



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

COMPARACIÓN TÉCNICO- ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN FLEXIBLE Y RÍGIDA A NIVEL DE COSTO DE INVERSIÓN

Mario Becerra-Salas

Lima, junio de 2013

FACULTAD DE INGENIERÍA

Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial

Becerra, M. (2013). *Comparación técnico-económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión*. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROGRAMA MASTER EN INGENIERÍA CIVIL CON
MENCION EN INGENIERÍA VIAL**



**“COMPARACIÓN TÉCNICA–ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE
PAVIMENTACIÓN FLEXIBLE Y RÍGIDA A NIVEL DE COSTO DE
INVERSIÓN”**

Tesis para optar el Grado de Master en Ingeniería Civil
con mención en Ingeniería Vial

Mario Rafael Becerra Salas

Asesor: Ing. Germán Gallardo

Lima, junio del 2013

A mi esposa y a nuestros hijos, por la paciencia que me tienen y el soporte que me brindan.

Prólogo

El concreto hidráulico, utilizado ampliamente en países desarrollados para la construcción de carreteras, no ha sido utilizado en el Perú en la misma proporción a lo largo de las últimas décadas, limitándose su empleo para vías departamentales y vecinales. Esto se ha debido en general, a las limitaciones y a la falta de actualización de las tecnologías disponibles para construir pavimentos de concreto, lo que no permitió a dicho material competir técnica y económicamente frente a otra alternativa: la de los pavimentos flexibles.

No obstante, los recientes avances de la tecnología de elaboración y colocación en obra del concreto, sumados a la mayor capacidad de proveer en forma continua un elevado nivel de servicio y requerir menos intervenciones de conservación durante su vida útil, han hecho que el concreto haya adquirido una posición sumamente competitiva como material de pavimentación. Es así que la evaluación de alternativas de pavimentación se debe realizar siempre considerando los costos a lo largo de su periodo de diseño, incluyendo por supuesto el costo de construcción.

Debido a las limitaciones de tecnología y a lo limitado de su empleo, es común encontrar especialistas que sin haber realizado un análisis comparativo adecuado, indican que el costo de construcción del pavimento de concreto no es competitivo. Esto no necesariamente se ajusta a la realidad.

Por lo anteriormente expuesto, la intención de la presente tesis es responder qué tan competitiva es una alternativa de pavimentación, flexible y rígida, respecto a la otra, entendiendo por supuesto que ambas se han diseñado, construido y evaluado correctamente y para modelos equivalentes.

Resumen

A lo largo de las últimas décadas, el concreto hidráulico utilizado considerablemente en países desarrollados para la construcción de carreteras, no ha sido usado en el Perú en la misma proporción, limitándose su empleo solo para vías departamentales y vecinales. En general, esto se ha debido a ciertas limitaciones y a la falta de actualización de las tecnologías disponibles para construir pavimentos de concreto, lo cual no le ha permitido competir técnica y económicamente frente a otra alternativa: la de utilizar pavimentos flexibles.

Debido a las limitaciones de la tecnología y a lo restringido de su empleo, es común encontrar especialistas que sin haber realizado un análisis comparativo adecuado, indican que el costo de construcción del pavimento de concreto no es competitivo y esto no necesariamente se ajusta a la realidad.

Es así que la tesis “Comparación técnica–económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión” tiene por objeto demostrar la competitividad de los pavimentos rígidos (concreto), incluso a nivel de costos de construcción inicial (inversión).

Para ello, la metodología empleada por un lado es cuantitativa, por lo que se desarrollarán modelos técnicos y económicos equivalentes para ambas versiones de pavimentos las cuales serán comparadas. Por otro lado, la parte técnica, involucra el estudio de pavimentos equivalentes en sus versiones de flexible y rígido que se desarrollarán mediante una matriz que considere diseños equivalentes a partir de dos parámetros: tránsito y suelo.

Índice

| | |
|--|----|
| Introducción | 01 |
| Capítulo 1: Antecedentes y conceptos básicos relacionados al diseño y evaluación de las alternativas en estudio | 03 |
| 1.1 Antecedentes | 03 |
| 1.2 Redes viales | 04 |
| 1.3 Los pavimentos | 04 |
| 1.4 Comportamiento esperado de los pavimentos | 05 |
| 1.5 Evolución de los pavimentos de concreto | 06 |
| 1.6 Experiencia peruana en pavimentos | 10 |
| 1.7 Problemática de los pavimentos rígidos | 14 |
| 1.8 Retos a futuro | 15 |
| 1.9 Encuesta acerca del ingreso de pavimentos de concreto | 16 |
| Capítulo 2: Metodología de análisis | 19 |
| 2.1 Metodología de análisis | 19 |
| 2.2 Matriz de comparación | 19 |
| Capítulo 3: Diseño de pavimentos rígidos | 23 |
| 3.1 El pavimento de concreto | 23 |
| 3.2 Conceptos básicos de diseño | 32 |
| Capítulo 4: Consideraciones técnicas | 41 |
| 4.1 Consideraciones generales | 41 |
| 4.2 Caracterización del tránsito | 42 |
| 4.3 Caracterización de la subrasante | 42 |
| 4.4 Matriz de paquetes técnicamente equivalentes | 43 |
| 4.5 Evaluación de resultados obtenidos | 43 |

| | |
|---|----|
| Capítulo 5: Modelos de costos para pavimentos equivalentes | 45 |
| 5.1 Matriz de pavimentos equivalentes | 45 |
| 5.2 Consideraciones para el costeo | 45 |
| 5.3 Modelos de costo por alternativa | 46 |
| 5.4 Matriz de costeo | 55 |
| 5.5 Evaluación de resultados | 56 |
| Conclusiones | 57 |
| Bibliografía | |
| Anexos | |

Introducción

La tesis “Comparación técnica–económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión” tiene por objeto demostrar la competitividad de los pavimentos rígidos (concreto), incluso en el plano de costos de construcción inicial (inversión).

Para ello, el cálculo de paquetes equivalentes de pavimentos exigidos a un mismo nivel de tránsito , incluso fundados sobre suelos con las mismas condiciones de soporte, y su posterior comparación, nos van a permitir conocer la eficacia de los pavimentos rígidos en lo que a construcción se refiere; pues actualmente es común encontrar especialistas, que sin haber realizado un análisis comparativo adecuado, indican que el costo de construcción del pavimento de concreto no es competitivo, lo cual no necesariamente se ajusta a la realidad.

En este sentido, la tesis se ha estructurado en 5 capítulos, en el primero de los cuales, damos a conocer algunos conceptos básicos relacionados al diseño y evaluación de las alternativas en estudio, así como antecedentes de los pavimentos tanto en el Perú como en el mundo.

En el capítulo 2, explicamos la metodología de análisis comparativo técnico-económico de los costos de construcción de estructuras equivalente, tanto de pavimentación flexible como rígida, en condiciones hipotéticas similares de tránsito y suelo de fundación.

El tercer capítulo, debido al desconocimiento de la tecnología de los pavimentos, damos un resumen de los principales conceptos específicos relacionados al pavimento rígido para a continuación, en el cuarto capítulo hacer una descripción de las consideraciones técnicas necesarias para los diseños equivalentes.

Finalmente, en el capítulo 5 se hace el cálculo propiamente dicho de la matriz de pavimentos equivalentes para cada situación para, luego de ello, dar paso a nuestras conclusiones.

Para la comprensión de la investigación cabe destacar por un lado, que la metodología utilizada es cuantitativa, por lo que se desarrollan modelos técnicos y económicos equivalentes para ambas versiones de pavimentos los cuales han sido comparados.

Asimismo, los diseños se han realizado mediante la metodología AASHTO 93 para ambas versiones y para el diseño se utiliza el programa Winpas de Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA).

