



XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

Pavimentos Rígidos y Flexibles, Ventajas y Desventajas

**M. I. VINICIO A. SERMENT GUERRERO
JEFE DE LA UNIDAD GENERAL DE
SERVICIOS TÉCNICOS
CENTRO S.C.T. NUEVO LEÓN**

Los autores ceden los derechos de publicación de este documento a la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, AC.

1. HISTORIA

Con el establecimiento de las primeras civilizaciones la humanidad se vio en la necesidad de establecer vías de comunicación para intercambiar entre regiones los productos necesarios para subsistir. Probablemente el primer invento que revolucionó los medios de transporte fue la rueda, con la cual se facilitó el traslado de bienes de mayor tamaño y volumen pero a la vez estableció la necesidad de contar con caminos con menores obstáculos y superficie uniforme y firme para hacer más eficientes los traslados.

En siglos posteriores, tras la aparición de la rueda y a medida que se desarrollaban las grandes naciones, las necesidades militares primero y las comerciales después impulsaron la construcción de caminos carreteros. Aunque los caminos suelen estar diseñados principalmente para el paso de vehículos con ruedas, los Incas (quienes nunca llegaron a descubrir la rueda) construyeron una avanzada red de carreteras que atravesaba los Andes, partiendo desde la actual Ecuador y recorriendo 3.680 km. hacia el sur.

Sobre el tercer milenio a. de C., la vocación comercial de las civilizaciones de Egipto, Mesopotamia y del Valle del Indo generó la necesidad de desarrollar caminos, algunos de los cuales tenían una importancia similar a las actuales carreteras, como el construido en el Valle del Nilo por los egipcios, una verdadera carretera con pavimento artificial de 18 metros de anchura, utilizada para el transporte de los grandes bloques de piedra con que se construyeron las pirámides. Excavaciones arqueológicas indican el amplio uso del asfalto natural hacia el año 3.800 A. C. en Mesopotamia, valle del Indo y en Egipto. Los habitantes de estas regiones lo utilizaron para impermeabilizar estanques y depósitos de agua o como mortero para unir ladrillos o piedras.

En Creta en el Minoico Medio (2.300 – 1.700 a. de C.), en la vía que va desde las proximidades del mar hasta el palacio de Knossos, se utilizaron como pavimento grandes losas de piedra asentadas sobre capas de arcilla, piedra y yeso. Generalmente la piedra utilizada fue caliza por su abundancia en la zona (figura 1).

**XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES
“MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**



Figura 1

En Babilonia (600 a. de C.) se emplean también losas como pavimento. La base del mismo consta de varias hiladas de bloques de terracota unidos por asfalto natural y como pavimento losas de piedra caliza achaflanadas en su parte inferior, selladas también con asfalto natural, incluso las juntas (Figura 2).

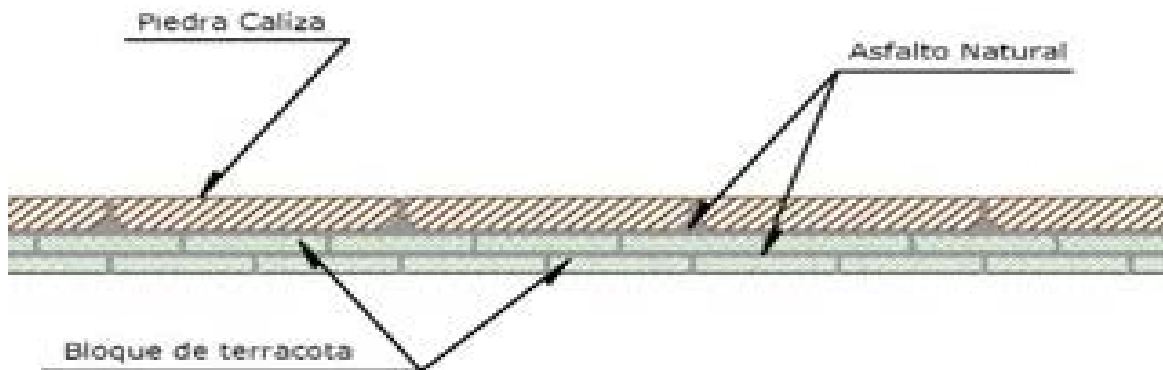


Figura 2

XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

Los más grandes constructores de caminos del mundo antiguo fueron los romanos, que construyeron una red de vías de comunicación muy eficiente, la cual fue uno de los pilares de la expansión romana. En un principio dicho sistema de vías fue diseñado con fines militares y políticos, el mantener un control efectivo de las zonas incorporadas al Imperio era el principal objetivo de su construcción; posteriormente, las calzadas adquirieron una importancia económica añadida, pues al unir distintas regiones facilitaban el comercio y las comunicaciones.

Generalmente las vías romanas se construían tomando la ruta más directa allá donde fuera posible, obligando así a que los ingenieros de la época diseñaran y construyeran complicados sistemas de circunvalación cuando existía la presencia de montañas, considerando esto un gran logro para los agrimensores (antiguos topógrafos) teniendo que replantear la línea de un nuevo camino y hacerlo tan recto como fuera posible, privados de los instrumentos de los que hoy en día disponemos.

