, esas ET adicionan para los agregados finos (por debajo de los 5 mm) y para los rellenos minerales (por debajo de los 75 micrones) análisis sobre todo en cuanto a su reactividad.

Finalmente, para cada proyecto en función del posicionamiento de la mezcla asfáltica en la estructura del pavimento (rodamiento o base), la demanda de vehículos pesados que vaya a tener y las temperaturas imperantes en su lugar de emplazamiento, se establece la tipología de cemento asfáltico a utilizarse (con sus correspondientes temperaturas de elaboración de la mezcla y compactación en obra). Como se deduce, la adecuada selección de estos materiales requiere de una intervención calificada.

Una vez seleccionados los materiales a emplearse, el siguiente paso es combinar los agregados y el relleno mineral para obtener una curva granulométrica que ajuste a las curvas límites existentes en la ET; a lo que pueden sumarse algunas particularidades establecidas por métodos analíticos, de manera empírica y/o de origen económicos. Esta tarea también requiere de una experimentada intervención.

Luego se procede al diseño de la formulación final de la mezcla que incorpora el contenido de cemento asfáltico a emplearse. Para ello, se analizan diversos contenidos tentativos ante una sistemática de ensayo en laboratorio inicial, reconocida como metodología Marshall, que analiza aspectos volumétricos y mecánicos de las mezclas generadas ante los contenidos en análisis (sobre muestras disgregadas y probetas moldeadas ad hoc).

Otra sistemática de ensayos aplicada al contenido que resulta óptimo del análisis anterior permite corroborar que dicha formulación presentaría adecuada resistencia ante las deformaciones plásticas permanentes (no generaría ahuellamiento de manera prematura) (Figura 11.1) y sería durable. La aplicación de estos análisis requiere de toda una serie de estudios analíticos previos a la realización de los ensayos y de consideraciones en cuanto a los resultados que se vayan obteniendo. Más que nunca estos pasos requieren de la intervención de personal con conocimientos en la materia.

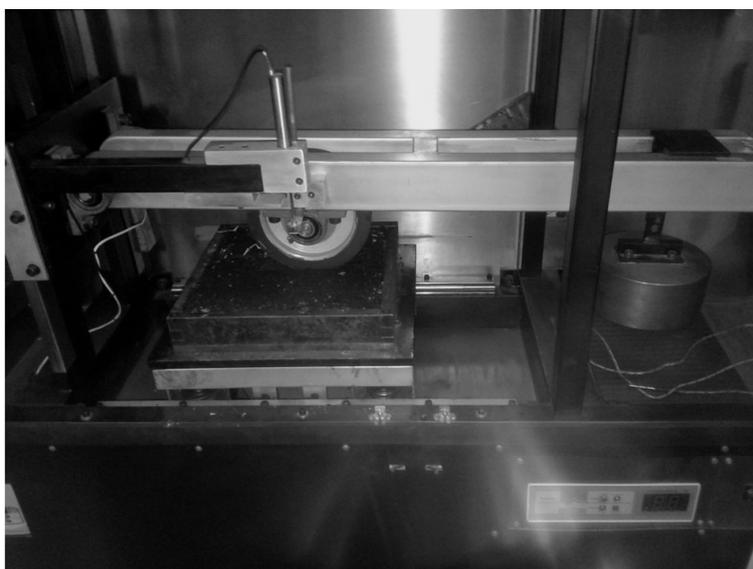


Figura 11.1. Ensayo de Wheel Tracking Test para establecer en laboratorio potencial de ahuellamiento de una mezcla asfáltica

Como se puede deducir, la dosificación de una mezcla asfáltica convencional es mucho más que una elección antojadiza basada en un pálpito o, incluso, en experiencias personales previas. Se recomienda a los profesionales a cargo de decisiones relacionadas (no solo de diseño, sino de aprobación de diseños de terceros o de informes de proveedores, etc.) que no hayan tenido una preparación en tal sentido (en secretarías de obras públicas municipales, gerencias de parques industriales, administraciones de barrios cerrados, etc.) asesorarse con ingenieros viales, especialmente capacitados a tal fin.

En resumen, siempre es recomendable profesionalizar de manera adecuada los cuerpos técnicos de las obras; en este caso en lo relacionado con las mezclas asfálticas, pero de manera genérica en todas las intervenciones. La inversión en el profesional idóneo resulta exponencialmente más económica que una obra mal realizada.

Referencias

DNV (2017). Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos. Dirección Nacional de Vialidad.

Dígame ingeniero, ¿es mejor el pavimento asfáltico o el de hormigón?

Aquellos que realizan algún tipo de actividad asociada al diseño de los pavimentos y su materialización, en algún momento de su actividad (en realidad en varios de ellos) se encuentran con la consulta de si ¿es mejor el pavimento asfáltico o el de hormigón? Así, sin más.

En ocasiones, ese tipo de consultas proviene de algún allegado que no guarda relación con la temática; es decir, de puro curioso nomas. Pero otras veces, llega de personas que luego van a dar difusión a lo que se diga o que, de algún modo, se relacionan con la actividad; pero no con la base mínima conceptual deseable, como es claro. La idea del presente artículo es esbozar algunos conceptos relacionados con la respuesta técnica a tal consulta.

Generalmente, cuando el común de la gente piensa al respecto lo primero con lo que se relaciona es con un costo asociado a los materiales que involucrarían ambas opciones y, más específicamente, a los materiales que “se ven superficialmente”.

En función de lo volcado en artículos precedentes, el lector ya tiene una parte de la respuesta a dar en tal sentido. El pavimento no lo constituye solo la capa de rodamiento (asfáltica o de hormigón, Figura 12.1), sino también aquellas capas subyacentes que conforman en su totalidad el “paquete estructural” (subrasante mejorada, subbases y bases, si es que existieran). Por lo tanto, si de costos iniciales se habla, debería compararse al menos aquellos relacionados con la conformación de la totalidad de esos “paquetes” para una situación en particular (Kraemer & Del Val, 1996).

Esto, a su vez, depende de la demanda durante la vida útil del pavimento; lo cual en la mayoría de los casos se ubica en un umbral mayor en los pavimentos rígidos (para llamar de mejor modo a los de “hormigón”) que en los pavimentos asfálticos. Entonces, ¿cómo comparar una alternativa con

otra? Y, utilizando complejas herramientas que involucren todos los costos de obra a lo largo de un plazo de análisis dado, los valores remanentes del pavimento diferentes en cada caso y los costos de operación para los usuarios a lo largo del tiempo (también diferentes pues se relacionan con la calidad de las condiciones de circulación de cada caso a lo largo del tiempo).



Figura 12.1. Materialización de un pavimento asfáltico (izq.) y un pavimento de hormigón (der.)

En definitiva, una tarea laboriosa cuando se aplican en una situación dada e imposible cuando se trata de dar una respuesta al paso.

Pero, supóngase que por algún designio del destino se pudiera pensar en ecuaciones económicas comparables cuando se evalúa el plazo de análisis, ¿puede decirse que tecnológicamente ambas opciones tienen la misma validez para su aplicación en una obra dada? Ya se puede anticipar la respuesta: No.

No en todos los lugares el cemento asfáltico y el cemento portland tienen la misma relación de costos (hay zonas cementeras y zonas asfalteras, por así decirlo). No todos los agregados que sirven para elaborar un hormigón sirven de igual modo en la elaboración de una mezcla asfáltica, y viceversa. No en todo lugar se cuenta con una planta para elaborar mezcla asfáltica con la misma disponibilidad que la de la planta para elaborar hormigón, y viceversa. No toda obra se encuentra ubicada al alcance lógico de la distancia

máxima de transporte y tiempo de colocación que una mezcla asfáltica en caliente puede implicar o que un hormigón puede acarrear previo a su fragüe inicial. No todo emplazamiento de obra cuenta en sus alrededores con mano de obra calificada para materializar tanto un pavimento rígido como flexible, ni los equipos necesarios para distribución y compactación de ambas opciones. No en todo lugar se puede contar con las posibilidades de establecer desvíos de tránsito por varios días, en espera que se cumplan los tiempos de curado del hormigón. Etc., etc., etc.

Todos estos son aspectos que no imposibilitan la obra con una alternativa dada, sino que involucran otros “componentes de costo” adicionales (alquiler de equipos, capacitación, transporte de materiales, etc.).

Por todo lo expresado, la respuesta técnica, que no elude la pregunta si no le da valor profundo, es “depende”. Porque si fuera definitiva, o es tendenciosa o ignora de algún modo lo que aquí se comenta.

Referencias

Kraemer, C., & Del Val, M. A. (1996). Firmes y pavimentos. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puerto. Servicio de publicaciones.

Los pavimentos y su entorno ambiental

El medio ambiente en el cual se materializa un pavimento tiene una fuerte incidencia en cuanto a de qué manera ese pavimento va a afrontar las cargas de tránsito solicitantes previstas durante su vida útil. Existen diversos modos de cómo eso puede analizarse. Para ello, supóngase como ejemplo el caso de los pavimentos flexibles.

Por un lado, para que un pavimento sea flexible sus capas subyacentes (bases, subbases y subrasante) deben ser predominantemente granulares; razón por la cual el contenido de humedad de estas capas, o mejor dicho su grado de saturación, tiene una incidencia directa en su comportamiento estructural y en la evolución de diversos deterioros relacionables. Esto siempre con la posibilidad de representar un grado de variabilidad asociado a las estacionalidades existentes. Dado lo expresado, el régimen de escorrentías, lluvias y evaporación del entorno del pavimento tiene su incidencia. Para ello, se suelen modelizar en los análisis estructurales tres fenómenos: la infiltración desde las capas superiores por no ser perfectamente impermeables, la saturación de capas por redes de escorrentías subterráneas y el ascenso capilar (AASHTO, 1993).

Por otro lado, también la condición de pavimento flexible se logra por contarse con una capa de rodamiento asfáltica; es decir, una capa constituida por un material compuesto cuyo ligante es el cemento asfáltico. Este ligante se reconoce por su reología, es decir su capacidad de resistir/fluir en función de la temperatura y el tiempo de aplicación de las cargas. De este modo, estacionalidades que llevan a altas temperaturas conllevan menores respuestas modulares y mayor incidencia de deformaciones plásticas permanentes; las que llevan a temperaturas intermedias a comportamientos óptimos frente al consumo por fatiga y las que llevan a bajas temperaturas a módulos excesivos y comportamientos frágiles asociados con fisuraciones.

Además, altas velocidades de circulación implican bajos periodos de aplicación de carga, asociados a mayores respuestas modulares, y bajas velocidades a respuestas modulares menores. Se deduce de lo expresado, lo que se obtiene como respuestas antes las combinaciones de temperatura y velocidad.

Otros efectos pueden analizarse también, por ejemplo, la existencia de heladas, sus profundidades de penetración y su incidencia en función de los contenidos de vacíos y susceptibilidades de los materiales constituyentes.