Capítulo 1

Antecedentes y conceptos básicos relacionados al diseño y evaluación de las alternativas en estudio

1.1 Antecedentes

A lo largo de las últimas décadas, el concreto hidráulico utilizado considerablemente en países desarrollados para la construcción de carreteras, no ha sido usado en el Perú en la misma proporción, limitándose su empleo solo para vías departamentales y vecinales. En general, esto se ha debido a ciertas limitaciones y a la falta de actualización de las tecnologías disponibles para construir pavimentos de concreto, lo cual no le ha permitido competir técnica y económicamente frente a otra alternativa: la de utilizar pavimentos flexibles.

Sin embargo, los recientes avances de la tecnología del concreto, elaboración y colocación en obra, sumados a la mayor capacidad de proveer en forma continua un elevado nivel de servicios así como requerir menos intervenciones de conservación durante su vida útil, han hecho que éste haya adquirido una posición sumamente competitiva como material de pavimentación. En este sentido, es importante para la evaluación de alternativas de pavimentación tener en cuenta que esta decisión se base siempre en la consideración de los costos a lo largo de su periodo de diseño, incluyendo por supuesto el costo de construcción.

Debido a las limitaciones de tecnología y a lo limitado de su empleo, es común encontrar especialistas que sin haber realizado un análisis comparativo adecuado, indican que el costo de construcción del pavimento de concreto no es competitivo. Esto no necesariamente se ajusta a la realidad.

Este capítulo, presenta conceptos básicos relacionados al diseño y evaluación de alternativas, necesarios para poder abordar con éxito la comparación técnica-económica

entre las opciones de pavimentación flexible y rígida. Cabe mencionar, que la intención de la tesis es responder qué tan competitiva es una alternativa respecto a la otra, entendiendo por supuesto, que ambas se comportan adecuadamente.

1.2 Redes viales

Se conoce como redes viales a toda superficie terrestre señalizada: pública o privada, por donde circulan peatones y vehículos, que se encuentra bajo jurisdicción de las autoridades nacionales y/o provinciales, responsables de la aplicación de las leyes de tránsito.

Los elementos principales de una red vial son diseñados, de acuerdo a su importancia, para crear autopistas, rutas nacionales o provinciales, caminos vecinales, rurales, avenidas, calles y veredas.

Las redes viales son sinónimo de prosperidad, pues son las responsables de integrar a los pueblos dentro y fuera de un país ya que permiten el traslado de personas, bienes y servicios. De esta manera, el desarrollo de las redes viales de un país está ligado íntimamente a su progreso ya que fomenta el crecimiento económico al reducir los costos de transporte de mercancías, así como el intercambio de ideas y pensamientos difundiendo cultura y educación entre los pueblos.

1.3 Los pavimentos

Los pavimentos son soluciones para la configuración de caminos, siendo éstos concebidos, diseñados y construidos pensando en mejorar y mantener condiciones óptimas de tránsito de personas, bienes y servicios a lo largo de su vida útil.

Son estructuras formadas por un conjunto de capas granulares y carpeta de rodadura que descansan sobre el suelo de cimentación conocido con el nombre de subrasante. La estructura está pensada para transferir y distribuir eficientemente las cargas vehiculares consideradas en el diseño y en su vida útil desde la carpeta de rodadura hasta el suelo de cimentación.

Debido a que los esfuerzos producidos por el paso de las cargas vehiculares decrecen con la profundidad, se deben colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores.

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento del pavimento son: anchura, trazo horizontal y vertical y resistencia adecuada a las cargas, para evitar las fallas, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas.

Los pavimentos, por la forma en que transmiten las cargas vehiculares, se clasifican en:

1.3.1 Pavimentos flexibles

Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento asfáltico. En nuestro medio es conocido simplemente como asfalto. Recibe el nombre de pavimento flexible por las propiedades de la carpeta de asfalto que absorbe en menor grado las cargas vehiculares en comparación al pavimento rígido.

Debido a la naturaleza flexible de la carpeta de rodadura, las cargas vehiculares se distribuyen en una forma menos eficiente, por ello, requieren un mayor número de capas granulares para hacer eficiente la transmisión de cargas al suelo de cimentación. Usualmente, necesitan además de la sub-base, una capa granular de mayor calidad que recibe el nombre de base.

1.3.2 Pavimentos rígidos

Son aquellos que tienen una carpeta de rodadura conformada por concreto de cemento hidráulico. Recibe el nombre de pavimento rígido debido a las propiedades de la carpeta de concreto que absorbe en mayor grado las cargas vehiculares.

Debido a la naturaleza rígida de la carpeta de rodadura las cargas vehiculares se distribuyen en una forma más eficiente. Por ello requieren una estructura con menor número de capas granulares entre la carpeta de rodadura y la subrasante para asegurar una adecuada transferencia de cargas. Generalmente, requieren una capa granular que recibe el nombre de sub-base.

1.4 Comportamiento esperado de los pavimentos

Es importante mencionar que los pavimentos deben ser diseñados, construidos y mantenidos con la finalidad de lograr un comportamiento funcional y estructural óptimo durante su ciclo de vida.

Por comportamiento funcional: se entiende que son todos los aspectos que afectan la calidad de la carpeta de rodadura y por ello están relacionados con la comodidad y seguridad de los usuarios de la vía.

En cuanto al comportamiento estructural nos referimos a aquellos aspectos relacionados a la integridad como estructura del pavimento, es decir, a la capacidad del pavimento para soportar la acción combinada del tránsito y el medio ambiente.

Una adecuada construcción del pavimento es un parámetro que impacta enormemente en la durabilidad del mismo.

Un esquema de mantenimiento debe garantizar lo siguiente:

- Adecuado y oportuno mantenimiento a costo razonable
- Mantenimiento con programas de largo plazo
- Optimizar tanto costos como beneficios del sistema
- Racionalizar el uso de los recursos disponibles
- Efectuar un permanente control de los efectos sobre el medio ambiente
- Implementar un control de la efectividad de la política de mantenimiento asumida

1.5 Evolución de los pavimentos de concreto

Antes de iniciar a describir la evolución de los pavimentos de concreto en el Perú, se presentan algunos lineamientos de su evolución en el mundo

1.5.1 Evolución del diseño y construcción de los pavimentos de concreto en el mundo

El diseño de pavimentos ha evolucionado con el tiempo, desde una perspectiva artística y netamente empírica hasta ser considerado una ciencia. Antes de 1920, los espesores de los pavimentos se basaron netamente en la experiencia, es decir la misma estructura era utilizada sin discriminar el tipo de vía, el tipo de suelo o tránsito esperado. Con el tiempo, las entidades administradoras de caminos desarrollaron métodos de diseño.

En el año 1824, Joseph Aspdin, constructor inglés, patenta el proceso de calcinación de ceniza arcillosa para la producción de cemento que según él, al hidratarse tenía las mismas características de resistencia que la piedra de la isla de Portland, marcando el inicio de la tecnología del concreto.

Los primeros intentos por construir pavimentos en concreto, se dieron en 1865 en la ciudad de Inverness, en Escocia, ya por ese tiempo se tenían algunos conceptos relacionados a la tecnología del concreto que iniciará Aspdin en 1824. Los siguientes intentos por construir pavimentos de concreto se dieron en Edimburgo (Escocia) entre 1872 y 1886.

En América, el pavimento más antiguo es el de “*Court Ave. Bellfountain*”, en Ohio, Estados Unidos, cuya construcción data del año 1891, el cual existe hasta la actualidad, y recién a partir del año 2000 admite sólo tránsito peatonal. Ver figura 1.1



Figura 1.1 Pavimento en Bellfountain (1891)

Fuente: <http://img.groundspeak.com/waymarking> (del 15 de marzo, 2011)

Los métodos racionales de diseño se iniciaron a concebir después de los primeros intentos por construir pavimentos de concreto. Estas teorías, se formularon asumiendo que existe un pleno contacto entre sub-base y la carpeta de rodadura de concreto.