Una de las razones por lo que las calzadas romanas eran tan duraderas es el esmero que pusieron en el diseño y ejecución de un sistema de drenaje adecuado que básicamente consistía en la excavación de zanjas en los extremos del camino y paralelas al mismo, además se hacía una excavación eliminando los suelos poco resistentes hasta encontrar material firme para desplantar la estructura de pavimento formada, por lo general por una capa de cimentación a base de piedras planas llamada *statumen*, sobre ella una capa formada con boleos mezclados con suelos mas finos llamada *rudus*, encima de esta una capa de concreto formado con piedra machacada y cal grasa llamada *nucleus*, y como superficie de rodamiento una capa formada por un enlosado de piedra cuyas juntas se sellaban con mortero de cal, denominada *summum dorsum* (figura 3).

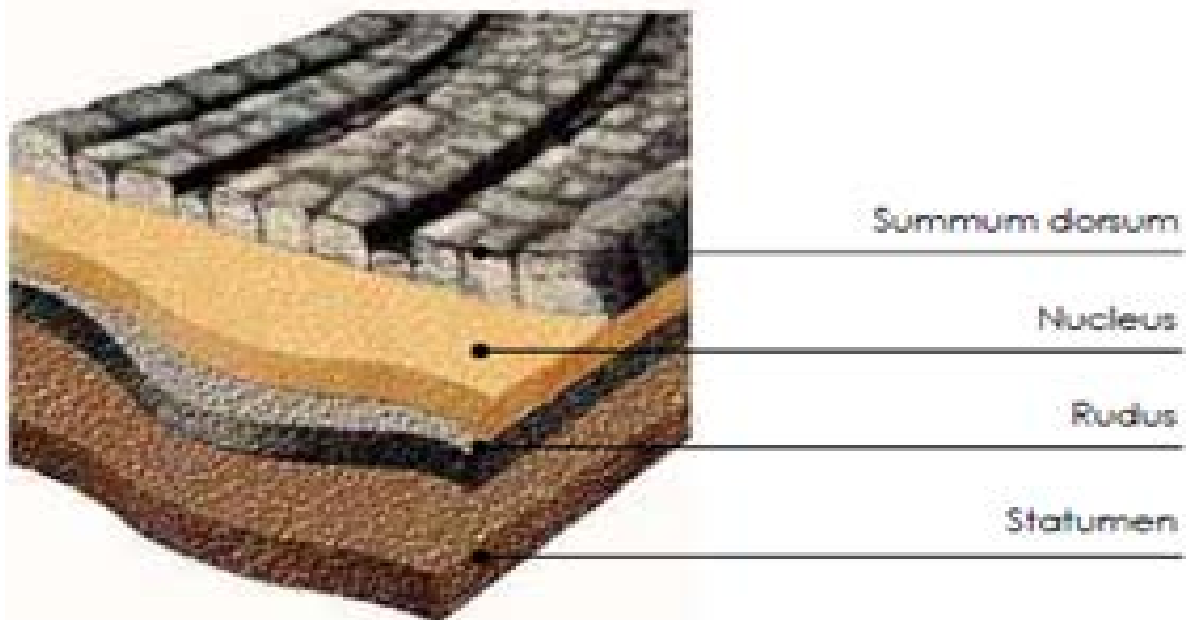


Figura 3



XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

En nuestro país los caminos prehispánicos no eran transitados por vehículos por lo que consistían en simples senderos de tierra compacta, llenos de piedras y limitados por la vegetación circundante, habiéndose ubicado pequeños segmentos de vías y calzadas bien conservados, sin embargo se han ubicado algunos segmentos de calzadas bien conservados, que llegan y salen de los principales sitios arqueológicos. Notables ejemplos de ello son los sacbé, caminos blancos de los mayas que fueron construidos empleando como cimientado el sascab (caliza alterada), apisonada con cilindros de piedra, y como pavimento un enlosado de la misma naturaleza de piedra caliza.

Los aztecas aprovecharon de manera eficiente las escasas posibilidades de transportación disponibles y desarrollaron un sistema de comunicación que fue esencial para la conservación del imperio. Las principales calzadas de Tenochtitlan partían del centro ceremonial en dirección de los cuatro puntos cardinales. Fabricadas con piedra –y con un ancho de hasta 7 m y una extensión de hasta 8 km–, llegaban a las orillas norte, oeste y sur del lago. Más allá de la ciudad, los caminos eran de tierra y se habían formado según las necesidades de cada día. Los caminos de Tenochtitlan lo comunicaban con sus tributarios; los que unían los centros de población más importantes, más que ir directamente de uno a otro pasaba generalmente por centros menores, excepto cuando las condiciones del terreno permitían una comunicación directa, como en las riberas de los lagos de la Cuenca de México. En el México antiguo los caminos corrían por montañas y valles, si bien se buscaba que fueran lo más directos posible (es decir, más cortos), ignorando obstáculos menores como colinas o barrancos que podían ser cruzados a pie.

A la caída del Imperio Romano y su segregación en pequeñas naciones, desapareció parcialmente la comunicación entre los pueblos. En ese tiempo las órdenes religiosas son las que fomentan la comunicación a través de los caminos peregrinos en España, Francia, etc., encargándose los señores feudales de la conservación y mejora de los caminos en sus territorios. En la Edad Media aunque en menor escala era frecuente la pavimentación con losas de piedra y también el empleo de piedras de tamaño más reducido como superficie del tránsito de caballerías y ganado.