Un ejemplo adicional se tiene con la ubicación de la obra en cuanto a latitud por los ángulos de incidencia solar, la altitud, la existencia de vientos predominantes, etc. sobre la capa asfáltica y su envejecimiento.

Todo lo expresado, sirve para poder exponer la idea central del presente artículo: "que un pavimento flexible haya funcionado de buen modo (o mal modo) en una situación dada, aunque los materiales sean análogos y su demanda de tránsito también, no significa indefectiblemente que ubicado en otro entorno (o un mismo entorno modificado) deba funcionar también de buen modo (o mal modo)". Es decir, lo empírico en tal sentido debe ser considerado con la inclusión también de las variables de entorno relacionadas con lo ambiental, de algún modo modelizadas.

Lo mismo tiene total validez para los pavimentos rígidos, como es fácil deducir.

Referencias

AASHTO (1993). Guide for design of pavement structures 1993. American Association of State Highway and Transportation Officials.

¿Por qué un pavimento falla prematuramente?

Si bien el título del artículo deja entrever de qué se trata, posiblemente no lo expone totalmente, así que vale la pena identificar de mejor modo la situación que desea plantearse como tema de abordaje.

Para ello, una vez más, se toma el ejemplo de un pavimento asfáltico, que tiene al menos como característica una capa de rodamiento asfáltica. En la inmensa mayoría de los casos, esa capa asfáltica se encuentra conformada por una mezcla asfáltica en caliente estructural. Para que no se observe la aparición de fallas de manera anticipada a las expectativas, esa mezcla debe encontrarse en un paquete que surge de un diseño estructural y cuenta con un diseño en cuanto a características mecánicas y volumétricas. En resumen, se está ante una capa asfáltica de rodamiento en caliente, constituida de materiales aptos, bien diseñada y elaborada; que se coloca sobre una base dada para terminar de conformar un pavimento adaptado a las condiciones de entorno previsible. Todo bien hasta aquí.

El tema entonces es ¿puede ser que esa mezcla mal colocada lleve a su deterioro prematuro? La respuesta que rápidamente anticipa el lector es que "sí, obvio"; pero ¿por qué esto puede no ser tan fácil de detectar y resulta más habitual de lo pensado? Ahora sí, ese es el punto en cuestión del artículo, que puede tener respuesta en lo que se desea plantear a continuación.

Cuando el proceso de diseño de la mezcla asfáltica culmina, se arriba a una formulación óptima para la misma (porcentajes de materiales constituyentes) que cumple con todas las exigencias y que se relaciona con una densidad que la mezcla presentaría una vez compactada en obra. Es decir, esa mezcla bien elaborada en la planta asfáltica, si se coloca y compacta en obra de buen modo, debería presentar la densidad obtenida en laboratorio cuando fue diseñada (o, en rigor, al menos una proporción de dicha densidad, cercana al 100 %).

Como, además, por proyecto estructural dicha capa se debe colocar en un espesor dado, los pliegos de obra suelen considerar que el cumplimiento en cuanto a densidad y espesor son razones suficientes para entender sobre la adecuada materialización de la capa y de que no mediar una sollicitación por fuera de lo previsto (de cargas y clima) el deterioro debería aparecer estadísticamente al final de la vida útil planificada. De ese modo es cómo se instrumentan muchas veces los sistemas de control de obra; o sea, mediante la extracción de testigos de la capa construida (Figura 14.1), la determinación de la densidad y espesor de dichos testigos y la comparación de esos resultados con los de referencias para el proyecto (DNV, 2017). Perfecto, no hay fallas conceptuales... ¿o es que hay algo que se está dejando pasar por alto?



Figura 14.1. Extracción de testigo de carpeta asfáltica (Rivera, 2019)

La respuesta se encuentra si se piensa al cemento asfáltico que compone la mezcla como lo que es, un material con comportamiento fuertemente influenciado por lo reológico; o sea, dependiente de la temperatura y velocidad e intensidad de las cargas actuantes para hacerlo fluir.

Así, se puede entender que la densidad de referencia de la mezcla asfáltica fue hallada en laboratorio a una temperatura adecuada (a la que el cemento asfáltico presentaría un rango de viscosidad dado) y con un nivel de compactación acorde, pero que también puede ser alcanzada a una temperatura menor de lo establecido con un exceso de compactación. Esto último lleva a un comportamiento previsible muy por debajo del de diseño, pues genera un sistema de tensiones internas inadecuado, complejo de exponer en pocas palabras (Martínez Reguero, 2000). Si bien los estudios que llevan a esta afirmación son variados y tienen un fuerte componente técnico, que excede los propósitos del artículo, las consecuencias deben ser fácilmente por todos comprendidas: "Una mezcla asfáltica en caliente colocada a menor temperatura que la correspondiente, por más que cumpla con la densidad de referencia, fallará prematuramente" (Figura 14.2).



Figura 14.2. Falla localizada prematura de un pavimento asfáltico

¿Cómo se hace entonces para prevenir tal defecto? Lo primero a decir es "no escatimando en controles de obra durante la materialización de la capa". Un simple control esporádico de la temperatura de la mezcla que se utiliza, instantes antes de su volcado a la terminadora (equipo utilizado para su colocación), sirve como para detectar inconvenientes y como para dar a

entender al encargado de la construcción de que el sistema de control de calidad, en esa obra, no debe ser subestimado.

Ahora, ¿y si por algún imponderable ese control no se ha podido realizar? Bueno, cabe señalar entonces que también existen alternativas aquí, a partir de testigos de obra evaluados mediante diversos ensayos, según el aspecto que quiera ponerse en relieve. Por ejemplo, mediante determinación de resistencia a tracción indirecta para evaluar la durabilidad, módulo dinámico para la respuesta estructural (Figura 14.3), potencial de ahuellamiento por las deformaciones plásticas (Figura 14.4), etc. El daño ya está hecho, pero al menos de ese modo se lo puede mensurar y estimar como atenuar la aparición de esa falla prematura mediante intervenciones adicionales.



Figura 14.3. Determinación de módulo dinámico en testigo de pavimento asfáltico

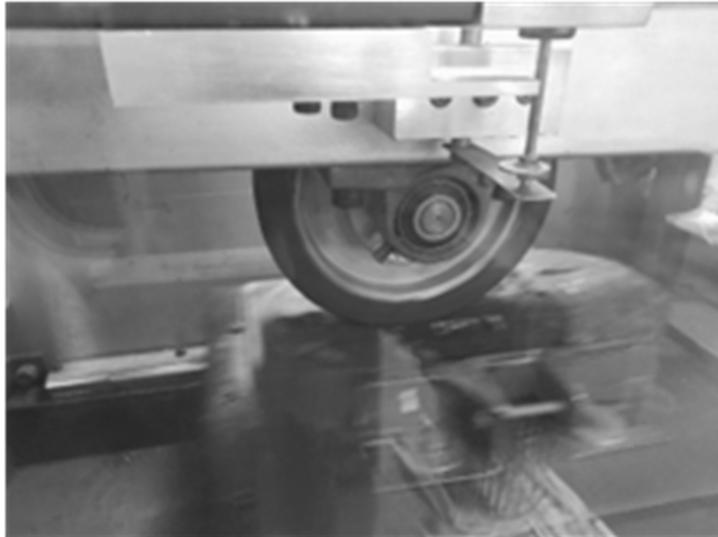


Figura 14.4. Potencial de ahuellamiento en testigo de pavimento asfáltico

La idea final con todo lo expresado es: primero poner en relieve el potencial problema que puede generarse, segundo ver cómo se puede evitar instrumentando controles en obra y tercero cómo se puede descubrirlo y mitigarlo si lo previo ha fallado.

Referencias

DNV (2017). Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos. Dirección Nacional de Vialidad.

Martínez Reguero, A. H. (2000). Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución. Universitat Politècnica de Catalunya.

Rivera, J. J. (2019). Estudio de riegos asfálticos de liga entre capas asfálticas para rehabilitación de pavimentos flexibles fresados. edUTecNe, Universidad Tecnológica Nacional.

¿Cuál fue la incidencia de la pandemia por COVID-19 sobre la vida útil de los pavimentos?

Las restricciones a los movimientos impuestas debido a la pandemia por COVID-19 llevaron a que se realizara un estudio de predicción, en base a los datos suministrados por la empresa Google, en cuanto a cuáles serían los plazos lógicos en los cuales se podrían posponer las obras de pavimentación luego de la pandemia. Este estudio se basa en el hecho de la incidencia que tendría en las vidas útiles de los pavimentos la disminución de las solicitudes de tránsito, tanto las registradas como las previsible por medio de un modelo de tendencias. El resultado obtenido es de utilidad para las autoridades que pueden, mediante el mismo, destinar recursos a otras actividades de mayor prioridad durante el plazo arribado, sin por ello suponer exista un deterioro en el estado de su red vial por encima del que ya se admitía previo a la pandemia.

En relación con lo citado, la empresa Google desde el día 3 de abril de 2020 hace públicos los datos estadísticos de la reducción del movimiento en la población a escala global. Todo aquel que tenga un dispositivo con sistema operativo Android, y posea habilitado el geo-localizador, ayuda a la recopilación de estos datos, de los cuales Google guarda el anonimato. De esta forma, se brinda una herramienta más para todo gobierno o país que la necesite para hacer frente a la pandemia (Google, 2020).

De estos datos, filtrando los pertenecientes a la región de La Plata, se decide trabajar solo con los pertenecientes a "Lugares de Trabajo" ya que tienen una mayor correlación con la reducción de movimientos vehiculares propiamente dicha. Se cuenta con los registros de que la última semana que corresponde a un movimiento habitual es la comprendida entre el sábado 7 y el viernes 13 de marzo de 2020. Como los registros tomados en cuenta se encuentran directamente afectados por las restricciones de movimiento, no

corresponde bajo estas circunstancias aplicar correcciones por estacionalidad, que tendrían su aplicación lógica en periodos de "normalidad" (Rivera, 2007).

En un primer análisis efectuado en septiembre de 2020 se deduce no llegaría a alcanzarse ese año en nivel de movimiento normal, sino que sería recién en el año 2021. También se establece en ese momento que dicha normalidad se alcanzaría en la semana 50 desde la implementación de las restricciones, registrándose un porcentaje de demanda del 69 % respecto del que hubiera sido esperado. Así, las nuevas intervenciones sobre las vías, con datos a fines de agosto de 2020 (semana 34 de pandemia), podrían diferirse aproximadamente 4 meses (por diferencia con el nivel cercano a 2/3 de la demanda respecto del previsto para 50 semanas); en la ciudad de La Plata y a partir de los registros de Google (Rivera y Zapata, 2020).

En junio de 2021 se realiza un nuevo análisis con los datos existentes hasta fines de mayo de 2021. En ese momento se establece una diferencia entre la recuperación de la demanda estimada en septiembre de 2020 y la efectivamente registrada. Las razones de esta diferencia son de público conocimiento, y se relacionan fundamentalmente con el concepto de las "olas" posteriores de contagio registradas a nivel mundial, aunque de diferentes maneras en función de la región geográfica.