Goldbeck, en 1919 desarrolló una ecuación simple para el diseño de pavimentos rígidos asumiendo que el pavimento se comportaba como una viga en voladizo con una carga concentrada en la esquina. Esta premisa fue la utilizada en el “*Bates Road Test*”.

Westergaard, en 1926 plantea la primera teoría relacionada al comportamiento estructural de los pavimentos de concreto, como consecuencia de lo expresado por Hertz respecto a los esfuerzos en losas suspendidas. Sin duda es el estudio teórico más extenso relacionado al cálculo de esfuerzos y deflexiones en los pavimentos de concreto, que inicia en 1926 y termina en 1948. Los estudios consideraron las temperaturas en la losa, así como tres posiciones de carga en una losa alargada:

- Aplicada cerca de la esquina
- Aplicada cerca de la junta, pero a una distancia considerable de la esquina
- Aplicada en el interior del paño, a una distancia considerable de toda junta y esquina

El análisis asume de manera simplificada que la presión de reacción entre las subrasante y la carpeta de rodadura en cualquier punto, es proporcional a la deflexión en ese punto, independientemente de las deflexiones en otros puntos. Este tipo de cimentación se denomina líquido denso. Obviamente, también asumió que el contacto entre la subrasante y la carpeta de rodadura se da a plenitud.

Pickett, comparó la carga crítica en la esquina obtenida en los estudios de Westergaard con mediciones realizadas en el campo. Él encontró que las estimaciones realizadas en las aproximaciones teóricas del esfuerzo cuando se tenía la carga crítica aplicada en la esquina de la losa eran siempre muy pequeñas, asumiendo que parte de ésta no estaba totalmente apoyada sobre el suelo. Desarrolló fórmulas semiempíricas que concordaban con los resultados de los experimentos en campo.

Debido al hecho de que la subrasante se comporta más como un sólido elástico que como un líquido denso, en 1951, Pickett desarrolló soluciones teóricas que debido a su complejidad matemática no recibieron la atención que ameritaba.

Entre los años 1958 y 1960 en Illinois, Ottawa, se llevó a cabo el “*AASHO Road Test*” cuya traducción literal al español sería “Experimento de Carreteras de la AASHO” el cual fue un experimento realizado por la “*American Association of State Highway and Transportation Officials*” para determinar cómo el tráfico contribuye al deterioro del pavimento de las carreteras. Dicho experimento, arrojó la ecuación empírica fundamental que guiaría las metodologías de diseño AASHTO hasta el suplemento de 1998. Nótese que esta metodología se basa en el concepto de pérdida de servicio de la vía por el paso de los vehículos y el tiempo.

La ecuación se presenta a continuación:

$$\text{Log } (W) = \text{Log } (\rho) + G / \beta$$

En donde:

W = Número de aplicaciones de carga hasta llegar a una serviciabilidad final.

G = Función de la pérdida de serviciabilidad prevista con respecto a la serviciabilidad total posible.

ρ y β = son funciones de la magnitud de carga y del tipo de eje que definen la forma de la curva de serviciabilidad.

Con el ingreso de los procesadores se realizaron soluciones numéricas que asumen que no existe pleno contacto entre la subrasante y la carpeta de rodadura, como son los métodos de los elementos discretos y el de los elementos finitos.

Aunque los estudios de Westergaard contribuyeron en gran medida al desarrollo de los métodos de diseño, no dejó de reconocer que los resultados teóricos del comportamiento del pavimento, debían ser revisados comparándolos con resultados en campo.

Otros desarrollos importantes que se dieron en paralelo fueron:

- La concepción de las propiedades de fatiga del concreto.
- Los conceptos de bombeo: con los que se demostró que la subrasante debía ser protegida. Debido a estos ensayos, se decidió introducir capas granulares que protejan la pérdida de finos en la subrasante; y
- Los métodos probabilísticas: dieron origen al término de confiabilidad ampliamente utilizado en los métodos de diseño AASHTO 1986, 1993, el suplemento 1998, la guía de diseño empírica mecanicista MEPDG 2002 (*“The Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide”*) dónde se individualizaron las confiabilidades, y la MEPDG 2010 próxima a ser aprobada.

1.5.2 El pavimento rígido en el Perú

En el Perú, la evolución técnica del pavimento de concreto tiene dos frentes. Uno de ellos, es el de la evolución del concreto como material de construcción y el otro, es el de la evolución en el diseño y construcción de pavimentos. Por supuesto, toda evolución tecnológica está ligada a periodos de bonanza económica.

1.5.3 La tecnología del concreto: materiales

En 1915, la constructora norteamericana *“Foundation Co.”*, se establece en Perú para ejecutar los proyectos del terminal marítimo del Callao y la pavimentación de Lima incluyendo a la autopista Lima a Callao, antiguamente conocida como avenida El Progreso y que hoy recibe el nombre de Avenida Venezuela.

En su plan de trabajo, la *“Foundation Co.”* compra los primeros hornos para la producción de cemento que vende en 1916 a la Compañía Peruana de Cemento Pórtland. La cementera se instala en el Rimac constituyéndose en la primera planta de fabricación nacional empleando para ello calizas de Atocongo. Es recién entre 1955 y 1975 que se crean las principales empresas productoras de cemento en el país: Chilca, Lima, Andino, Chiclayo, Pacasmayo, Sur y Yura. Sin embargo, la tecnología del concreto y por lo tanto la tecnología de pavimentos de concreto, no estaba consolidada en el medio nacional.

Es en la década de los ochenta cuando se empiezan a desarrollar investigaciones en el campo de la tecnología del concreto, muchas de ellas dirigidas por ilustres ingenieros como el Ing. Enrique Rivva, Ing. Manuel Gonzales y más recientemente el Ing. Enrique Pasquel, quienes impulsaron su desarrollo.

1.5.4 La tecnología del pavimento de concreto: estructura

El pavimento de concreto tiene muy poca presencia en la red vial peruana, a diferencia de otros países, en los que sí juega un rol importante en la competitividad del país. En el Perú, los pavimentos de concreto han sido mayormente considerados para proyectos referidos a la red vial vecinal, teniendo poca incidencia en la red vial nacional y departamental.

Aunque no hay información estadística sobre la participación de los pavimentos de concreto en las redes viales nacionales y departamentales se puede inferir que su penetración no es más del 1%.

Existen por lo tanto obras emblemáticas que sí aprovecharon las fortalezas del concreto en su estructura. Sólo en Lima se pueden mencionar las siguientes obras:

- Avenida Venezuela (1924)
- Avenida Vía Expresa (1966)

Y más recientemente:

- Avenida Lima (2005)
- Avenida Arenales (2007)
- El Metropolitano (2010)

Si se representa en una línea de tiempo las principales obras en pavimentos de concreto, se puede concluir que entre ellas existen periodos de aproximadamente 40 años. Este dato es muy importante para entender la problemática actual del ingreso de los pavimentos de concreto en las redes viales de nuestro país. Es obvio que al no tener continuidad en el diseño, construcción, supervisión y evaluación de proyectos en concreto, con el tiempo se ha creado una brecha de conocimientos y tecnología que limita su ingreso y que se debe reducir.

1.6 Experiencia peruana en pavimentos rígidos

En el Perú existen dos obras emblemáticas respecto a su comportamiento y su ciclo de vida: la avenida Venezuela y la avenida Vía Expresa. Asimismo, tenemos el Metropolitano 1.

1.6.1 Avenida Venezuela (1924)

El primer pavimento de concreto que se construye en el Perú, corresponde a la carretera Lima a Callao, denominada posteriormente como avenida Progreso y luego avenida Venezuela, cuando se incorporó al casco urbano de la capital.