En México después de la conquista se impuso el modo español de hacer intercambios. Esto se manifestó principalmente en la expansión de las rutas de comercio y en la orientación de la economía hacia el exterior. Ambos factores requerían de una red de caminos que obedeciera a las nuevas condiciones económicas, a la vez que tomara en cuenta la geografía. Esta nueva red de caminos suplió casi en su totalidad a las rutas precortesianas debido, fundamentalmente, a factores tecnológicos, pues las rutas prehispánicas, ante la ausencia de bestias de carga y tiro, poco consideraban aspectos tales como la pendiente de los caminos o lo cerrado de las curvas: aspecto que debieron tomar en cuenta al construir rutas sobre las cuales transitarían animales cargados y carretas.

A finales del siglo XVIII se inicia una nueva visión tecnológica de los pavimentos urbanos por razones de mejora del transporte. En ese tiempo la tipología de los pavimentos de piedra es muy variada. Algunos ejemplos son:

Pavimento de adoquín de 20 x 30 cm y de 18 ó 20 cm de espesor asentando sobre una capa de arena (figura 4)

**XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES
“MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**



Figura 4

Pavimento de adoquín de 10 x 18 cm, de 6 a 8 cm de espesor juntoado con mortero de cemento sobre base de concreto hidráulico de 20 a 30 cm de espesor (figura 5)



Figura 5



XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

A mediados del siglo XVIII Pierre Merie Trésaguet inició en Francia la construcción de pavimentos formados por tres capas de piedra triturada a mano, las dos primeras con tamaño máximo de 7.6 cm y un espesor conjunto del orden de 20 cm, sobre de ellas se colocaba una tercera capa de 5 cm de espesor con tamaño máximo de 2.5 cm, estos caminos se construían con cunetas laterales y pendiente transversal para atender los problemas de drenaje. Este tipo de procedimiento fue replicado por Thomas Telford en Escocia a principios del siglo XIX. Posteriormente John McAdam introdujo su sistema de pavimentación (macadam) construido con capas de piedra de granulometría uniforme, con tamaño máximo y espesores similares a los empleados por Telford, aglutinando las partículas con ligantes aplicados por riego.

Con el siglo XX se inicia la nueva era de los pavimentos, el crecimiento de la población y la revolución industrial hicieron necesario el transporte de volúmenes cada vez mayores de mercancías y personas, con la aparición de los vehículos con motor de combustión interna las vías terrestres tuvieron que modificarse para proporcionar el servicio requerido por estos cambios, a pesar de que los concretos hidráulicos y los ligantes asfálticos habían sido utilizados de manera rudimentaria por mucho tiempo, con el desarrollo de la industria del petróleo, se comenzó a emplear cementos asfálticos para la fabricación de mezclas asfálticas, que en la actualidad son básicas para la pavimentación.

Asimismo en la segunda década del siglo XIX Vicat en su teoría de la hidraulicidad define que, calcinando una mezcla íntima de caliza y arcilla molidas conjuntamente en húmedo, se obtiene una cal hidráulica. Los estudios de Vicat y las sucesivas modificaciones posteriores que se realizaron, sirvieron de base para la fabricación del cemento Pórtland, el cual propulsó el desarrollo de los concretos hidráulicos, actualmente indispensables en la construcción de infraestructura.

2. ANTECEDENTES

Los pavimentos son la superestructura de las vialidades, están constituidos por un conjunto de capas de diferentes espesores de suelos, con características diversas, tratados, ya sea mecánicamente mediante procesos de compactación o con algún aglutinante o agente estabilizador, relativamente horizontales, apoyadas sobre la capa subrasante que tienen como funciones:

- Proporcionar al tránsito de vehículos una superficie de rodamiento cómoda, segura, uniforme y permanente, conforme a su vida de proyecto y con el mantenimiento adecuado.
- Deben resistir los esfuerzos generados por el paso de vehículos difundiéndolos de manera que la magnitud de las sollicitaciones que se transmitan a las terracerías sean inferiores a la resistencia de estos materiales.
- Deben ser capaces de resistir la acción del medio ambiente, sobre todo a la acción del agua y las temperaturas extremas.



XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

Para cumplir con esas funciones los pavimentos deben tener varias características funcionales y estructurales, siendo las primeras las que afectan directamente la calidad del servicio que proporcionan al usuario de la vialidad, mientras que las segundas se refieren a las propiedades, sobre todo mecánicas de los materiales que conforman la estructura del pavimento.

Las características funcionales son:

- **Regularidad superficial.**- Está referida a las deformaciones, tanto longitudinales como transversales, con respecto a la superficie ideal. Provoca movimientos verticales en la suspensión de los vehículos y por lo mismo la que genera más incomodidad a los usuarios y a su vez la que más afecta a los costos de operación vehicular. Afecta también en la seguridad ya que las deformaciones pueden provocar descontrol al conductor además de dificultar el desalojo de agua de la superficie de rodamiento con lo cual se incrementa el riesgo de acuaplaneo.
- **Resistencia al derrapamiento.**- La textura de la superficie de rodamiento debe ser tal que aporte un coeficiente de fricción suficiente para la operación eficiente de los vehículos a la velocidad de proyecto de la vía aún en presencia de precipitaciones.
- **Drenaje superficial.**- La combinación de regularidad superficial, pendiente transversal y textura debe evitar que se presente una lámina de agua en la superficie del pavimento, ya que esta facilita el fenómeno de acuaplaneo además de que el rocío que generan las llantas de un vehículo al circular reducen a la visibilidad de los que lo siguen.
- **Reducir el ruido.**- El ruido es un problema ambiental que genera problemas serios en la salud, un pavimento bien diseñado y construido puede reducir el ruido de manera considerable el ruido que se percibe tanto en el interior de los vehículos como en su entorno.