Los nuevos datos obtenidos permiten apreciar claramente que en junio de 2021 se estaba lejos de alcanzar la normalidad en cuanto al movimiento del tránsito que se tenía en marzo del 2020. Además, en ese momento se puede hallar mediante la extrapolación a futuro el nuevo pronóstico de la semana 100 desde las restricciones, en cuanto al momento en el cual se regresaría al 100 % de nivel de demanda existente previo a las mismas. Se estaría obteniendo así un 69,4 % de la demanda, teniéndose un nuevo plazo de desplazamiento en las intervenciones viales sin consecuencias teóricas en cuanto al deterioro final de aproximadamente 7,5 meses (por diferencia con el 69,4 % respecto de 100 semanas).

Para darle cierre al análisis, en marzo de 2022 (aproximadamente semana 100 desde las restricciones por la pandemia) se analiza nuevamente la evolución de datos de Google, los cuales confirman la tendencia detectada a

junio de 2021. De este modo se valida la metodología de análisis utilizada, que permite predecir el momento de recuperación de los movimientos con 10 meses de antelación.

Se confirma, además, que la pandemia por COVID-19 termina implicando un plazo lógico en el cual se pueden diferir las intervenciones sin comprometer las perspectivas previas sobre dicho pavimento materializado antes de las restricciones, de 7,5 meses, al menos en la región de La Plata, lo cual podría extrapolarse a zonas de características análogas (Figura 15.1.).

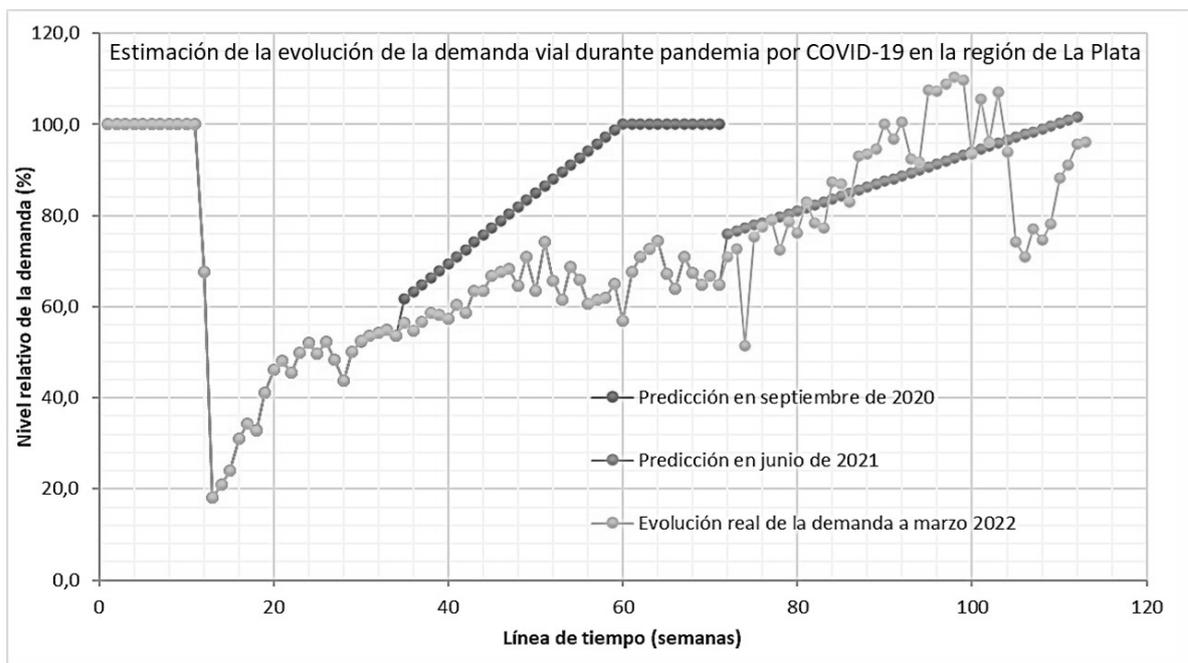


Figura 1. Recuperación final de la demanda vial por la pandemia por COVID-19

Referencias

Google. *Informes de movilidad local sobre el COVID-19.*
<https://www.google.com/covid19/mobility>

Rivera, J. & Zapata, I. (2020). *COVID-19: Traffic Restrictions Incidence on the Service Life of Pavements in La Plata City of Argentina. International Journal of Innovative Technology and Interdisciplinary Sciences*, 3(4), 550–559.
<https://doi.org/10.15157/IJITIS.2020.3.4.550-559>.

Rivera, J. (2007). Metodología para la obtención del tránsito medio diario anual (TMDA) por conteos diarios. SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, 19(2), 192-204.

¿Se puede pensar en una única mezcla asfáltica convencional en caliente?

En esta serie de artículos se expone la existencia de diversos tipos de mezclas asfálticas, particularizándose en lo que se podría denominar como un concreto asfáltico en caliente convencional; que es la mezcla, por lejos, de más alta aplicación en la Argentina en vías de bajo volumen de tránsito.

En la inmensa mayoría de los casos, salvo aquellos con jurisdicción de alguna dirección de vialidad provincial o de algún ministerio de infraestructura que cuenten con un pliego de especificaciones técnicas generales propio, estas mezclas se diseñan de acuerdo con el pliego de especificaciones técnicas generales de la DNV (DNV, 2017).

Esta especificación técnica, como es lógico sea, más allá de distinguir en ciertos parámetros las exigencias para diferentes niveles de tránsito, está pensada para vialidades con un nivel mínimo de exigencia y una vida útil importante. Pero la experiencia indica que los valores mínimos de esos aspectos considerados en dicha especificación muchas veces dejan de lado aspectos relacionados con condicionantes o razones de interés locales. Por eso con este artículo, se busca fortalecer la idea de que su empleo no siempre es la decisión más acertada.

Por ejemplo, puede señalarse que existe infinidad de materiales locales que se han aplicado con anterioridad a la aparición del pliego, con resultados satisfactorios a los efectos buscados con la vialidad, y que quedan descartados de plano en su aplicación así sin más. Diversos áridos naturales ingresarían en esta categoría, ya que por especificación en ocasiones se descartan sin analizarse ciertas particularidades que pueden poseer (angularidad, afinidad con el cemento asfáltico, etc.) más allá de ser naturales. Genéricamente estos materiales podrían ser involucrados bajo el concepto de "subvalorados".

Otro ejemplo, cada vez de mayor relevancia, lo constituye el empleo de ciertos materiales residuales de otros procesos (Rivera, 2018). Plásticos, fibras, rellenos minerales, e incluso materiales de demolición, todos ellos residuales, se pueden incluir de manera genérica bajo el concepto de “residuos” (Zapata et al., 2021; Rivera et al., 2021; Rivera et al., 2020). En la Figura 16.1 se observa el primer tramo de prueba urbano realizado en el país en 2009 con la incorporación de neumáticos fuera de uso, como un ejemplo de lo comentado.



Figura 16.1. Tramo de mezcla asfáltica con caucho reciclado de neumáticos

La idea es, entonces, alentar a las instancias jurisdiccionales relacionadas, vialidades provinciales, municipios, parques industriales, barrios cerrados, etc., a que acudan a centros viales de referencia, muchas veces universitarios, con su inquietud al respecto, de manera de lograr conformar pliegos adaptados a sus condicionantes y que hagan uso, en la medida de lo posible, de estos materiales “subvalorados” y “residuales”. Esto implica un costo adicional muchas veces no previsto en las instancias iniciales de un programa de pavimentación, pero sin duda representa a la larga una reducción de costos de obra generales, impulsando al desarrollo local; con mayor nivel de mano de obra local y generalmente mejores implicancias ambientales (como es el caso de la solución de pasivos ambientales puntuales y la reducción de distancias de transporte).

La idea es poder reflexionar al respecto y dejar ver que la temática posee una línea de solución que puede abordarse.

Referencias

DNV, (2017). Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos. Dirección Nacional de Vialidad.

Rivera, J. (2018). Fortalecimiento institucional de municipios en el área vial y empleo de residuos industriales en obras viales. 2° Encuentro de Centros Propios y Asociados CIC.

Rivera, J., Barbeito, S., & Porro, A. (2020). Empleo de RAP y residuos aceitosos como pavimento a bajas temperaturas para bajo tránsito. Vial, n. 133, pp. 18-20.

Rivera, J., Porro, A., & Barbeito, S. (2021). Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) and oily residues as pavement at low temperatures for low traffic roads. Academia Letters, 972. DOI: 10.20935/AL972.

Zapata, I., Rivera, J., & Botasso, G. (2021). Influencia de la incorporación de neumático fuera de uso en el deterioro a fatiga de las mezclas asfálticas en caliente. Décimo Primer Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI, San Rafael.

Mezcla asfáltica almacenable para vías de bajo volumen de tránsito

¿Se puede elaborar de a poco una mezcla asfáltica, ir almacenándola y colocarla cuando se genere el acopio suficiente? El lector ya puede ir anticipando que la respuesta a la pregunta planteada es un sí. Pero ¿cómo es posible esto?

Primero cabe preguntar a quién puede interesarle la solución planteada. Para ello, hay que pensar en la baja escala de la problemática; de ese modo se ve que municipios, desarrolladoras de barrios, administradoras de parques industriales, etc., necesitan en la mayoría de los casos volúmenes de mezcla asfáltica relativamente bajos como para pavimentar algunas cuadras de vías de bajo volumen de tránsito, bacheo de sectores reducidos, la construcción de veredas, etc. Este es el usuario al que se apunta con este tipo de mezclas, no a aquellos que piensan en realizar dicha tarea para aplicarlas en vías de una importancia intermedia o alta; o al menos así es en la generalidad de los casos.

La mezcla en análisis es lo que técnicamente se denomina como un concreto asfáltico en frío almacenable (no confundir con preelaborados para bacheo comercializados localmente bajo diferentes marcas). Son mezclas asfálticas estructurales para rodamiento, a ser colocadas en espesores en el entorno de 4 cm cuando se las realizan con granulometrías de áridos de tamaño máximo de 12 mm, y de 5 cm cuando se las confecciona con un tamaño máximo de 19 mm.

Dichos agregados deben reunir ciertas condiciones de forma, resistencia y limpieza, pero sobre todo poseer una compatibilidad con la emulsión asfáltica a ser utilizada para dotar el ligante asfáltico. A su vez, esa emulsión asfáltica, constituida por glóbulos asfálticos microscópicos recubiertos por un agente emulgente y dispersos en agua, debe reunir las

características de “superestable” (de acuerdo con la clasificación existente bajo Normas IRAM); pudiéndose en algunos casos utilizar las de tipo de “rotura lenta”. Las dosificaciones de estos concretos se realizan en laboratorio, por personal idóneo, y bajo sistemáticas específicas; como lo son el Marshall modificado DVSF (Rivera et al., 2019), el Método francés, etc.