La construcción y puesta en servicio de este pavimento se efectuó en el año de 1924, situándola como uno de los primeros pavimentos de concreto en Latinoamérica.

Fueron múltiples las razones que llevaron a la construcción de esta arteria. Sin orden de prelación, puede mencionarse no sólo el deplorable estado en que se encontraba el camino de tierra afirmada preexistente, que dificultaba el transporte de las mercaderías que llegaban al puerto, sino el auge comercial que se presenta en la primera posguerra, así como la legislación adecuada que permitía la expropiación de terrenos a 100 metros de cada lado de la ruta, facilitando proyectos de urbanización, y el endeudamiento externo aplicado a este tipo de obras, entre otros.

La avenida se iniciaba en Lima, a la altura de la avenida Alfonso Ugarte y tenía como término el edificio de la aduana del Callao, luego de atravesar la localidad de Bellavista y la ciudad portuaria. Su longitud total era de 12.2 km. y el costo de la obra fue de 1'300,000 soles de la época.

La sección del pavimento tenía un ancho de 8 metros y el espesor de la losa era de 22 centímetros en los bordes y 18 centímetros en la zona central. Además se colocaron dos fierros longitudinales de 1 pulgada en los bordes del pavimento, debido a los trabajos desarrollados hasta ese momento por Westergaard. Ver figura 1.2.

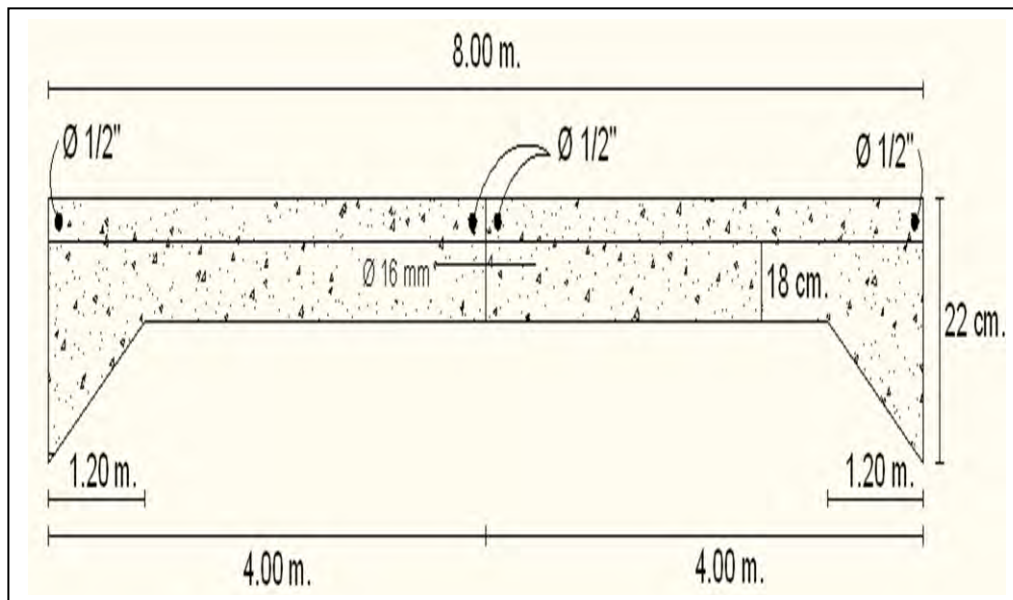


Figura 1.2 Sección del pavimento en avenida El Progreso (1924)

Fuente: ASOCEM

La construcción la efectuó la empresa americana “*Foundation Co*”. que tenía a su cargo diversas obras en Lima y Callao, empleando personal nacional.

1.6.2 Avenida Vía Expresa (1966)

La construcción de la denominada Vía Expresa se inició en 1966 y culminó el 28 diciembre de 1968. Esta obra destinada a unir Lima con los balnearios del sur, se iniciaba en la Plaza Grau y tenía como término la avenida Panamá en Barranco.

El propietario de la obra fue el Consejo Provincial de Lima y la ejecución fue dividida en varios tramos, a cargo de las siguientes empresas contratistas:

- Consorcio de Ingenieros: Graña y Montero; Flores y Costa, Cilloniz Olazábal Urteaga.
- Eduardo Winkelried B.; José Murgia y Carlos Illauri
- Robles y Cía. S.A.
- Kruger Ingenieros

Entre las características del pavimento y especificaciones técnicas correspondiente tenemos:

- Subrasante y sub-base: terraplén compuesto por grava arenosa (hormigón).
- Pavimento: losa de concreto de cemento Pórtland de 19 cm. de espesor, con ensanche en los bordes hasta un total de 24 cm.
- El concreto fue entregado por la empresa de concreto premezclado COPRESA, con una resistencia de 210 kg / cm².
- Las juntas transversales de contracción fueron aserradas. Ver figura 1.3 y 1.4

Los tramos a cargo de Robles Cía. S.A. y del Consorcio de Ingeniero fueron construidos por trenes de pavimentación de las empresas Robles y Cía y Graña y Montero S.A.

Los procedimientos seguidos para la construcción de los pavimentos de la Vía Expresa y de las vías locales, fue el más moderno de la época: tren de pavimentación autopropulsado, el cual compactaba, distribuía y alisaba la superficie del concreto.