Un proyecto de pavimento debe enfocarse a que el mismo preste el servicio requerido, optimizando los costos de manera que la solución propuesta sea rentable. El análisis de costos debe contemplar no solamente los costos de construcción, además de estos en dicho análisis deben incluirse los costos de conservación, los de operación vehicular y los costos de la reconstrucción del pavimento una vez que llegue a su vida útil, cuando se comparan diversas alternativas de pavimentación es necesario que los análisis comparativos se lleven mas allá de la vida de proyecto de la opción de mas larga duración, de manera que al hacer el estudio se incluya al menos una reconstrucción de esta alternativa.

Aunque en la práctica actual de las vías terrestres existe una gran gama de opciones de pavimentación, se identifican tres grandes familias de pavimentos para el tránsito vehicular, conforme a la manera en que se estructuran para resistir las cargas del tránsito y a su vez transmitir estas solicitaciones a las terracerías:

1. **Pavimentos Flexibles.**- Llamados así porque conceptualmente deben ser capaces de resistir un cierto nivel de deformación elástica sin romperse. La superficie de rodamiento es

**XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES
“MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**

proporcionada por una mezcla asfáltica, la transmisión de esfuerzos generados por las cargas vehiculares se hace de acuerdo a las características mecánicas de los materiales con que se construyen las diferentes capas del pavimento. A su vez los pavimentos flexibles se subdividen en varios tipos siendo los principales:

- a. **Pavimentos Flexibles Convencionales.**- Están formados por capas de diversos materiales cuya resistencia va disminuyendo conforme se incrementa la profundidad a la que están colocadas (figura 6)

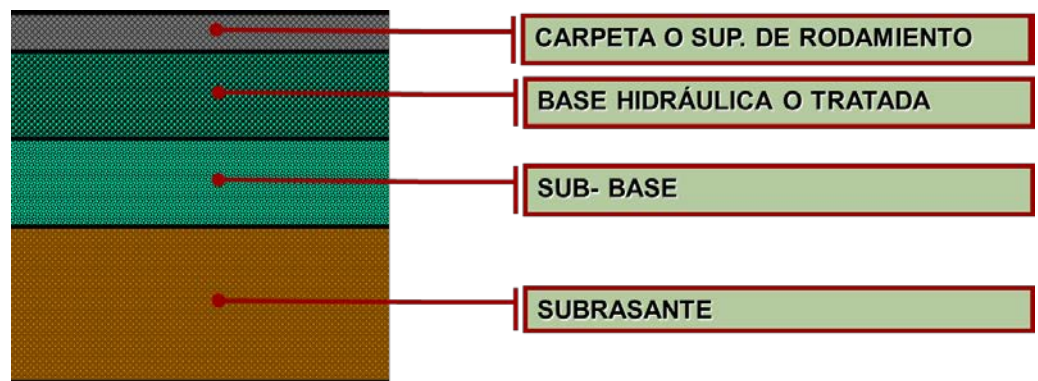


Figura 6

- b. **Pavimentos Full Depht.**- Son pavimentos que se estructuran colocando dos o más capas de mezcla asfáltica sobre la subrasante, disminuyendo los requisitos de resistencia de las mezclas conforme se alejan las capas de la superficie de rodamiento (Figura 7).

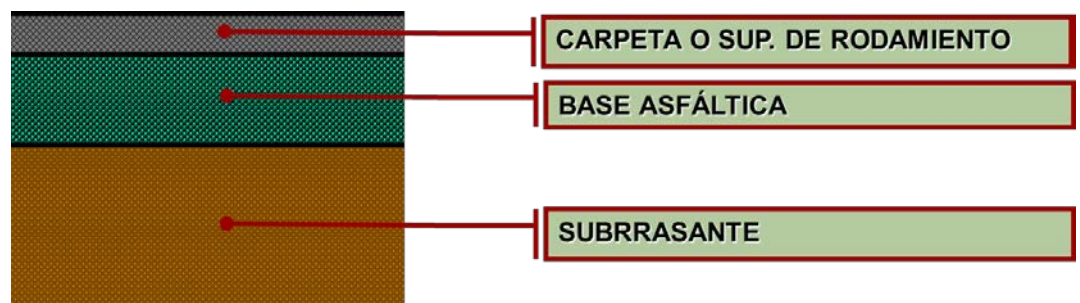


Figura 7

- c. **Pavimentos de Larga Duración.**- Son similares a los full depht en el sentido de que todas las capas que componen la estructura del pavimento

**XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES
“MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**

sobre la subrasante se conforman con mezclas asfálticas, sin embargo en el caso de los pavimentos de larga duración, cada una de las mezclas asfálticas se diseña para resistir los esfuerzos a los que es sometido de acuerdo a la posición que ocupa en la estructura del pavimento. El pavimento de larga duración se define como un pavimento asfáltico diseñado y construido para durar más tiempo que un pavimento convencional, sin necesidad de rehabilitación o reconstrucción estructural importante y sólo necesita la renovación periódica de la superficie en respuesta a los deterioros limitados a la parte superior del pavimento.