La elaboración en su mayor escala de producción puede realizarse en plantas asfálticas desarrolladas específicamente para mezclas en frío, y en escala menores con mezcladoras de estabilizados para los áridos y elaboración de la mezcla en mixer (Botasso et al., 2000) o con dosificación de áridos manual y elaboración en mezcladoras de bajo porte (incluso “trompitos”, Figura 17.1). Cada sistema tiene su calidad y homogeneidad asociada, a la vez que una capacidad de producción dada.

El almacenamiento depende de varias de las condicionantes de entorno y de los materiales utilizados en la elaboración de las mezclas; pero pueden citarse ejemplos aplicados en la provincia de Buenos Aires, en los cuales dichas mezclas se han acopiado al aire libre, atendiendo a ciertos recaudos mínimos, con periodos de almacenamiento que superaron los 3 meses.



Figura 17.1. Elaboración artesanal de concreto asfáltico en frío almacenable

Su distribución en obra puede realizarse de manera óptima con terminadora, sin calefacción de su plancha, o en casos de no disponer de

dicho equipo mediante motoniveladora. La mezcla así distribuida debe dejarse perder humedad hasta alcanzar un estado cercano al de la "rotura" de la emulsión, momento en el cual se realiza su compactación, preferentemente con rodillos neumáticos autopropulsados.

Como tarea diferenciada en tal sentido, respecto de la colocación de los concretos asfálticos en frío, deben incluirse periodos de curado previo a su apertura al tránsito. En dichos periodos la mezcla libera agua y permite la generación de la necesaria adherencia activa entre el cemento asfáltico contenido en la emulsión y los áridos finos, que dan lugar al mastic asfáltico que otorga cohesión a la estructura de las fracciones intermedia y gruesa del esqueleto mineral. Las condiciones ambientales y características de los materiales utilizados, nuevamente, establecen la duración de este curado; pero cabe señalar que en la mayoría de los casos no debería ser menor a los 14 días.

Luego de liberada la mezcla al tránsito y con el paso del tiempo (sobre todo con periodos estivales varios) esa adherencia activa debería extenderse a la totalidad de la mezcla generándose un producto final no diferenciable de su realización en caliente.

En definitiva, lo comentado en este artículo es un ejemplo más, y no el único, de cómo pueden constituirse pavimentos asfálticos de manera no tan complejas, siempre y cuando sus condiciones de uso así lo permitan.

Referencias

Botasso, G., Rivera, J. J., & González, R. (2000). Nuevo método para la elaboración de concretos asfálticos en frío, experiencia en la ciudad de Chivilcoy. XXXI Reunión del Asfalto.

Rivera, J., Botasso, G., Fensel, E., Das Neves, G., Brizuela, L., & Delbono, L. (2019). Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMaC. Editorial edUTecNe.

Carpeta de mezcla asfáltica sobre pavimento de hormigón

El tema que se aborda en este artículo se relaciona con una técnica muchas veces utilizada en las políticas de rehabilitación de pavimentos rígidos en vías de bajo volumen de tránsito, pero no siempre de buen modo. Se trata de la que habitualmente se reconoce como de "recapeo asfáltico"; y que consiste en la colocación de una carpeta de mezcla asfáltica, generalmente en caliente, sobre las losas del pavimento de hormigón que presenta ya un grado de deterioro tal, que lleva a las autoridades a la necesidad de su intervención en vistas a mejorar las condiciones de circulación.

La versión que muchas veces puede encontrarse, y que resulta la menos afortunada, consiste en el mejor de los casos en la limpieza superficial de las losas, la aplicación de un riego de liga (a veces con una "regadera" de manera manual, Figura 18.1) y la colocación de la capa asfáltica con mezcla convencional (es decir, el mismo concreto asfáltico denso utilizado para pavimentación de obra nueva). El resultado de esto es al cabo de unos pocos meses la fisura refleja en la capa asfáltica (por juntas y fisuras de la losa de hormigón) y su posterior desintegración con el paso del tránsito (Figura 18.2).



Figura 18.1. Aplicación inadecuada de un riego de liga en recapados



Figura 18.2. Resultado final de mala aplicación de mezcla asfáltica sobre pavimentos de hormigón

Se entiende que ésta se percibe como la opción “más económica de intervención”, pero que también es probable existan vías para que se puedan destinar en cierta proporción, mayores fondos iniciales a tales efectos, en vistas a que los costos totales a largo plazo sean menores (Rivera, 2023).

Dado este razonamiento la pregunta sería: ¿Qué se podría haber mejorado técnicamente aquí? Pues posiblemente muchas cosas. Para comprenderlo puede hacerse un análisis de abajo hacia arriba de la aplicación.

Lo primero es ver qué tipo de deterioro se registra y su severidad. Si esta última es notoria, entonces corresponde reconstruir y no rehabilitar; pero supóngase que no es el caso y que la rehabilitación es viable. Paso seguido, si se observan las juntas y fisuras transversales y se ve solo desplazamiento relativo horizontal, por ejemplo por dilatación y compresión, es una situación; pero si además se determina que existe un desplazamiento relativo vertical, entonces la situación es otra y es al menos necesario que se refuerce con más pasadores, cuando no también que se realice la inyección de losas (se trata de técnicas de inyección a través de orificios en la losa de material de relleno en la base por huecos producidos por erosión dado el fenómeno de bombeo; puede tratarse de lechadas de cemento, poliuretano expandido, etc.). Complementariamente, si ese desplazamiento vertical es notorio, también es probable deba ser atenuado, para lo cual pueden aplicarse técnicas de desbaste superficial como las de microfresado o diamond-grinding.

Superada esta instancia, o solo ante la presencia de desplazamientos horizontales, corresponde una limpieza previa a la colocación del riego asfáltico de liga (Rivera, 2019). La adecuada aplicación de esta tarea debería eliminar por completo la presencia de materiales sueltos e incompresibles en las juntas y fisuras. Por esta razón, es necesario sellarlas con material adecuado inmediatamente, impidiendo el reingreso de ese material nocivo.

Luego se aplica el riego de liga con la emulsión asfáltica, dotación y técnica de aplicación adecuadas (equipos de riego). Pero, es posible que entre este y la capa de rodamiento (por ejemplo, por magnitud de los desplazamientos horizontales) se decida materializar un sistema antirreflejo de fisuras (muchas veces con capas intermedias de mezcla asfáltica especial, geosintéticos y/o incluso mallas metálicas, Figura 18.3) (Botasso et al., 2015). Es por lo tanto la instancia ésta en la cual debe materializarse; se espera, de buen modo.



Figura 18.3. Interposición de capa asfáltica de nivelación más geosintético

Finalmente, se coloca la capa de rodamiento; la cual, de no determinarse su necesidad de aporte en cuanto a lo estructural, debería materializarse con una mezcla diferente a la convencional. Por ejemplo, un microaglomerado discontinuo en caliente (no estructural), en espesores que rondan los 2 a 3 cm, es muy probable sea la opción más adecuada. Se trata de una mezcla que se diferencia de la convencional habitual por su tamaño máximo de agregados (aprox. 10 mm contra 19 mm), tipo de granulometría (discontinua contra continua), contenidos de vacíos (abierta contra cerrada), tipo de ligante asfáltico (modificado contra convencional), etc.

Al tener todo esto en cuenta, la probabilidad de demorar la fisura refleja (tal vez por muchos años) resulta notoriamente mayor, y el costo de las intervenciones a largo plazo menor en su sumatoria (Ferrero et al., 2021).

La idea es exponer que también en este tipo de intervenciones vale la pena consultar a especialistas en la temática y reforzar lo expresado en varias oportunidades: "menor inversión inicial no implica menor nivel de gasto".

Referencias

Botasso, G., Delbono, H., Fensel, E., Rivera, J., & Pisano, D. (2015, November). *Desempeño de geocompuesto en una rehabilitación y valoración de su aporte estructural*. In XVIII CILA, Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, sección (Vol. 4, pp. 117-128).

Ferrero, I. Z., Rivera, J., & Botasso, G. (2021). *Análisis del ciclo de vida en pavimentos: actualidad y perspectiva*. *Ingenio Tecnológico*, 3.

Rivera, J. (2023). *Revalorización de la componente técnica en las políticas municipales aplicadas en los pavimentos urbanos*. *GIICMA CITI*, Núm. 16, pp. 15-21, enero-junio.

Rivera, J. J. (2019). *Estudio de riegos asfálticos de liga entre capas asfálticas para rehabilitación de pavimentos flexibles fresados*.

Algunos conceptos útiles para el diseño de los planes de pavimentación

En varios de los artículos se señala el interés particular que se tiene con los mismos en cuanto a la aplicación de la ingeniería de pavimentos en las vías de bajo volumen de tránsito, como por ejemplo en el ámbito municipal. Para desarrollar el presente artículo se toma a éste como ejemplo, mostrándose conceptos que son válidos para su consideración de manera extensiva.

Si bien el concepto de "ámbito municipal" puede medianamente inferirse, vale la pena delimitarlo un poco mejor para no dejar dudas; habida cuenta de que existen municipios de varias tipologías. En tal sentido, puede mencionarse que muchos de los municipios de capitales cuentan con una capacidad técnica instalada, dada generalmente su importancia sociopolítica, el volumen de su población, su extensión y sus fuentes de recursos, que los dejaría por fuera de la manera con la que se pretende abordar esta temática. Lo mismo pasa en municipios que no son capitales, pero igualmente poseen una envergadura tal que los distingue del resto (Rosario, por poner un ejemplo extremo). Para los que no entran en estas tipologías, que son en número mayoritarios (no necesariamente en la suma de su población) es que va dirigido esa definición de "ámbito municipal" a la que se apunta.

En resumen, se trata de esos municipios que de algún modo deben arreglarse para definir sus políticas, muchas veces con funcionarios polifuncionales y que en algunos de los aspectos que abarcan podrían profundizar bastante sus conocimientos (Botasso et al., 2008). No se trata esto de una crítica, sino de un planteo de situación que deja a las claras lo positivo de dar herramientas sencillas que pueden entrar al menos en consideración.

Finalmente, en lo que hace a esta introducción, se puede señalar también que los conceptos que se desean volcar son genéricos para todo

pavimento, municipal o no, pero señalados de un modo particularizado en alguno de sus aspectos.

Habiendo realizado esta introducción, cabe decir que es habitual en los municipios hallar los mencionados como "planes de pavimentación" (u otras veces bautizados como el plan equis cantidad de cuabras, plan asfaltar, etc., etc.). En rigor, en la mayoría de los casos no son estrictamente planes de pavimentación (incluso ni siquiera de pavimentación asfáltica), si se entiende esta tarea como la de colocación de pavimentos nuevos, sino que también en muchos casos aplican algún tipo de "mantenimiento".