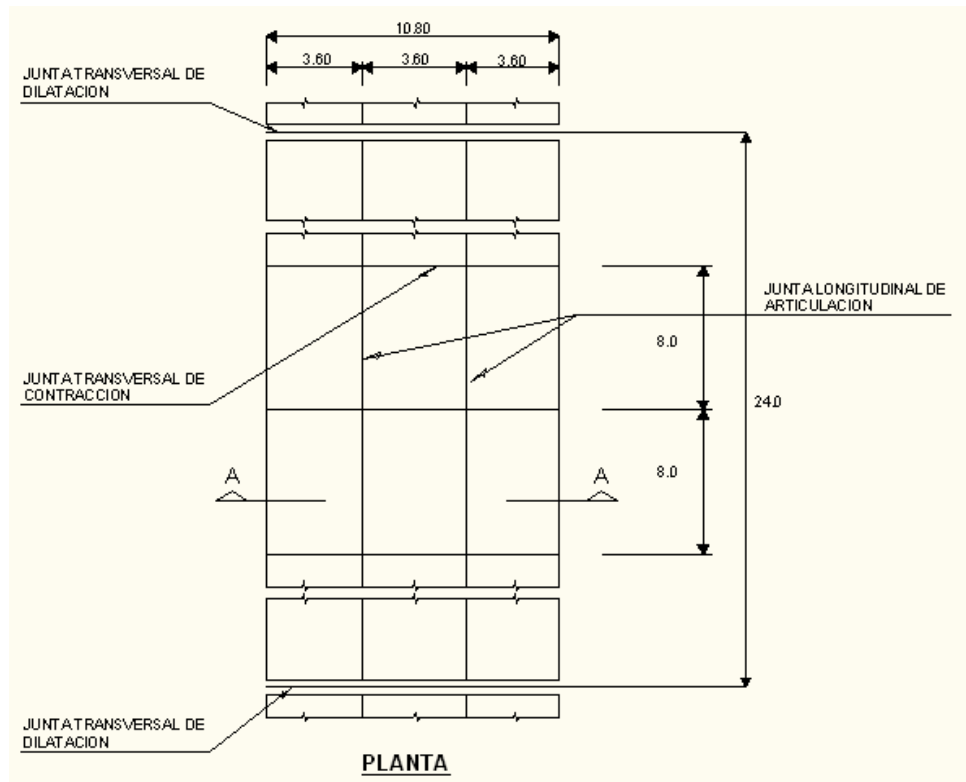


Figura 1.3 Disposición de juntas

Fuente: ASOCEM

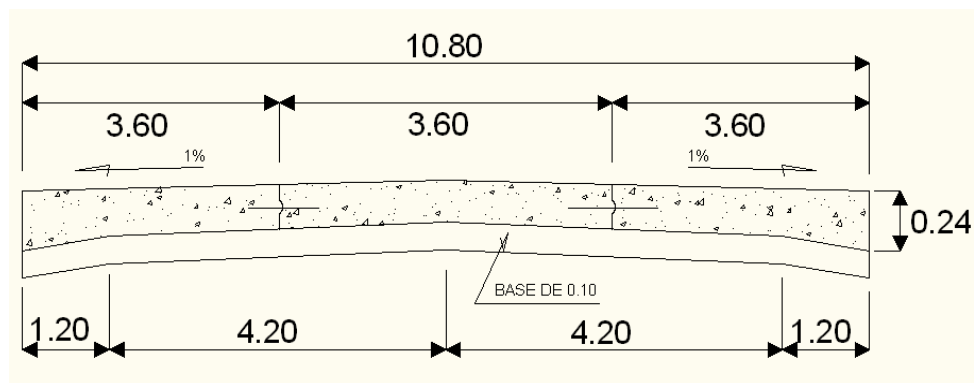


Figura 1.4 Estructura avenida Vía Expresa

Fuente: ASOCEM

1.6.3 El Metropolitano de Lima

Solución vial a partir de corredores exclusivos para el transporte de buses articulados. El primer Metropolitano está conformado por tres corredores:

- Corredor sur: De 13.9 Km., conformado por la vía expresa Paseo de la República, las Avenidas Bolognesi, Escuela Militar y Prolongación del Paseo de la República
- Corredor centro: De 4.9 Km., que presenta dos rutas cuyo recorrido se inicia en la estación central Plaza Grau y ambos recorridos se unen en la Plaza Castilla.
- Corredor norte: De 7.15 Km., que inicia en plaza Castilla, Caquetá y Av. Túpac Amaru.

La estructura cambia dependiendo del tramo, debido a diferentes consideraciones de tránsito y suelo. Ver tabla 1.1

Tabla 1.1 Estructuras del pavimento

| | Cosac Sur | Cosac Centro | Cosac Norte |
|--|-----------|--------------|-------------|
| Longitud (Km) | 13.9 | 4.9 | 7.15 |
| Espesor de Losa (cm) | 30 | 28 , 30 y 35 | 32 |
| Resistencia Mr / f'c (Kg/cm ²) | 45 | 320 | 45 |
| Diámetro de Dowels (pulg) | 1 1/2 | 1 1/4 | 1 1/2 |

Fuente: ASOCEN

1.7 Problemática de los pavimentos rígidos

A continuación se define la problemática estudiada

1.7.1 El pavimento de concreto en la red vial peruana

La red vial en el Perú, está compuesta por más de 78,000 kilómetros que se presentan a continuación clasificadas por su funcionalidad en:

- Red vial nacional, con 17,000 kilómetros
- Red vial departamental, con 14,000 kilómetros
- Red vial vecinal o rural, con 47,000 kilómetros

El tipo de estructura que conforma el camino se diseña considerando parámetros como el tipo de vía, la calidad de los suelos de cimentación e indicadores de tránsito. Los tres tipos de estructuras concretan caminos pavimentados, afirmados y sin afirmar.

Las redes viales nacional y departamental están a cargo de PROVÍAS, organismo descentralizado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) que cuenta con autonomía técnica, administrativa y financiera, y está encargado de asegurar la ejecución de proyectos de construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de la red vial nacional y departamental, con el fin de brindar a los usuarios un medio de transporte eficiente y seguro, que contribuya a la integración económica y social del país. PROVÍAS NACIONAL administra la red vial nacional y PROVÍAS DESCENTRALIZADO la red vial departamental.

Algunas rutas han sido concesionadas a empresas privadas para su construcción y/o mejoramiento, y mantenimiento respectivo por un determinado número de años, según contratos firmados con el estado.

En el caso de las redes vecinales, están bajo la administración de los gobiernos locales.

1.7.2 Competitividad en el país

En la actualidad, las tecnologías de pavimentación en asfalto y concreto están equilibradas tanto en términos técnicos, como en términos económicos. Por supuesto, para hacer un análisis equilibrado en la evaluación de ambas alternativas, se asumen tecnologías de pavimentación similares, es decir:

- Los distintos paquetes a evaluar deben concebirse mediante diseños equivalentes de asfalto y concreto, respectivamente.
- Las tecnologías de construcción deben ser similares: terminadoras de asfalto, para el caso de pavimentos flexibles; y pavimentadoras de encofrado deslizante, para el caso de pavimentos rígidos.

Cabe señalar que la tecnología de pavimentadoras de encofrado deslizante en el Perú está disponible solo a través de cinco equipos: UNIÓN ANDINA DE CEMENTOS (UNACEM) cuenta con tres equipos, CEMENTOS PACASMAYO, tiene un equipo, y MOTTA ENGIL cuenta con uno adicional.

Ambas de alternativas de pavimentación, flexible y rígida, tienen sus ventajas y desventajas dependiendo del proyecto que se evalúe. Por lo tanto, toda entidad administradora de redes, debe evaluar técnica y económicamente ambas alternativas y aprovechar las ventajas en cada proyecto independiente.

Lamentablemente, debido a la poca información y difusión en materia de diseño, construcción, supervisión, y evaluación de pavimentos de concreto, referida a la brecha tecnológica antes mencionada, hace imposible la introducción de la tecnología de pavimentación en concreto, y es un reto que debemos asumir.

1.8 Retos a futuro

La problemática del pavimento de concreto se puede resumir, entonces en:

1.8.1 Mitos y paradigmas

Anteriormente era innegable que los pavimentos de concreto eran mucho más costosos, e inclusive incómodos para los usuarios de las vías. Estas características han cambiado en el tiempo debido a la estabilidad en los precios del cemento, a la inminente alza en los derivados del petróleo; y a que la tecnología de pavimentación en concreto ha permitido reemplazar las juntas de una pulgada por otras de seis milímetros, haciendo el pavimento de concreto mucho más comfortable.

Pero estos puntos están arraigados en la mentalidad de los ingenieros, y el reto precisamente es realizar una campaña de actualización técnica y comunicación.

1.8.2 Falta de parámetros

Debido a la falta de obras emblemáticas, las entidades administradoras, tienen muchos problemas para realizar perfiles acertados en alternativas de proyectos de pavimentos de concreto, por falta de parámetros de referencia a nivel de diseño, costeo y evaluación de pavimentos.

1.8.3 Falta de recursos y herramientas

Efectivamente, se debe trabajar con los principales referentes para poder entregar una oferta en pavimentación con concreto, a niveles de diseño, construcción, y evaluación.

1.9 Encuesta acerca del ingreso de pavimentos de concreto

A continuación se presenta los resultados de la encuesta realizada en el II Conversatorio de Pavimentos de Concreto obtenida en febrero del 2011 ante la pregunta:

¿Cuál es la problemática del ingreso de pavimentos de concreto en nuestras redes viales?

Las respuestas obtenidas fueron:

- A: Alto costo de construcción
- B: Falta de equipos de construcción en pavimentos de concreto
- C: Falta de comunicación y capacitación en temas referidos a pavimentos de concreto
- D: Tiempo de apertura al tránsito superior
- E: Falta de personal capacitado en diseño, construcción, supervisión y evaluación
- F: Falta de propuestas en pavimentos de concreto
- G: El concreto como material
- H: No hay oferta en pavimentación con concreto
- I: Reacción ante climas y geografías diversos
- J: Por costumbre se trabaja con pavimentos de asfalto
- K: Falta de normatividad en pavimentos en concreto
- L: Para evaluación se emplea solo el HDM3 que trabaja solo a nivel de asfalto.