El Pavimento de Larga Duración se basa en el concepto de emplear mezclas asfálticas de distintas características, diseñadas de acuerdo a la función que tendrán dentro de la estructura del pavimento, de manera que la vida útil del pavimento sea superior a la de una estructura convencional con trabajos de conservación enfocados a restablecer las condiciones de la capa de rodadura, sin rehabilitación del resto de las capas que conforman la estructura. Los deterioros estructurales por deformaciones permanentes y/o agrietamiento por fatiga se consideran poco probables.

Los principios de diseño de los pavimentos de larga duración (PLD) consisten en proporcionar suficiente rigidez a las capas estructurales superiores del pavimento para disminuir el espesor total de la estructura y prevenir las deformaciones plásticas permanentes, además de dotar a la capa inferior de la estructura de una flexibilidad adecuada para evitar el agrietamiento por fatiga. Además de las capas estructurales se coloca una capa de rodadura que se considera de desgaste y que es la que puede requerir ser cubierta o sustituida durante la vida útil del pavimento (figura 8).

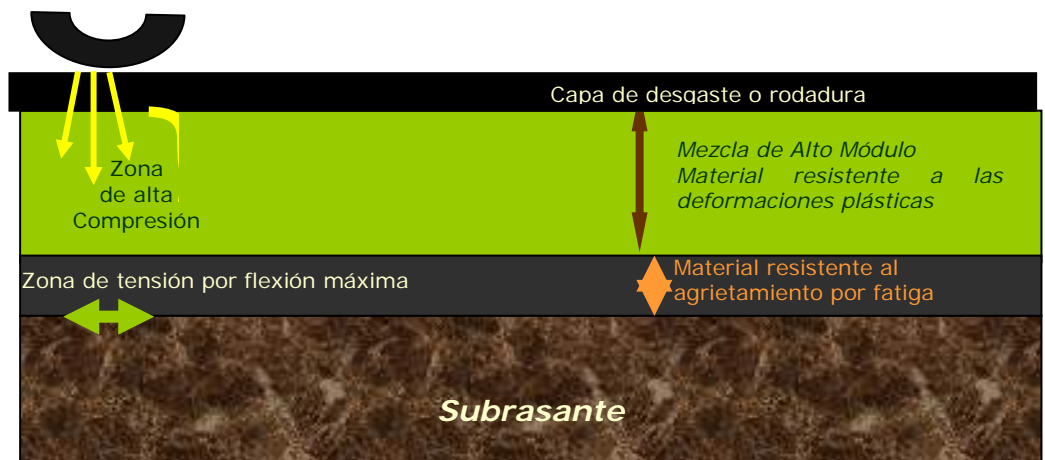


Figura 8

XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

2. **Pavimentos Rígidos.**- Los pavimentos rígidos están formados principalmente por una losa de concreto hidráulico colocada sobre la subrasante, la cual tiene la doble función de proporcionar las características tanto estructurales como funcionales al pavimento. Dicha losa, dada su gran rigidez recibe las cargas ejercidas por los vehículos que circulan sobre la vía y las distribuye en un área mucho más grande por lo que los esfuerzos que transmite a las terracerías son de una magnitud muy reducida (figura 9).

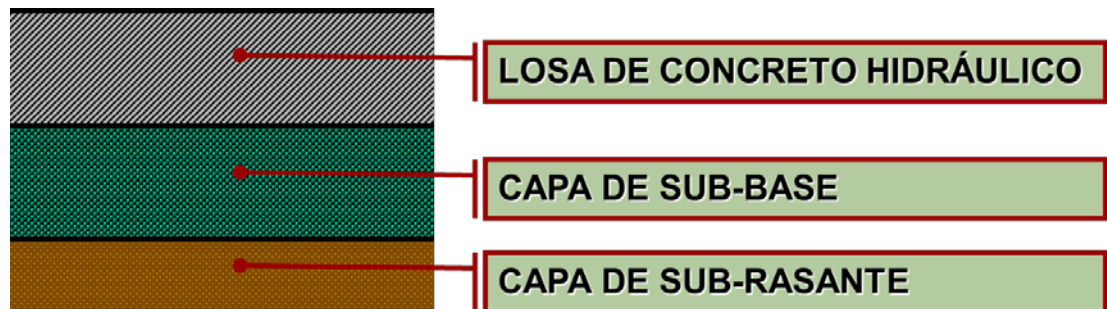


Figura 9

Los pavimentos rígidos también se subdividen en varios tipos:

- a. **Pavimentos de Concreto Simple.**- Se componen de losas de concreto simple con juntas longitudinales y transversales espaciadas de tal manera que la geometría de cada losa sea aproximadamente cuadrada, o hasta con una relación largo/ancho de 1/1.25. La transferencia de carga entre losas se puede hacer a través del interlocking entre losas o por medio de pasajuntas de acero.
- b. **Pavimentos de Concreto Reforzado con Juntas.**- El refuerzo puede ser con varillas de acero corrugado o mediante malla electrosoldada, las juntas pueden espaciarse cada 8 a 15 metros, el acero impide la separación de la junta por contracción térmica una vez que esta se ha formado, reduciendo así los costos de conservación.
- c. **Pavimentos Continuos de Concreto Reforzado.**- El refuerzo se diseña para que no sea necesaria la formación de juntas. En estos pavimentos la aparición de grietas transversales en intervalos cortos es característica, sin embargo estas grietas se mantienen unidas por medio del acero de refuerzo y no son motivo de preocupación mientras el espaciamiento sea uniforme.
- d. **Pavimentos de Concreto Pretensado o Postensado.**- El prefuerzo permite una considerable reducción en los espesores de losa y en el número de juntas.
- e. **Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillos.**- Su regularidad superficial es deficiente por lo que son más empleados en caminos mineros, madereros, etc.

XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

3. **Pavimentos Compuestos.**- Son una combinación de pavimentos rígidos y flexibles, algunos autores los nombran como semirrígidos o semiflexibles. En general pueden ser pavimentos rígidos con superficie de rodamiento asfáltica (blacktopping), pavimentos flexibles reforzados con losas de concreto hidráulico (whitetopping) o pavimentos con bases estabilizadas con ligante hidráulico con superficie de rodamiento asfáltica.

3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS

Las diferencias en la concepción de los dos tipos principales de pavimento han forjado una necesidad natural de comparar ambos a fin de establecer cual es el más adecuado para la gestión de infraestructura vial, de tal manera que permita optimizar los recursos disponibles brindando a los usuarios el mejor valor a cambio de las inversiones que se realizan.

De entrada podemos decir que no hay una solución perfecta, ambos sistemas tienen múltiples virtudes y ejemplos de buen funcionamiento y, dependiendo quién haga el análisis, características en los que son mejores que el competidor, pero también es innegable que ambos sistemas tienen algunos inconvenientes y que existen ejemplos donde el desempeño que se logra con ellos no ha sido el esperado.

Se hará a continuación un resumen de los atributos tanto favorables como desfavorables que a juicio del autor tienen cada uno de ellos, relacionándolos con las características que deben tener los pavimentos.

Pavimento Flexible

- **Regularidad.**- Con los nuevos equipos de transporte y tendido (figura 10) es posible lograr acabados muy tersos, mediante tiros continuos sin juntas de construcción mas que al inicio y fin de cada jornada.



Figura 10

XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

Sin embargo en la práctica mexicana todavía se aplica tecnología antigua, en la selección de materiales, en el diseño de las mezclas asfálticas como en los procesos constructivos lo que dificulta lograr buenos acabados, además estas mismas condiciones aunadas a deficiencias en el proyecto generan que algunos pavimentos flexibles presenten deformaciones plásticas prematuramente, afectando así las condiciones de durabilidad.

- **Resistencia al Derrapamiento y Drenaje Superficial.**- La resistencia al derrapamiento se da primordialmente por la textura de la capa de rodadura que permite proporcionar un buen coeficiente de fricción neumático pavimento y por un buen drenaje superficial que impida la formación de una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento, evitando así el acuaplaneo. La textura a su vez tiene como componentes en lo que se refiere a la fricción a
 - La macrotextura, que se define como la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm, está regida principalmente por la granulometría de la capa de rodamiento.
 - La microtextura, que se define como la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,5 mm, y es una característica intrínseca del agregado, es propiamente la textura superficial de las partículas de agregado y tiende a reducirse con el tiempo por la acción abrasiva de el tránsito vehicular y el clima, a esta disminución se le conoce como pulimento, y depende de la composición mineralógica de los agregados, por ejemplo, los agregados calcáreos son muy susceptibles a pulirse

Con una buena selección de materiales y la tecnología actual de diseño y construcción de pavimentos asfálticos se tienen ahora una gama de opciones que permiten obtener superficies de rodamiento con excelentes características de resistencia al derrapamiento, atendiendo tanto a la textura como al drenaje superficial. Las carpetas drenantes, las mezclas de granulometría discontinua, sistemas como SMA, CASAA, entre otros, y aún las mezclas densas han sido empleadas a nivel mundial con muy buenos resultados. También se tienen muy buenas opciones para los problemas de superficies deslizantes con base a tratamientos superficiales. Sin embargo en la práctica nacional persiste la costumbre de emplear agregados locales por razones de costo inicial, aunque no tengan características adecuadas, además que las nuevas tecnologías de diseño y construcción de mezclas aun no están lo suficientemente extendidas. Por ello es frecuente encontrar superficies con problemas de derrapamiento de origen, que se van agravando con el tiempo al aparecer el fenómeno de pulimento y/o roderas que impiden un drenaje adecuado incrementando así el riesgo de acuaplaneo.

XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

- **Capacidad Estructural.**- En México tradicionalmente los pavimentos flexibles se han concebido para vidas de proyecto estimadas entre 10 y 15 años, sin embargo, errores en los proyectos, el empleo de materiales con calidad insuficiente, procesos de construcción obsoletos, control de calidad insuficiente, falta de control en los pesos vehiculares, entre otros factores han provocado que sea frecuente que los pavimentos no lleguen a la vida útil esperada. En otros lugares del mundo es común encontrar que los pavimentos flexibles se proyecten para durar entre 20 y 30 años, siendo común que se logre cumplir con estas expectativas.