Este mantenimiento puede entenderse de mejor modo cuando se incluyen conceptos técnicos más acertados. En tal sentido, se entiende que al pavimentarse (es decir, técnicamente al efectuar una "obra nueva") se dota al pavimento de su condición óptima. Esa condición, debido al paso del tránsito y la incidencia climática, con el tiempo comienza a perderse a medida que ciertos deterioros aparecen y se incrementan en cuanto a extensión y severidad.

Hasta ciertos niveles de condición, es dable pensar entonces en volver de algún modo a niveles previos "conservando" al pavimento. Cuando esa pérdida de condición respecto de la inicial resulta más importante, lo que empieza a necesitarse es devolver características de forma más notoria, "rehabilitando" el pavimento. Por último, si la pérdida de condición es más importante aún, lo que se necesita es una "reconstrucción" (Rivera, 2023).

Pero la pérdida de condición tiene guardada una sorpresa, pues no se da de manera lineal, sino siguiendo una forma tal que lleva a que no exista una proporcionalidad tiempo/costo para esas tipologías de inversiones, tal cual puede observarse en la Figura 19.1.

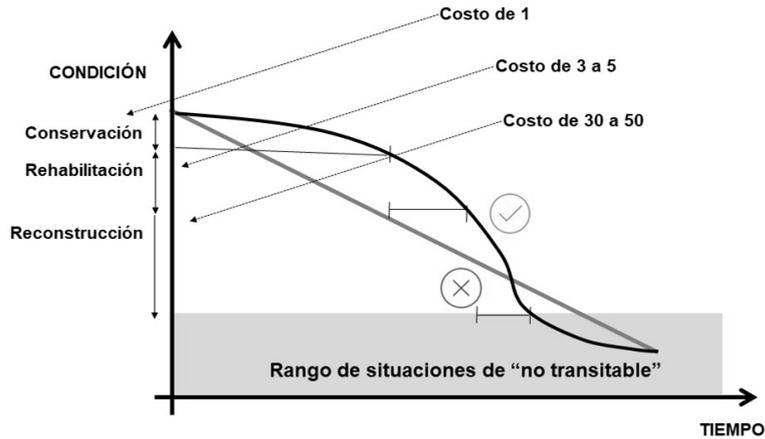


Figura 19.1. Intervenciones, ventanas de aplicación y proporcionalidad de costos

El que analiza ese gráfico puede llegar a pensar que entonces la solución reside en efectuar siempre conservación. Esto no es tan sencillo, primero porque se requiere que toda la red se encuentre en condiciones de ser conservada y segundo porque no siempre los recursos para conservar se encuentran disponibles en tiempo y forma. Pero, además, existe una tercera razón, que las curvas de condición muestran, que es el hecho de que no todo deterioro es "conversable", ni todo deterioro es "rehabilitable", dando lugar a lo esquematizado en la Figura 19.2. El caso típico que permite ilustrar esto es el de la fisuración generada por fatiga de la capa asfáltica; la cual típicamente se da desde la fibra inferior hacia la superior, demostrándose su imposibilidad de solución (al menos con las técnicas habituales disponibles).

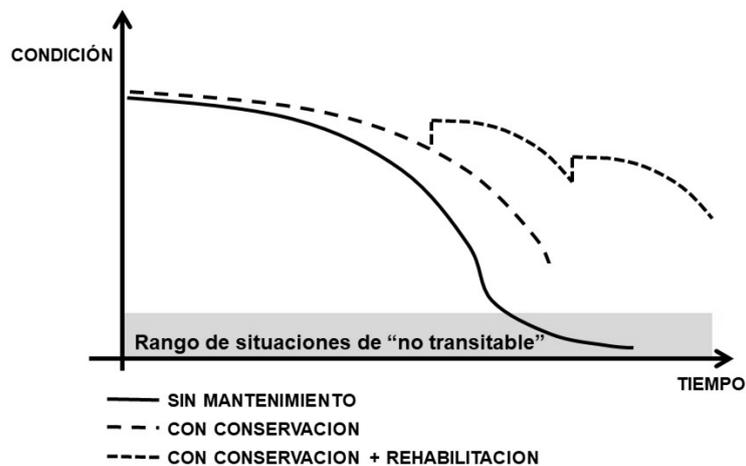


Figura 19.2. Esquema de curvas de condición según la política de intervención

Es decir, al mediano y largo plazo, toda red vial gestionada (o sea aquella en la cual se aplica un "plan de pavimentación") requiere intervenciones de conservación, rehabilitación y reconstrucción; más allá de que implique obra nueva o no. El tema está en decidir qué hacer ante lo voluminoso de los requerimientos y lo genéricamente escaso de los recursos, implicando acciones que nos acerquen a lo óptimo.

Pero un último elemento también puede ser analizado y complicar un poco más la decisión. Es aquel que indica que, por las tasas de descuento aplicables en una evaluación económica de la situación, toda intervención de igual costo diferida en el tiempo lleva a un valor monetario menor. Es decir, a valores de hoy, si se tiene que gastar lo mismo, pero se gasta de manera diferida en el tiempo, ese gasto es menor. Esta diferencia no es tampoco proporcional, pues la tasa de descuento es del tipo de interés compuesto (a diferencia del interés simple, que se calcula sobre la cantidad inicial, el interés compuesto se calcula sobre esa cantidad y también sobre el interés acumulado de períodos anteriores, por lo que puede considerarse como de "interés sobre intereses").

Entonces, por un lado, diferir una intervención técnicamente lleva a mayores costos de manera no proporcional. Pero, por el otro, la desproporcionalidad económica de costos diferidos hace que sea probable que diferir no se torne necesariamente en inadecuado. Sobre esto entienden los "modelos de gestión vial" que integran estos conceptos, y varios más, que rara vez son aplicados a nivel municipal, pero si son habituales en redes rurales provinciales o nacionales, por ejemplo.

Es clara nuevamente la conclusión a la que se puede llegar. Dotar a las decisiones (la confección del "plan de pavimentación") de bases técnicas, aunque puedan implicar una mayor inversión inicial que no se vuelca en un hecho físico en sí (implementar un sistema de gestión vial, por ejemplo), al mediano y largo plazo implican sustanciales menores costos. El tema reside

en encontrar la escala de la herramienta a aplicarse respecto de la escala del problema a resolver; en este caso la red vial municipal en particular abordada.

Referencias

Botasso, G., Rivera, J., Das Neves, G., & Ricci, L. (2008). "Plan de Ordenamiento Vial Yerba Buena. Universidad Tecnológica Nacional, ISBN 978-950-42-0099-4, Argentina.

Rivera, J. (2023). Revalorización de la componente técnica en las políticas municipales aplicadas en los pavimentos urbanos. GIIICMA CITI, Núm. 16, pp. 15-21, enero-junio.

La mejora estructural en vías no pavimentadas

En artículos precedentes se abordan diversos aspectos en relación con la pavimentación de una vía, al entender a esta acción como el hecho que culmina con la colocación de una capa de rodamiento, que puede considerarse como tal; es decir, como "pavimento". Pero esta no es siempre la intención final de una intervención, pues es probable que se desee incrementar la aptitud vial de una vía existente sin necesidad de pavimentarla; al involucrar a lo que se puede mencionar como un "mejorado". En esto, cabe señalar, existen diversas formas de denominación y de definiciones en particular, según sea el ámbito/repartición donde se efectúa, pero la idea es siempre la misma: "dotar de más estructura vial, pero sin pavimentar" (Figura 20.1).



20.1. Vía de bajo volumen de tránsito mejorada

Por ello, es necesario efectuar un análisis estructural particular a tales efectos. Pero ese análisis no puede guiarse mediante los modelos convencionales para vías pavimentadas, dado que el componente empírico de

dicho modelo (que en la actualidad todavía resulta es ineludible, aunque algunos métodos lo enmascaren en una alta proporción) es basado, justamente, en experiencias de pavimentación.

Es así como se han generado desde diversos ámbitos herramientas o modelos que entienden en el caso de forma particular. Una de estas herramientas, que es la de mayor aplicación en el ámbito local, es la incluida en la sección para "Vías de Bajo Volumen de Tránsito" de la Guía AASHTO93 (AASHTO, 1993). No obstante, en muchos ámbitos que entienden en la temática dicha herramienta no es adecuadamente implementada, o es directamente desconocida. Por eso vale la pena en el presente artículo realizar una mención al respecto.

Esta herramienta de análisis para vías no pavimentadas se prevé se utilice originalmente en base a ciertas condiciones imperantes en diversas regiones de los Estados Unidos, donde fuera desarrollada. Como dichas condiciones no se reproducen del mismo modo en la Argentina, y ciertas simplificaciones pueden instrumentarse en razón a la escasez de datos relacionados, básicamente lo que puede realizarse a partir de una respuesta representativa de la subrasante y el nivel de demanda previsto (con vidas útiles en torno a 1 o 2 años) es establecer el espesor de base requerido (de acuerdo con su aporte estructural) a partir de un modelo por pérdida de serviciabilidad y un modelo por ahuellamiento.

De ese modo, el mayor espesor resultante entre ambos modelos se considera como el requerido, sumándosele un espesor adicional por pérdida por erosión, para llegar al espesor de base final.

Como un último paso, la herramienta permite que dicho espesor sea suplantado estructuralmente por una combinación entre espesores de subbase y base (también identificadas por su respuesta estructural).

La idea de esta breve descripción es poner en relieve la existencia de una vía para resolver estructuralmente el mejorado de una rasante, previo a su pavimentación, lo cual muchas veces no se tiene en cuenta y se transforma en un aspecto más que aleja de una situación óptima las decisiones en cuanto a políticas de intervención.

Referencias

AASHTO (1993). Guide for design of pavement structures 1993. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Los pavimentos de granitullo y un “posible” descuido técnico

Una de las versiones de lo que en vías de bajo volumen de tránsito se puede denominar como “una vía pavimentada”, es aquella que responde a la tipología del granitullo.

El granitullo es aquel bloque de piedra cúbico, de dimensiones reducidas de entre 7 a 10 cm por lado (Nario, 1997), generalmente colocado en forma de abanico (Figura 21.1) (GCABA, 2015).

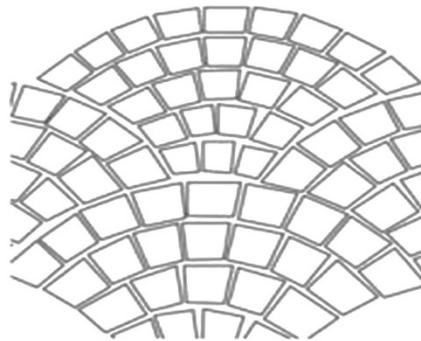


Figura 21.1. Disposición del granitullo en abanico (GCABA, 2015)

Esta tipología de pavimentos se implementa en Argentina por primera vez en la ciudad de Tandil en 1916, como un avance ante las versiones previas de adoquinado, copiando la tendencia europea, como por ejemplo lo utilizado en París (Figura 21.2).