Después de obtener las posibles respuestas se pidió a los encuestados que ponderaran las mismas. El resultado se observa en la figura 1.5

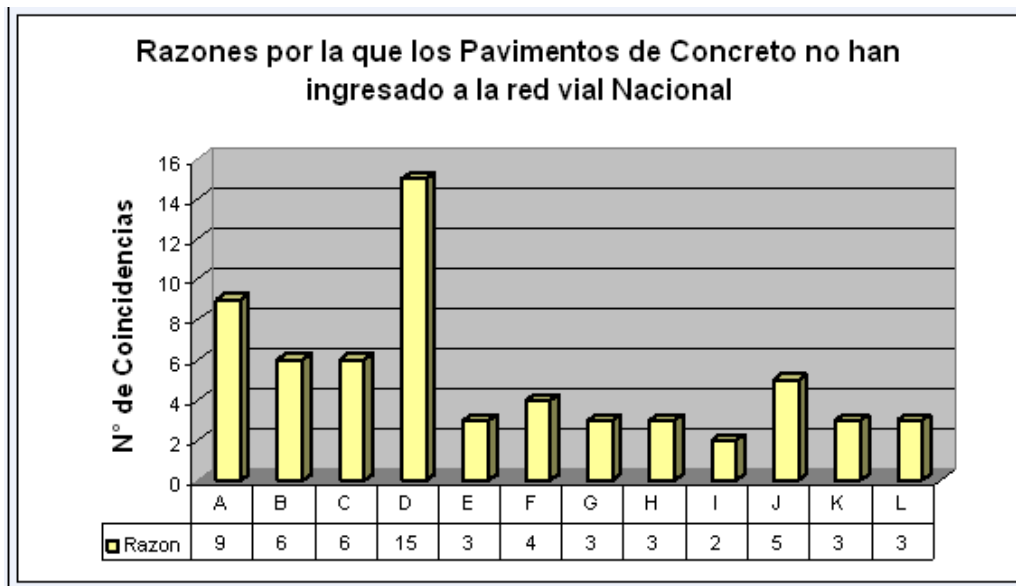


Figura 1.5 Percepción de porqué los pavimentos de concreto no han ingresado en la red vial peruana

Fuente: elaboración propia

Capítulo 2

Metodología de análisis

2.1 Metodología de análisis

Este capítulo presenta la metodología de análisis comparativo técnico-económico de los costos de construcción de estructuras equivalentes de pavimentación flexible y rígida, para condiciones hipotéticas similares de tránsito y suelo de fundación.

Se ha considerado una autopista de una calzada de dos carriles. El diseño de los pavimentos equivalentes se realizó utilizando el método empírico AASHTO año 1993 para periodos de treinta años.

A efectos de evaluar los costos de construcción de los pavimentos, éstos deben diseñarse para que cumplan ciertas condiciones de tránsito y suelo que los validen como equivalentes, por ello, se ha establecido un procedimiento de análisis comparativo, considerando rangos de valores de tránsito y tipo de suelo (dentro de una matriz de comparación), manteniendo para este efecto las mismas consideraciones climáticas.

2.2 Matriz de comparación

Se debe definir la configuración del análisis estableciendo niveles para las variables a partir de las cuales se efectúa la comparación. En este caso, se han considerado seis niveles de tránsito para el pavimento hipotético y tres tipos de suelo con diferente capacidad portante. Esto permite definir una matriz de comparación y análisis, cuya estructura se muestra en la tabla 2.1.

En el método se determinan los espesores de la carpeta de rodadura asociados a cada celda de la matriz, fijando condiciones de capas granulares, usualmente aceptadas, para

simplificar el cálculo. Una vez obtenidos los espesores equivalentes, para las alternativas de pavimentación flexible y rígida, se procede a cuantificar su costo de construcción a partir de un modelo de costeo y comparación.

Cabe mencionar que este análisis es referencial, pues para el cálculo se han fijado parámetros como la resistencia a flexotracción del concreto y tipos de asfaltos a valores convencionalmente empleados.

Lo que se pretende es dar a conocer los rangos de variación en costos para pavimentos equivalentes de asfalto y concreto, utilizando para ello una matriz que facilite la comprensión.

Tabla 2.1: Matriz de análisis: espesores / costos

| num. Veh pes x día / CBR Subrasante | Espesores de Carpetas de Rodadura (mm) | | | | | |
|--|--|----|----|----------|----|----|
| | Asfalto | | | Concreto | | |
| | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 |
| TCD1 | | | | | | |
| TCD2 | | | | | | |
| TCD3 | | | | | | |
| TCD4 | | | | | | |
| TCD5 | | | | | | |
| TCD6 | | | | | | |

Fuente: elaboración propia

2.2.1 La matriz y el tránsito

Para el análisis esbozado en la matriz de la tabla 2.1, se consideran los siguientes niveles en el tránsito medio diario anual (IMDA) para el primer año del periodo de análisis:

TCD1 = 150 vehículos

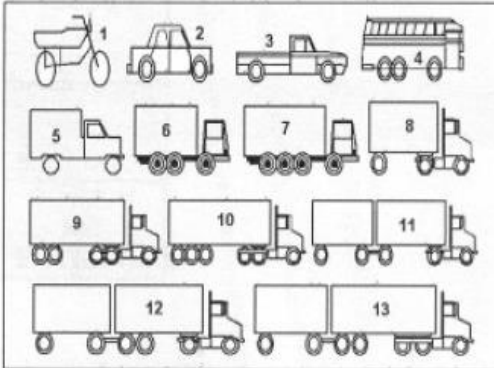
| | |
|--------|-----------------|
| TCD2 = | 450 vehículos |
| TCD3 = | 1,350 vehículos |
| TCD4 = | 2,250 vehículos |
| TCD5 = | 3,750 vehículos |
| TCD6 = | 4,550 vehículos |

Se estima un crecimiento de tránsito de 3% anual y una vida útil de veinte años para ambas alternativas de pavimentación.

Se ha adoptado la distribución por tipo de vehículos de la FHWA, ver tabla 2.2. La FHWA tiene determinada estadísticamente la cantidad de ejes simples, tándem y trídem correspondientes

Tabla 2.2: Distribución de vehículos FHWA

| Clase vehic. | % tránsito | ejes simples | ejes tándem | ejes trídem |
|--------------|------------|--------------|-------------|-------------|
| 4 | 1,8 | 1,62 | 0,39 | 0,00 |
| 5 | 24,6 | 2,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 7,6 | 1,02 | 0,99 | 0,00 |
| 7 | 0,5 | 1,00 | 0,26 | 0,83 |
| 8 | 5,0 | 2,38 | 0,67 | 0,00 |
| 9 | 31,3 | 1,13 | 1,93 | 0,00 |
| 10 | 9,8 | 1,19 | 1,09 | 0,89 |
| 11 | 0,8 | 4,29 | 0,26 | 0,06 |
| 12 | 3,3 | 3,52 | 1,14 | 0,06 |
| 13 | 15,3 | 2,15 | 2,13 | 0,35 |



Fuente: FHWA

La distribución de cargas por eje considerada se presenta en forma resumida en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Distribución simplificada de cargas por eje (para 1,000 vehículos pesados)

| Ejes simples | | Ejes dobles | | Ejes triples | |
|--------------|------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| Carga (tn) | Cantidad de Ejes | Carga (tn) | Cantidad de Ejes | Carga (tn) | Cantidad de Ejes |
| 16 | | 30 | | 39 | |
| 15 | | 28 | | 36 | 1 |
| 14 | | 26 | | 33 | 1 |
| 13 | | 24 | 5 | 30 | 3 |
| 12 | | 22 | 14 | 27 | 6 |
| 11 | 4 | 20 | 28 | 24 | 10 |
| 10 | 12 | 18 | 56 | 21 | 16 |
| 9 | 21 | 16 | 94 | 18 | 19 |
| 8 | 37 | 14 | 129 | 15 | 15 |
| 7 | 66 | 12 | 131 | 12 | 14 |
| 6 | 125 | 10 | 126 | 9 | 15 |
| 5 | 613 | 8 | 137 | 6 | 25 |
| 4 | 282 | 6 | 159 | | |
| 3 | 228 | 4 | 164 | | |
| Total | 1388 | | 1043 | | 125 |

Fuente: elaboración propia

Con estos valores de tránsito y carga se han calculado los factores de equivalencia para cada caso (TF)

2.2.2 La matriz de comparación y el suelo

Se ha caracterizado el suelo a partir de su valor CBR de la subrasante, obteniéndose tres niveles:

S1 = 3% CBR (suelo malo)

S2 = 10% CBR (suelo regular – bueno)

S3 = 25% CBR (suelo muy bueno)

Cabe mencionar que la denominación de malo, regular – bueno y excelente, es referencial.