Los avances en la tecnología de modificación de ligantes asfálticos, en la de diseño de mezclas y el uso de materiales pétreos de mejor calidad ha permitido que en la actualidad se logren mezclas asfálticas con resistencias muy superiores a las convencionales, con la tecnología actual es posible lograr mezclas con módulos dinámicos superiores a los 10,000MPa (mas del triple de las que se obtienen con una convencional). Asimismo estos avances tecnológicos han permitido, con diseños diferentes a los de las mezclas de alto módulo, incrementar la resistencia al agrietamiento por fatiga.

La combinación de estos elementos ha permitido un enfoque mas racional en el diseño de pavimentos flexibles, diseñando el pavimento con diversos tipos de mezclas asfálticas, cada una de ellas diseñada para resistir los esfuerzos más importantes a que se verá sometido conforme a la posición que ocupen en la estructura del pavimento. Como se mencionó anteriormente a esta metodología se le conoce como pavimentos de larga duración (figura 8) que en varios países se están implementando exitosamente, con vidas esperadas de 50 años, similares a las de los pavimentos rígidos. En México se están llevando a cabo los primeros trabajos con esta tecnología, sin embargo estos primeros intentos se han diseñado con vidas esperadas de 25 años, pero los resultados han sido alentadores, toda vez que en las mezclas de alto módulo se han obtenido módulos superiores a los 10,000MPa y las mezclas para las capas absorbedoras de tensión cumplieron con lo esperado.

- **Reciclable.**- La reutilización de mezclas asfálticas que han cumplido con su vida útil ha sido de uso común por un largo tiempo, los avances tecnológicos han permitido una amplia gama de opciones para el utilización de los materiales recuperados de los trabajos de rehabilitación de pavimentos flexibles, estos materiales pueden ser empleados, tanto en capas estructurales como en superficies de rodamiento, formando parte de mezclas en caliente, mezclas tibias, mezclas en frío, en capas de base estabilizada o como parte de una base granular.
- **Mantenimiento.**- Como cualquier obra de ingeniería civil los pavimentos flexibles requieren que las acciones de mantenimiento sean adecuadas y oportunas para que brinden un buen servicio durante la vida útil proyectada. Los equipos modernos de auscultación pueden proporcionar información abundante y precisa para observar las condiciones en que se encuentran, tanto en lo

XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

estructural como en lo funcional, así como la evolución de estas características. Los avances en la tecnología brindan una gama muy amplia de alternativas de mantenimiento, tanto con materiales de mejor calidad como en procedimientos mas eficientes, adicionalmente los sistemas de gestión, alimentados con información adecuada pueden ser una herramienta muy valiosa para optimizar la aplicación de los recursos disponibles.

Pavimento Rígido

- **Regularidad.-** Con equipos modernos de pavimentación (figura 11) se pueden lograr acabados muy buenos en los pavimentos de concreto hidráulico, además su gran capacidad estructural permite que se mantengan sin deformaciones de consideración a lo largo de su vida útil, sin embargo la presencia de las juntas afecta de alguna manera a la regularidad. Por otra parte en calles y caminos secundarios es común encontrar tanto proyectos deficientes como procedimientos constructivos inadecuados, generando problemas de regularidad por agrietamientos, escalonamientos, rotura de losas, etc.



Figura 11

- **Resistencia al Derrapamiento y Drenaje Superficial.-** La textura en un pavimento de concreto se logra mediante un escobillado, por sus características el agregado grueso normalmente no queda expuesto al contacto con los neumáticos por lo que el aporte de la microtextura a la resistencia al derrapamiento, asimismo el aporte de la macrotextura se da en la pasta (arena-cemento) del concreto, por la naturaleza del cemento portland es un material susceptible al pulido, por lo que la pérdida de resistencia al deslizamiento es relativamente rápida. Existen equipos de fresado con discos de diamante (figura 12), que permiten, en acciones de mantenimiento, dar un

XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

nuevo texturizado a los pavimentos rígidos con problemas de derrapamiento. Por lo que hace al drenaje superficial al no ser susceptible a la formación de roderas un pavimento rígido bien construido permite un drenaje superficial muy eficiente.



Figura 12

- **Capacidad Estructural.**- En la práctica internacional es frecuente que los pavimentos de concreto hidráulico sean proyectados para vidas útiles de 40 a 50 años, en México son frecuentes las vidas de proyecto de 25 a 30 años. Un pavimento de concreto bien diseñado y construido, y con mantenimiento adecuado tiene capacidades estructurales excelentes, sin embargo puede presentar fallas prematuras por defectos de construcción, como sellado de juntas eficiente, aserrado a destiempo de las mismas, curado insuficiente o pasajuntas mal colocados, también puede ser afectado por el exceso de carga de los vehículos que circulan por la vía.
- **Reciclable.**- La gran resistencia que se logra en los concretos de pavimentación provoca que sea un material difícil de demoler, dificultando con ello las posibilidades de ser reutilizado, sin embargo hay avances tecnológicos que permiten contar con equipos más eficientes en la demolición de pavimentos rígidos. Entre estas técnicas destaca, en mi opinión, el **rubblizing**, que consiste en la fragmentación o pulverización de las losas de concreto en partículas con tamaños máximos de 5 cm. El equipo con que se logra esto es un martillo de resonancia de alta frecuencia y baja amplitud, la pulverización se logra con un patrón de fracturamiento como el que se muestra en la figura 13, con una afectación mínima a las capas inferiores.

**XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES
“MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”**

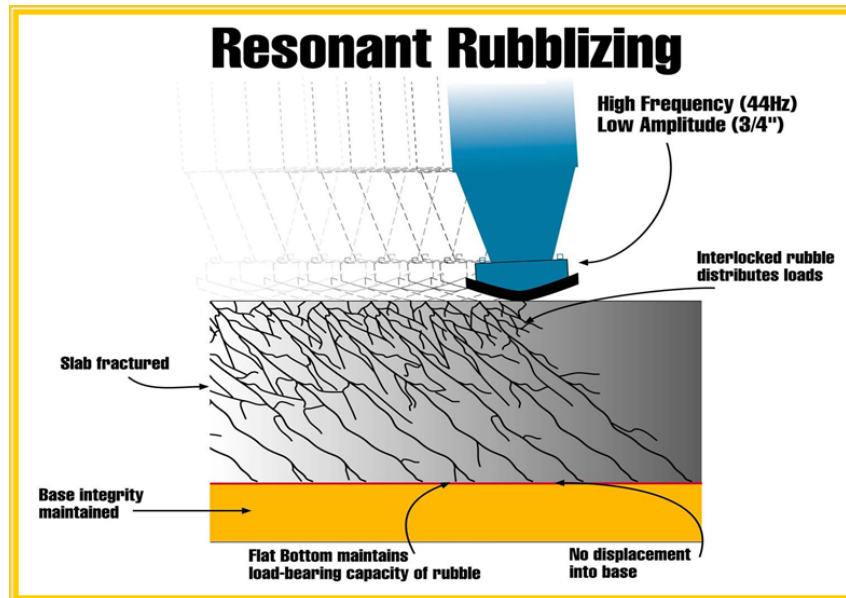


Figura 13

- **Mantenimiento.**- El mantenimiento que requiere un pavimento rígido es mínimo, pero no por ello deja de ser primordial, las juntas sin el sello adecuado o agrietamientos no atendidos a tiempo, pueden provocar problemas de bombeo, despostillamientos y hasta rotura de losas. Es muy importante que el mantenimiento se haga con los materiales y las técnicas adecuadas, es común encontrar que a despostillamiento en juntas se les atiende colocando mezcla asfáltica, la cual se convierte en un obstáculo a la libre expansión de las losas al subir la temperatura provocando que el problema se incremente.

4. CONCLUSIONES

No debe un sistema de pavimentación único, ambos sistemas tienen virtudes considerables que pueden ser bien aprovechadas, cada proyecto debe ser analizado a conciencia para determinar cuál es la mejor opción para cada caso, haciendo un análisis cuidadoso y a conciencia de todos los factores que intervienen en el proyecto. Desde las condiciones del entorno, el proyecto geométrico, los estudios de ingeniería de tránsito, geotécnicos, de drenaje y subdrenaje, la disponibilidad de materiales y equipo de construcción. Hacer un análisis de costos lo más completo posible que contemple los costos de construcción, de conservación, costos de operación vehicular, ambientales y la factibilidad de reutilizar los materiales al final de su vida útil.



XIX REUNIÓN NACIONAL DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES “MOVILIDAD, FACTOR DETONANTE PARA EL PROGRESO DE MÉXICO”

La mayor parte de las fallas prematuras en los pavimentos no son intrínsecas de los sistemas de pavimentación, si no que se deben a deficiencias en su implementación. Se deben tomar acciones para modernizar las prácticas de pavimentación, aplicar la tecnología de punta en la elaboración de proyectos, buscando formas de contratación que permitan asignar la elaboración de proyectos privilegiando la capacidad técnica sobre el más barato.

Hay que modernizar los procedimientos de construcción, dejar atrás la construcción artesanal para tomar procesos industrializados, implementar programas de certificación de todos los elementos que intervienen en la construcción de infraestructura vial, tanto a nivel profesional como a los operadores de equipo de construcción, topógrafos, laboratoristas, etc.

El control de calidad debe transformarse de un control de materiales como el que se hace pro lo general en la actualidad en un control de proceso, donde se califiquen además de los materiales al personal y equipo de construcción, culminando con una evaluación de producto terminado.

Es necesario estar atentos a los avances tecnológicos dentro y fuera del país, replicar los casos de éxito y aprender de los errores, aprovechar cabalmente las modernas herramientas de diseño, los nuevos materiales y los nuevos procedimientos de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Asphalt Institute, *Manual MS-22 Construction of Hot Mix Asphalt Pvmts*, Lexington, KY 40511, EUA., (2001)
- Rico, A. y Del Castillo, H., *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*, Volumen 1 & 2, Ed. Limusa, S.A., México, D.F., (1978).
- Huang, Y, *Pavement Analysis and Design*, Pearson Prentice Hall, EUA., (2004)
- Yoder, E & Witczak, M., *Principles of Pavement Design*, John Wiley and Sons, EUA., (1975)
- Zárate Aquino, M. *Diseño de Pavimentos Flexibles Primera Parte*, Asociación Mexicana del Asfalto, México, D. F., México (2003)
- Fonseca R., Carlos et al, *Proyecto Estructural de Pavimentos Asfálticos*, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, México, DF., México (2011)

Julio 2012