A nivel nacional las últimas aplicaciones de esta tipología se han dado en la década de 1930 (Nario, 1997). Un ejemplo de estas aplicaciones se tiene aún en la ciudad de La Plata en la Plaza Italia (Figura 21.3), como también en otras ciudades que han decidido algún tipo de resguardo del patrimonio histórico.



Figura 21.2. Granitullo en abanico en Paris (Google Maps)



Figura 21.3. Granitullo en abanico en La Plata (Google Maps)

El tema que se desea observar con el presente artículo es que esa disposición de los arcos, que tiene que ver con el resultado óptimo para su comportamiento estructural, se da en una Argentina que por aquellos entonces tenía un sistema de circulación “a la inglesa” (Garrappa Albani, 2007). Lo que podría relacionarse con la tipología de fisuras en arco por falta de resistencia al corte en la capa superficial, Figura 21.4 (Rivera, 2019).

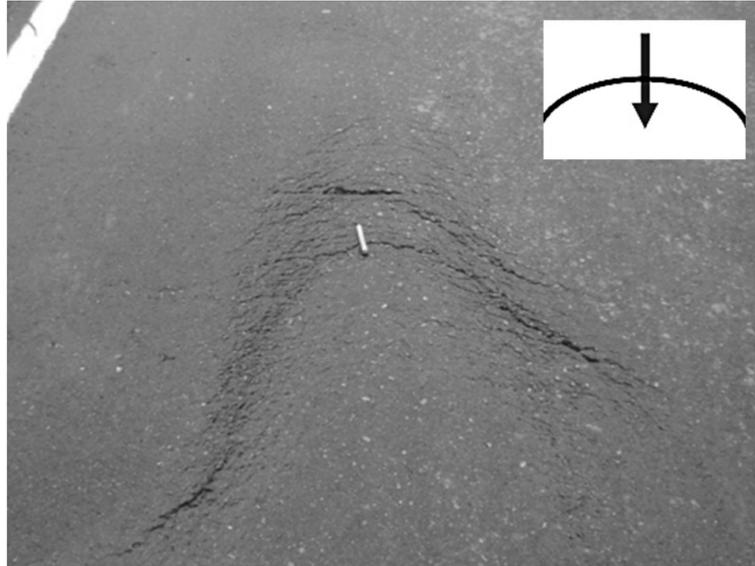


Figura 21.4. Fisura en arco por falla de resistencia al corte y sentido de circulación

El 10 de junio de 1945 los sentidos de circulación de las calles de nuestro país se invierten para que el tránsito se adapte a los nuevos vehículos que, en su mayoría, se importan en esos tiempos de Estados Unidos y tienen el volante a la izquierda (MT, 2023); dándose lugar a lo que luego constituiría al 10 de junio como el Día de la Seguridad Vial a nivel nacional. Esto, en cambio, no sucede en otros lugares, como es el caso citado de París, pues allí desde mucho antes, en otras de las intervenciones atribuibles a Napoleón Bonaparte (aprovechando su condición de zurdo para dejar libre la mano izquierda en caso de necesitarla para empuñar un arma), se dictamina que, en Francia y todos los países conquistados o influenciados por el poder de su ejército, el sentido de la circulación sea por la derecha (Zorrero, 2023). Por eso, si se contrasta la Figura 21.2 con la Figura 21.3 se corrobora que los arcos se encuentran en diferentes sentidos respecto al tránsito circulante en ambos casos.

Es entendible que la decisión de modificar el sentido de circulación no lleve a la inmediata reforma de la infraestructura; pero el caso es que las obras de reacondicionamiento de los pavimentos de granitullo realizadas desde ese entonces, como por ejemplo en la ciudad de Rafaela durante el 2022 (Figura 21.5), es probable deban considerar un cambio en el sentido de los arcos, tendiente a ese óptimo comportamiento estructural.



Figura 21.5. Reacondicionamiento de calle de granitullo en Rafaela (Google Maps)

La idea no es realizar una crítica a quienes han llevado adelante este tipo de obras, ni en la ciudad mencionada ni en ninguna otra. Todo lo contrario, las felicitaciones a quienes a costa de potenciales mayores inversiones deciden mantener intacto su patrimonio al no reemplazar los pavimentos de granitullo de ciertas arterias (preferiblemente con baja movilidad) por otra tipología de pavimentos más actual y económica (sin que esto sea una comparación en cuanto a vidas útiles, sino en cuanto a inversión inicial de obra).

Pero lo que sí quiere expresarse es que, tal vez, un tema tan sencillo como el planteado merezca alguna consideración, en vistas a lograr un mejor desempeño de ese pavimento al largo plazo.

Referencias

Nario, H. (1997). *Los picapedreros (Vol. 2)*. Ediciones del Manantial.

GCABA (2015). *Manual de diseño urbano*. Subsecretaría de Proyectos de Urbanismo, Arquitectura e Infraestructura - Ministerio de Desarrollo Urbano, Buenos Aires.

Rivera, J. J. (2019). *Estudio de riegos asfálticos de liga entre capas asfálticas para rehabilitación de pavimentos flexibles fresados*. edUTecNe, Universidad Tecnológica Nacional.

Garrappa Albani, J. (2007). *Adoquinado: si o no*.

[<http://jgarrappa.blogspot.com/2009/07/las-calles-empedradas.html>]

MT (2023). *Día Nacional de la Seguridad Vial: por un tránsito seguro, respetuoso y con lugar para todos*. Ministerio de Transporte, Argentina.

[<https://www.argentina.gob.ar/seguridadvial/dia-nacional-de-la-seguridad-vial-por-un-transito-seguro-respetuoso-y-con-lugar-para>]

Zorrero, D. (2023). *El curioso motivo por el que la mayoría de los países cambiaron el volante de la derecha a la izquierda*. Infobae.

[<https://www.infobae.com/autos/2023/05/28/el-curioso-motivo-por-el-que-la-mayoria-de-los-paises-cambiaron-el-volante-de-la-derecha-a-la-izquierda/>]

Los pavimentos articulados y algunas consideraciones para su diseño

Existen en la actualidad variadas versiones de cómo un pavimento articulado puede materializarse, pero de éstas una es la de más actual amplio uso vial en Argentina. Se trata de aquella materializada de acuerdo con los mampuestos que se observan en la Figura 22.1.



Figura 22.1. Bloque para pavimento vial articulado

Los pavimentos conformados de este modo pueden registrar algunas ventajas comparativas a otras tipologías, siempre y cuando ciertos aspectos de borde así lo establezcan. Por ejemplo, en el ámbito municipal podría ser una alternativa adecuada si se la emplea en vías de bajo tránsito y cuando se la piensa incluso con acciones complementarias; como puede ser la propia elaboración de los bloques por el municipio o cooperativas desarrolladas ad hoc y/o la colocación artesanal que implique mano de obra local disponible en sistemas de empleo con un componente social, etc. Aspectos estos que podrían sumarse, según la región de que se trate, a aquellos relacionados con los materiales, tales como aprovechamiento de áridos locales subvalorados,

economía en el empleo de cemento, dificultades para la adopción de alternativas asfálticas en frío y caliente, etc.

Para optimizar su empleo, los bloques deben ser colocados en espina de pescado o en hileras trabadas, atravesadas a la dirección de circulación de los vehículos. Se colocan según la lógica de ubicación volcada en la Figura 22.2 y respetando la linealidad en las curvas cerradas.

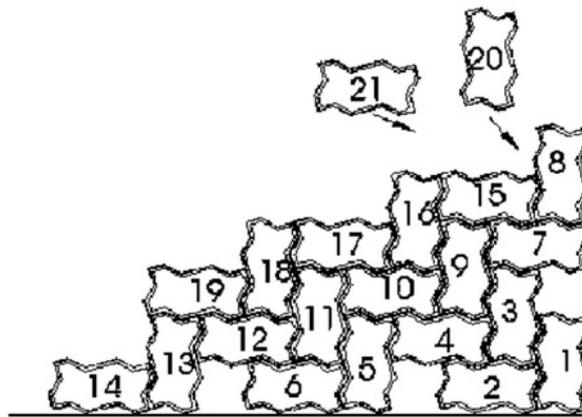


Figura 22.2. Secuencia de colocación de bloques en un pavimento articulado

Los bloques se acomodan sobre una arena de cama de 3 a 4 cm de espesor, distribuyéndose luego de manera superficial una arena de sellado, las cuales deben cumplir con las granulometrías de la Tabla 22.1. Dada la condición de no ligado que se tiene, toda tarea de intervención y/o rehabilitación se ve limitada a levantar en la zona afectada los bloques, reacondicionar la base (o bachear y reacondicionar, o pasar servicio y reacondicionar, etc.), distribuir una nueva arena de cama, reemplazar los posibles bloques dañados y distribuir la arena de sellado.

Tabla 22.1. Granulometría de la arena de cama y la arena de sellado en pavimentos articulados

Tamiz	Arena de Cama		Arena de Sellado	
	% Pasa Mín.	% Pasa Máx.	% Pasa Mín.	% Pasa Máx.
3/8"	100	100		
Nº4	90	100		
Nº8	75	100	100	100
Nº16	50	95	90	100
Nº30	25	60	60	90
Nº50	10	30	30	60
Nº100	0	15	5	30
Nº200	0	5	0	15

Son requisitos para la elaboración de los bloques el cumplir con lo establecido en la Norma IRAM 11.656 en su última versión de 2019, destacándose el empleo preferencial de los bloques bicapas Tipo I de 8 cm de espesor.

Dado lo señalado, el diseño estructural empleable debe tener solo como dato de entrada la subrasante, la demanda vehicular y el material de base propuesto; por lo que el resultado del análisis es el espesor de la base (salvo que se desee instrumentar un sistema de base y subbase). Para resolver dicho diseño existen una serie de metodologías aplicables. Algunas consisten en simples tablas, como las implementadas en Australia ya desde la década de los 80 para suelo cemento o estabilizados granulares (Morrish, 1980). Otras, recurren a modelos eminentemente empíricos (Rada et al., 1990) o modelos eminentemente mecanicistas (Ryntathiang et al., 2006).

Con lo expuesto se realiza solo una breve descripción de los aspectos más relevantes en cuanto a esta tipología de pavimentos. Se espera sirva para que los interesados cuenten con una base que les permita ahondar en aquellos aspectos que le resulten de mayor interés.

Referencias

Morrish, C. (1980). Interlocking concrete paving - the state of the art in Australia. 1st International Conference on Concrete Block Paving, Newcastle.

Rada, G., Smith, D., Miller, J. & Witzak, M. (1990). Structural Design of Concrete Block Pavements. Journal of Transportation Engineering, 116(5), 615-635.

Ryntathiang, T., Mazumdar, M. & Pandey, B. (2006). Concrete Block Pavement for Low Volume Roads. 8th International Conference on Concrete Block Paving, San Francisco.