Capítulo 3

Diseño de pavimentos rígidos

3.1 El pavimento de concreto

A continuación, debido al desconocimiento de esta tecnología de pavimentación, se resumen los principales conceptos relacionados al pavimento rígido.

3.1.1 Generalidades

Los pavimentos de concreto hidráulico han sido empleados como soluciones al transporte desde fines del siglo XIX, y constituyen una alternativa que es empleada hasta la actualidad.

Efectivamente, el pavimento de concreto es reconocido por su larga durabilidad y resistencia, llegando a tener costos de mantenimiento mucho menores que los incurridos en la alternativa equivalente de pavimento asfáltico, no solo por los trabajos en los que incurre para realizar el mantenimiento de cada pavimento, sino también en los tiempos de ejecución y en las frecuencias del mismo.

Adicionalmente, no puede dejar de mencionarse el hecho de que por su naturaleza rígida, el pavimento de concreto requiere por lo general, sólo una capa de material sub-base por lo que hay ahorros adicionales en costos de materiales, y tiempos de trabajo.

Finalmente existen beneficios en seguridad y cuidado del medio ambiente que deben tenerse en cuenta al momento de evaluar las diferentes alternativas de pavimentación, como los descritos en la tabla 3.1. En seguridad vial, la superficie rugosa permite una mejor adherencia, el color plomo característico del concreto lo hace tres veces más reflexivo que el asfalto, evitando accidentes.

Tabla 3.1 Beneficios de los pavimentos de concreto

| Beneficios | Concreto |
|--|---|
| Seguridad Vial | Reduce salpique de agua superficial (no se ahuela, no se empoza). Mejor adherencia superficial: textura rugosa para mejor adherencia entre pavimento y neumático. |
| | <u>Mayor Visibilidad:</u> <ul style="list-style-type: none"> • 3 veces más reflejante que el asfalto. • Ahorros en costos de iluminación en vías urbanas hasta un 30% de energía. <u>Planicidad Superficial:</u> Conserva textura superficial por más tiempo. |
| Cuidado del Medio Ambiente | <u>Ahorro de combustible</u> en camiones puede ir de 0.8% a 6.9 % vs. asfalto. |
| | Se reducen las emisiones de dióxido de carbono y otras. |
| | Requiere 3 a 5 veces menos energía en su construcción, mantenimiento y rehabilitación. |
| | Es 100% reciclable |
| Reduce el efecto del calor urbano, por su color claro y propiedades reflectoras. | |

Fuente: Asociación Canadiense del Concreto Premezclado
Elaboración propia

Por otro lado, en el cuidado del medio ambiente, permite ahorros considerables de energía tanto en el proceso de construcción como en el de operación, se puede llegar a ahorrar entre 0.8 y 6.9 % de combustible solamente por transitar por un pavimento de concreto.

Un tema que no se menciona en la tabla 3.1 es el referido a la balanza comercial peruana. Siendo el asfalto un derivado del petróleo, y el Perú un país que en su balanza comercial lo importa, los pavimentos de asfalto no utilizan insumos 100% nacionales.

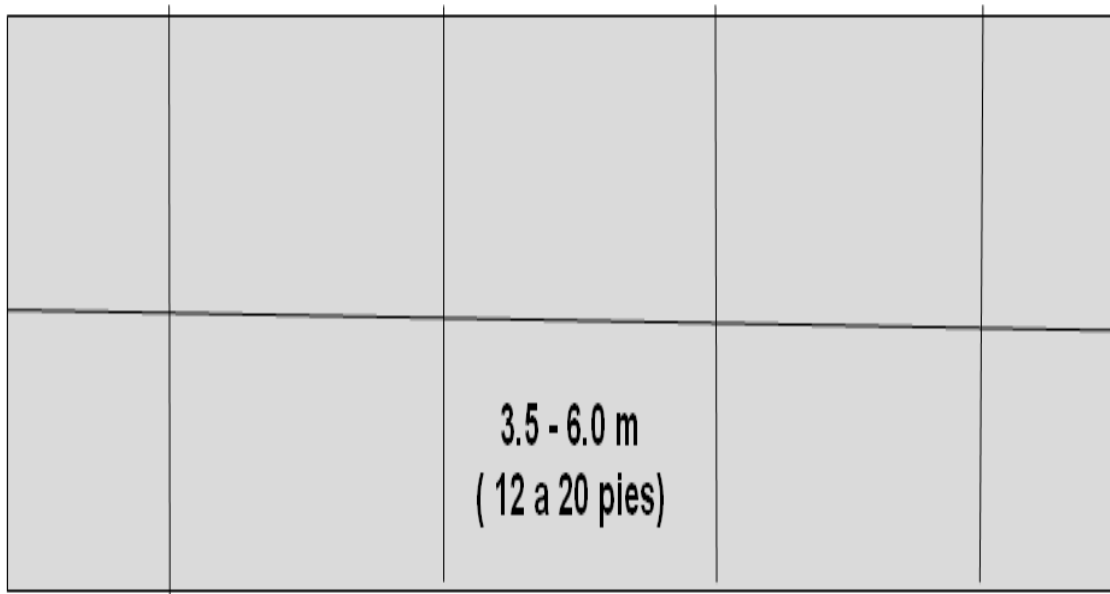
3.1.2 Tipos de pavimentos rígidos

Existen tres tipos de pavimentos de concreto utilizados en vías, los cuales se mencionan a continuación:

- Pavimento de concreto simple con juntas: En este tipo de pavimentos se requiere realizar juntas de contracción transversal que varían entre 3.5 y 6.0 metros. La transferencia de carga entre paños adyacentes se puede dar mediante trabazón de agregados o mediante el empleo de pasadores. Las juntas inducen el agrietamiento

propio del comportamiento del concreto por las tensiones originadas por los cambios de temperatura y humedad.