Los pavimentos de adoquines

En artículos anteriores se abordan algunos conceptos básicos relacionados con los pavimentos de granitullo (mampuestos cúbicos de piedra de entre 7 a 10 cm por lado) y con los pavimentos articulados (con mampuestos de hormigón con cierta tipología predominante en cuanto al uso vial).

Ambas tipologías suelen mencionarse coloquialmente como de “pavimento de adoquines”. Pero, técnicamente hablando, o al menos para algunos autores, en rigor la denominación de pavimento de adoquín (así, sin más) pertenecería a una tercera tipología, motivo de abordaje en el presente artículo.

Efectivamente, los adoquines son mampuestos de piedra, con dimensiones en planta de 20 cm por 15 cm y espesores diversos, que al ser cortados a mano a principios del Siglo XX llevan el nombre de “adoquín especial” con sus 6 caras correctamente cortadas, desiguales de a pares y achatado (Nario, 1997). En el país no existe una producción importante de los mismos desde la década del 30´ de ese mismo siglo.

Muchas veces, sobre todo en la actualidad, estos adoquines se elaboran con un volumen perfectamente prismático, por una simplicidad de corte o de moldeo cuando son del tipo artificial. Esto lleva a que al ser colocados con el “trabado normal” (es decir, con hiladas rectas trabadas, Figura 23.1) y con pendientes transversales rectas (Figura 23.2, arriba), solo trabajen por fricción entre sus caras, ya sea de forma directa o indirecta (por ejemplo, mediante el uso de arena de sellado).

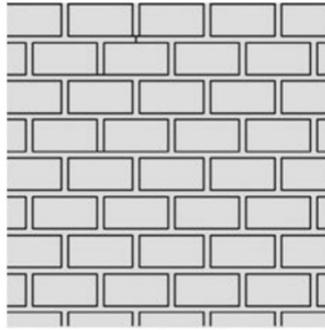


Figura 23.1. Colocación con trabado normal

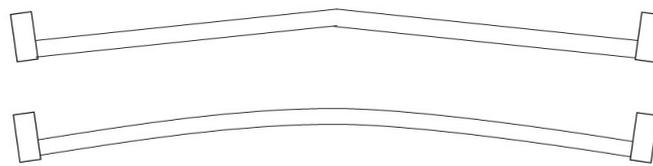


Figura 23.2. Perfil transversal recto (arriba) o abovedado (abajo)

Esta probablemente pobre previsión estructural, puede llevar a que en el corto plazo se generen deformaciones que llevan a un bajo nivel de transitabilidad (Figura 23.3).



Figura 23.3. Deformación prematura por adoquines perfectamente prismáticos
(Glozmayo, 2023)

En cambio, sobre todo cuando se analiza más lejos en el tiempo, los adoquines especiales de piedra se realizan con sus caras menores levemente convergentes desde su cara superior, de modo tal de poder generar en su colocación un perfil abovedado (Figura 23.2 debajo), al estilo de las dovelas de un arco (Glezmayo, 2023) pero con perfil mucho más achatado.

Esta es probable sea una de las causas fundamentales por las cuales pavimentos nuevos realizados con esta técnica lleven en el corto plazo a deformaciones significativas y, en cambio, pavimentos antiguos, aunque un poco incómodos para ser transitados, muestren perfiles que se parecen bastante a los iniciales. Es decir, están deformados, pero no tanto como se podría esperar en pavimentos que llevan en ocasiones más de 100 años de colocación (Figura 23.4).



Figura 23.4. Pavimento de adoquines centenario en Diagonal 77 de La Plata (Google Maps)

Nuevamente, el propósito de este artículo no es cargar las tintas sobre un producto o una aplicación en particular, sino mostrar como simples recaudos, basados en un conocimiento de base asociado, pueden llevar con costos similares a vidas útiles mayores. Este es un objetivo principal de la ingeniería de pavimentos, que no debería ser perdido de vista.

Referencias

Nario, H. (1997). Los picapedreros (Vol. 2). Ediciones del Manantial.

Glezmayo, A. (2023). Elarquitectodeinsta.

Mezcla asfáltica en frío de fresado y aceite usado de motores

El presente artículo aborda una solución para las capas de rodamiento que se observa se aplica en diversas vías de bajo volumen de tránsito como carpeta de rodamiento de bajo costo; la cual puede ser mejorada con inversiones menores y permitiendo su adecuada consideración en un diseño estructural asociado (tanto en lo relacionado con su aporte estructural como en cuanto a su espesor de aplicación).

Se trata de aquella en la que se emplea material de fresado (RAP) compactado mediante equipo pesado o el uso de los propios camiones de obra (Figura 24.1).



Figura 24.1. Capas de rodamiento 100 % de RAP

Esta versión básica puede mejorarse notoriamente cuando, además del RAP, se utiliza algún residuo aceitoso, aplicado con la finalidad de disminuir la

viscosidad del cemento asfáltico que contiene dicho material y permitir un mayor grado de consolidación.

Esta alternativa requiere, por lo tanto, se genere el mezclado de ambos componentes; mezclado el cual se puede realizar mediante encaballetado o en la tolva de una terminadora. Este último caso se observa como una alternativa superadora, dado que dicha tolva, al estar calefaccionada, le otorga al mezclado un leve aumento de la temperatura, lo que facilita que el residuo aceitoso se integre en un grado superior con el cemento asfáltico aportado por el RAP.

En experiencias propias de laboratorio se experimenta con diferentes residuos aceitosos, arribándose a la conclusión de que, con el RAP comúnmente disponible en la zona central de la Argentina, el que permitiría obtener mejores resultados es aquel proveniente del cambio de aceite en motores (Rivera et al., 2021).

Mediante esta técnica se consigue, en mezclas de 100 % de RAP más un 1 % de aceite residual de motores (en peso por encima del 100 % de peso del RAP), coeficientes de aporte estructural de hasta 0,23 1/pulg, útiles en su empleo en diseños estructurales mediante la Guía AASHTO '93 (AASHTO, 1993).

En relación con esto último, cabe señalar que existen publicaciones de AASHTO que otorgan a una capa de rodamiento constituida por un tratamiento superficial triple (en un espesor cercano a la pulgada) coeficientes de aporte estructural de hasta 0,16. Por lo tanto, los coeficientes de aporte estructural obtenidos en las experiencias serían de validez para una capa de rodamiento.

No obstante, estas mezclas también se han estudiado en cuanto a su potencial resistencia a las deformaciones plásticas permanentes (ahuellamiento); obteniéndose deformaciones excesivas (Figura 24.2), lo que indica la necesidad de utilizarlas en espesores reducidos (posiblemente de no más de 4 cm).



Figura 24.2. Análisis con WTT de mezcla de RAP con aceite usado de motores

Si bien cada caso en particular, es decir cada combinación de RAP con el residuo aceitoso proveniente de motores, requiere de un análisis en particular (tanto de caracterización y diseño en laboratorio), se puede ver cómo esta técnica, que puede sonar en casos como demasiado rudimentaria, al ser aplicada correctamente resulta válida, al menos como una mínima expresión de un revestimiento asfáltico utilizable.

Como siempre, la recomendación que se puede realizar es la de implementar estos estudios particulares previo a la materialización de las obras, de manera tal de obtener los mejores resultados posibles.

Referencias

AASHTO (1993). Guide for design of pavement structures 1993. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Rivera, J., Barbeito, S. & Porro, A. (2021). Use of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) and oily residues as pavement at low temperatures for low traffic roads. Academia Letters, Article AL972. DOI: doi.org/10.20935/AL972.

Bases y subbases estabilizadas granulométricamente

Las vías no pavimentadas pueden ofrecer como superficie de rodamiento una capa estabilizada granular o ligada rígida. Los pavimentos de mampuestos pueden materializarse con los diversos elementos (adoquines, granitullo, intertrabados, etc.), sobre bases granulares o ligadas rígidas. Los pavimentos rígidos poseen como superficie de rodamiento una losa de hormigón y suelen materializarse sobre bases ligadas rígidas para impedir la erosión en sectores de juntas y ante potenciales fisuras; aunque existen casos en los cuales se emplean con bases granulares. Los pavimentos semirrígidos poseen una capa de rodamiento asfáltica sobre una base ligada rígida. Los pavimentos semiflexibles poseen una capa de rodamiento asfáltica de más de 15 cm sobre una base granular. Finalmente, los pavimentos flexibles poseen una capa de rodamiento asfáltica de menos de 15 cm sobre una base granular (AASHTO, 1993).

Como puede observarse entonces, gran parte de la condición de un paquete y del modelo aplicable para su análisis estructural, se deben a las características fundamentales de su base, y no solo de las de su capa de rodamiento. A esto debería agregarse lo que en ese sentido aportaría también la potencial presencia de alguna subbase, constituida con particularidades de las mencionadas.

Están entonces por un lado las capas ligadas rígidas. Se trata de capas de suelos finos o con alguna presencia de material granular, pero en las cuales la respuesta modular depende del aditivo químico que se aporta dado que se lo realiza en contenidos importantes. En la actualidad estos aditivos químicos pueden ser el cemento, la cal u otros productos hidraulizantes, adicionados de manera única o en forma combinada. También en dichas bases puede encontrarse presencia de ligante asfáltico, como es el caso de las que se

constituyen con RAP, pero el comportamiento estructural sigue respondiendo principalmente a los aditivos químicos. En otras ocasiones es probable considerar en las mismas el uso combinado con algunos estabilizantes iónicos de suelos, que permiten similares respuestas modulares, pero con menores contenidos de los aditivos químicos (Rivera et al., 2016a). Toda una serie de consideraciones puede realizarse para cada tipo de mezcla en la cual se utilice alguna combinación de los materiales citados, estableciéndose así parámetros en cuanto a su consideración estructural en particular, su diseño y su materialización en obra (Rivera et al., 2016b). Esas consideraciones son motivo de futuros artículos.

Por el otro lado, se tendría a las capas granulares. En resumidas cuentas, dichas bases podrían estar constituidas básicamente por los mismos materiales, pero con contenidos tan bajos de aditivos químicos (si es que los hubiera) que provocan que el comportamiento estructural solo se deba a la componente granular de la mezcla (contacto entre granos, sin incidencia notoria del ligante).

Planteada esta situación, cabe señalar que no toda capa granular puede incorporarse en cualquier ubicación en el paquete. Si se considera, por ejemplo, el paquete flexible multicapas ya abordado en varias oportunidades, ciertas capas granulares pueden utilizarse solo como subrasante mejorada, otras solo como subbase y solo unas pocas como base, dado que en ese orden se requiere cada vez mayor aptitud vial y respuesta estructural.

La manera tradicional de lograr esa respuesta estructural a nivel de subbase y de base es mediante la estabilización granulométrica (Figura 25.1).



Figura 25.1. Construcción de una capa de estabilizado granulométrico

Dicha estabilización se logra cuando el contacto entre las partículas granulares es el mayor posible, lo cual puede entenderse cuando se modeliza al material como constituido, por ejemplo, con tres fracciones (gruesa, intermedia y fina). Si se piensa primero en el acomodamiento de las partículas que conforman la fracción gruesa, se tiene como resultado los puntos de contacto entre dichas partículas. La manera de incrementar esos puntos de contacto al máximo se da cuando se tiene una fracción intermedia en una proporción tal que se ubica en los huecos dejados por el acomodamiento de la fracción gruesa; lo cual se ve incrementado aún más cuando los huecos que deja la combinación de las partículas gruesas e intermedias se llenan exactamente con las partículas finas. Se logra así el acomodamiento que se observa en la Figura 25.2, que sería el que lleva a la mayor densidad, pues cada fracción llena los huecos que dejan las inmediatas superiores.

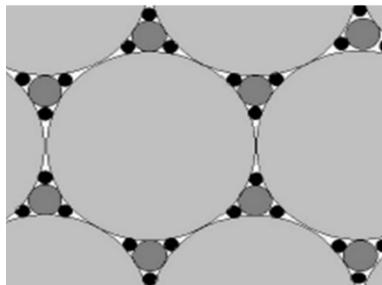


Figura 25.2. Acomodamiento de partículas en una estabilización granulométrica

Este es, como se expresa, un problema de acomodamiento volumétrico. Pero si la densidad de la fracción gruesa es coincidente (con

ciertas tolerancias) con la de la fracción intermedia y con la de la fracción fina, entonces el problema de volumen puede traducirse a un problema de pesos. Por lo tanto, pueden instrumentarse análisis granulométricos en tal sentido.

Diversos investigadores han analizado la situación y han generado modelos de esas curvas granulométricas en peso que llevarían a esa mayor densidad, como es el caso de la curva simple de Fuller, basada en el tamaño de la mayor partícula en el acomodamiento, o el de Dolomey, que agrega además un parámetro de trabajabilidad debido a la textura de los agregados.

Cualquiera sea de estas la que se incluya, su gráfica en un sistema donde el pasante por tamiz se expresa de manera aritmética y la abertura del tamiz en modo logarítmico, presenta una curva visualmente continua con concavidad hacia arriba, como se observa en la Figura 25.3.

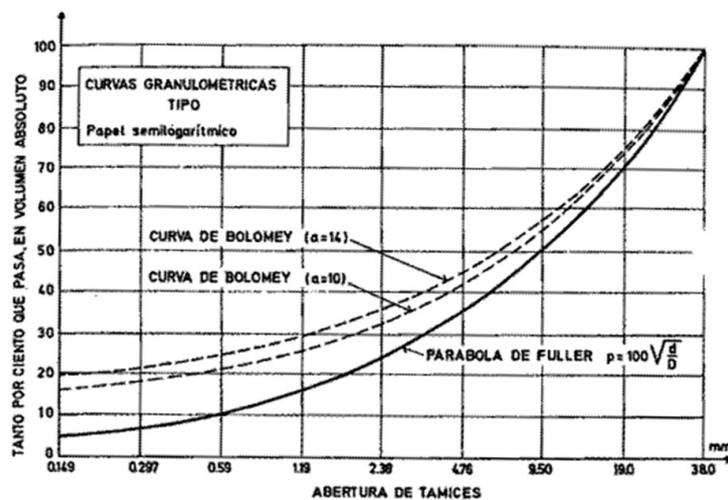


Figura 25.3. Curvas de máxima densidad en una estabilización

Basadas en estos conceptos y algunas correcciones empíricas adicionales, las reparticiones viales generan curvas límites entre las cuales se podrían generar estos estabilizados granulométricos, restando luego se corroboren ciertos requisitos tecnológicos y la respuesta estructural de la capa generada. En la Tabla 25.1 se vuelcan dichas curvas de acuerdo con lo establecido por el Pliego de Especificaciones Técnicas de la DNV (DNV, 1998), a manera de ejemplo.

Tabla 25.1. Curvas para estabilizados granulométricos de la DNV (DNV, 1998)

TAMICES IRAM	PORCENTAJES QUE PASAN			
	SUB-BASE	BASE		
		GRAVA NATURAL	MEZCLA DE PEDREGULLO Y GRAVA	PEDREGULLO DE ROCA O GRAVA
51mm (2")	100	---	---	---
38 mm(1 1/2")	90-10	100	100	100
25 mm(1")	---	70-100	70-100	70-100
19 mm (3/4")	---	60-90	60-90	60-90
9.5 mm (3/8")	45-70	45-75	45-75	45-75
4.8 mm (Nº 4)	---	35-60	35-60	30-60
2 mm (Nº10)	30-55	25-50	25-50	20-50
420 µ (Nº 40)	---	15-30	15-30	10-30
74 µ (Nº 200)	2-20	3-10	3-10	3-10
Límite Liq. %	< de 25	< de 25	< de 25	< de 25
Índice Plástico	< de 6	< de 4	< de 4	< de 4
Valor soporte	> de 40 (1)	> de 80 (1)	> de 80 (1)	> de 80 (1)
Sales totales	< de 1.5	< de 1.5	< de 1.5	< de 1.5
Sulfatos	< de 0.5	< de 0.5	< de 0.5	< de 0.5

Como un último comentario, cabe señalar que cuando las densidades de las distintas fracciones (es decir, de los distintos materiales utilizados para componer la mezcla) no son lo suficientemente coincidentes, el problema volumétrico no puede solucionarse directamente con las curvas generadas por pesos. Por esto, las curvas límites se pueden seguir utilizando, pero los pasantes en cada fracción deben ser corregidos por las densidades puestas en juego, para que sean válidas. Lo señalado no siempre se tiene en cuenta, razón por la que se recomienda prestar especial atención en tal sentido al llevar adelante los análisis correspondientes en cada caso en particular.

Referencias

AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures 1993*. American Association of State Highway and Transportation Officials.

DNV (1998). *Pliego de Especificaciones Técnicas Generales (Edición 1998)*. Dirección Nacional de Vialidad.

Rivera, J., Botasso, H. G., Hansen, O., Poletti, A., Villanueva, M., & Sosa, G. (2016, June). *Capas de suelo_cemento_estabilizante químico para el mejoramiento de caminos rurales, bases para su análisis*. Congreso Argentino de Caminos Rurales.

Rivera, J., Villanueva, M., & Sosa, G. (2016, October). *Consideración estructural de las capas de suelo cemento por medio de su resistencia a compresión inconfiada ante la gama de sistemáticas de ensayo asociadas*. Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito.

Índice

PRÓLOGO DE DOLMEN.....	1
PRÓLOGO DEL AUTOR	3
TEMARIO	5
ARTÍCULO 01	7
DE “PONER ASFALTO” A “CONSTRUIR UN PAVIMENTO” EN UNA VÍA DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	7
ARTÍCULO 02	11
LA MEJORA DE LA SUBRASANTE VIAL PARA VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO.....	11
ARTÍCULO 03	15
¿POR QUÉ DISEÑAR ESTRUCTURALMENTE UN PAVIMENTO EN UNA VÍA DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO?.....	15
ARTÍCULO 04	19
LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO Y SU DEMANDA.....	19
ARTÍCULO 05	23
ALGUNOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEABLES.....	23
ARTÍCULO 06	27
EL DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS	27
ARTÍCULO 07	31
LA COMPLEJIDAD EN LOS MODELOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS	31
ARTÍCULO 08	35
LA ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE UN PAVIMENTO.....	35
ARTÍCULO 09	39
DEFECTOS Y BUENAS PRÁCTICAS EN LOS RIEGOS DE LIGA EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....	39
ARTÍCULO 10	47
LA SOLICITACIÓN VEHICULAR EN UN PAVIMENTO	47
ARTÍCULO 11	53
EL DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.....	53
ARTÍCULO 12	57
DÍGAME INGENIERO, ¿ES MEJOR EL PAVIMENTO ASFÁLTICO O EL DE HORMIGÓN?	57
ARTÍCULO 13	61
LOS PAVIMENTOS Y SU ENTORNO AMBIENTAL	61
ARTÍCULO 14	63
¿POR QUÉ UN PAVIMENTO FALLA PREMATURAMENTE?	63
ARTÍCULO 15	69
¿CUÁL FUE LA INCIDENCIA DE LA PANDEMIA POR COVID-19 SOBRE LA VIDA ÚTIL DE LOS PAVIMENTOS?....	69

ARTÍCULO 16	73
¿SE PUEDE PENSAR EN UNA ÚNICA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL EN CALIENTE?	73
ARTÍCULO 17	77
MEZCLA ASFÁLTICA ALMACENABLE PARA VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	77
ARTÍCULO 18	81
CARPETA DE MEZCLA ASFÁLTICA SOBRE PAVIMENTO DE HORMIGÓN	81
ARTÍCULO 19	87
ALGUNOS CONCEPTOS ÚTILES PARA EL DISEÑO DE LOS PLANES DE PAVIMENTACIÓN	87
ARTÍCULO 20	93
LA MEJORA ESTRUCTURAL EN VÍAS NO PAVIMENTADAS	93
ARTÍCULO 21	97
LOS PAVIMENTOS DE GRANITULLO Y UN “POSIBLE” DESCUIDO TÉCNICO	97
ARTÍCULO 22	103
LOS PAVIMENTOS ARTICULADOS Y ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA SU DISEÑO	103
ARTÍCULO 23	107
LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES.....	107
ARTÍCULO 24	111
MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO DE FRESADO Y ACEITE USADO DE MOTORES	111
ARTÍCULO 25	115
BASES Y SUBBASES ESTABILIZADAS GRANULOMÉTRICAMENTE	115
ÍNDICE.....	121

José Julián Rivera

Apuntes sobre pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito

Tomo I

La presente publicación es el Tomo I compuesto de los primeros 25 artículos mensuales volcados en la sección de "Acercando la vialidad a los arquitectos" del Portal Dolmen entre octubre de 2021 y octubre de 2023.

Tienen como idea original abordar de forma introductoria ciertos aspectos relacionados con la vialidad, sobre todo específicamente con los pavimentos, utilizando un lenguaje coloquial intercalado con la exposición de la terminología técnica específica de la materia. Se la piensa direccionada a los arquitectos, maestros mayores de obras y demás disciplinas que, por no haber tenido la formación básica con que se cuenta en la ingeniería civil en tal sentido, podrían estar llevando acciones en la temática sin una base mínima conceptual. Estas son las razones fundamentales por las cuales sus artículos se encuentran redactados de modo informal, incorporando muchas ideas adicionales entre paréntesis y analogías.

Se aborda un nicho conceptual casi inexplorado en publicaciones académicas, muchas veces direccionadas a atender a las vialidades de alta categoría, como lo es el de las vías de bajo volumen de tránsito.

DOLMEN



LEMOC
CENTRO DE INVESTIGACIONES VIALES

CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

edUTecNe



ISBN 978-987-8992-31-0



9 789878 992310