Planta



Perfil

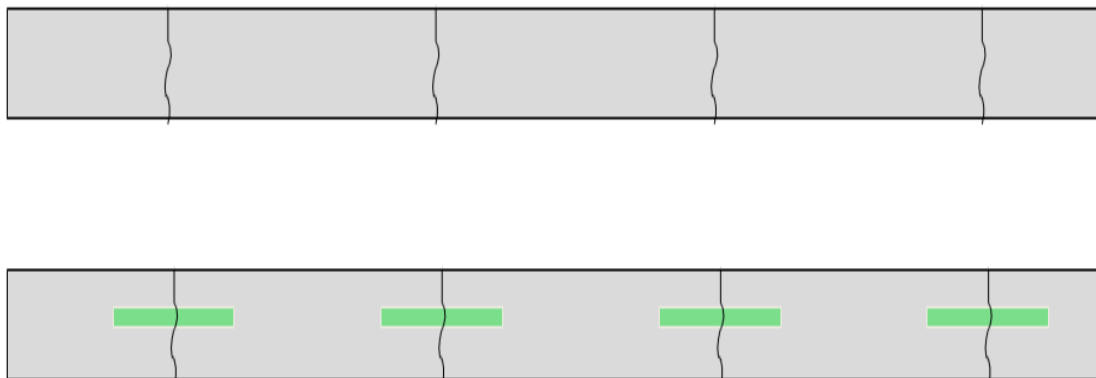
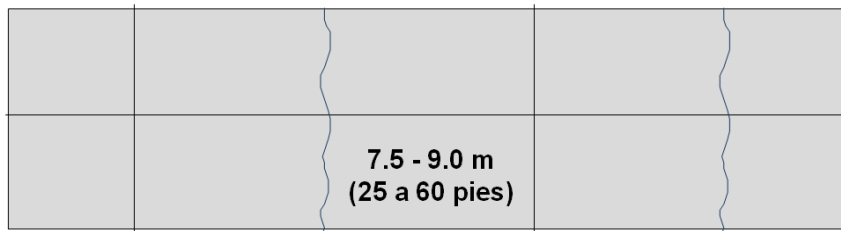
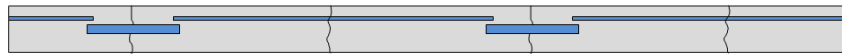


Figura 3.1: Esquema de pavimento de concreto simple con juntas

Fuente: elaboración propia

- Pavimento de concreto armado con barras transversales: La carpeta de rodadura es de concreto reforzado con mallas de acero, las que permiten ampliar las distancias entre las juntas llegando a distancias entre 7.5 y 9.0 metros. Aunque tiene refuerzo moderado de acero siempre se espera que se produzcan fisuras controladas dentro de los paños. El refuerzo controla para de las tensiones y permite tener espaciamientos mayores entre las juntas. La transferencia de carga entre paños adyacentes se realiza mediante el empleo de pasadores.

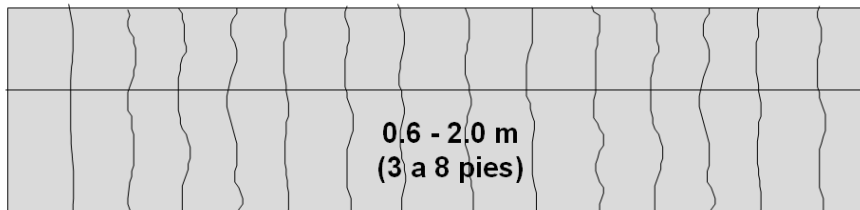
PlantaPerfil

0.2 a 0.3% de acero

Figura 3.2: Esquema de pavimento de concreto reforzado con juntas

Fuente: elaboración propia

- Pavimentos de concreto continuamente reforzados, las tensiones son controladas por una armadura de acero. Se espera la aparición de fisuras controladas a lo largo de todo el pavimento, con distancias entre 0.6 y 2.0 metros

PlantaPerfil

0.6 a 0.8% acero

Figura 3.3: esquema de pavimento de concreto continuamente reforzado

Fuente: elaboración propia

En los tres tipos de pavimentos de concreto se puede apreciar la tendencia por eliminar o distanciar lo más posible la distancia entre las juntas. Esto debido a que las juntas son, si se le puede decir, el punto débil de los pavimentos de concreto, por las juntas ingresan materiales incompresibles que restringen el movimiento de los paños de concreto, por las juntas ingresa agua que erosiona las capas inferiores de soporte.

Además, con la tecnología antigua, las juntas eran las responsables del poco confort que percibían los usuarios de los pavimentos de concreto al transitar por ellos. Es obvio que las juntas anteriores, las de más de 2.5 centímetros y que eran selladas con asfalto en frío, eran barreras naturales y obstáculos para los vehículos. Actualmente, con las

nuevas tecnologías de juntas ahora con milímetros de espesor, éstas ya no representan problema alguno.

En las nuevas metodologías de diseño como la MEPDG 2002, ya no se trabaja con los pavimentos de concreto reforzado con juntas, debido a que su comportamiento en el largo plazo no ha sido el adecuado. Sí se trabaja, en cambio, con los de concreto simple con juntas y con los continuamente reforzados.

Los pavimentos de concreto continuamente reforzados, son especificados para periodos de diseño mayores a 30 años, por lo que es común apreciarlos en otras realidades como las de Estados Unidos y Europa. Para nuestra realidad, los pavimentos con los que se tiene experiencia son los de concreto simple con juntas, por lo que serán éstos con los que se trabajará en la presente tesis. (Ver fotografía 3.4)



Figura 3.4: Pavimento de concreto simple con juntas

Fuente: proyecto de pavimentación avenida Lima (2006)
Por Mario Becerra Salas

3.1.3 Elementos del pavimento de concreto

La figura 3.5 presenta un detalle de las principales elementos que conforman el pavimento de concreto simple con juntas.

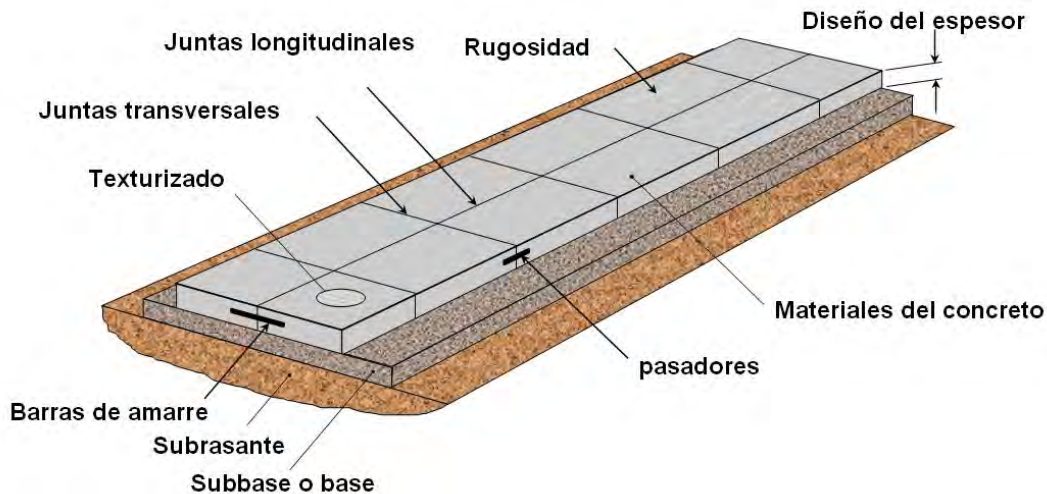


Figura 3.5 : Elementos del pavimento de concreto simple con juntas

Fuente: American Concrete Pavement Association (ACPA)

A continuación se mencionaran las características más importantes de cada uno de los elementos que conforman el pavimento de concreto:

3.1.3.1 Capas de un pavimento de concreto

Los pavimentos de concreto cuentan con una serie de capas que se sostienen desde la subrasante hasta la carpeta de rodadura. La calidad de los materiales que conforman las capas va mejorando a medida que se aproximan a la carpeta de rodadura.

Los diferentes métodos de diseño consideran al menos las siguientes capas para los pavimentos de concreto:

- **Subrasante**

Es el suelo de cimentación del pavimento, pudiendo ser suelo natural, debidamente perfilado y compactado; o material de préstamo, cuando el suelo natural es deficiente o por requerimiento del diseño geométrico de la vía a proyectar.

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular, tales como: GW, GP, SW, SM, ML o incluso SC, siempre que la arcilla no sea de alta plasticidad.

Antes de ser empleado debe ser perfilado y compactado entre el 95 y 100% de la máxima densidad seca obtenida con el ensayo próctor estándar AASHTO T-99.

En caso el suelo natural esté conformado por suelos finos y plásticos como CL, MH, CH, CL – ML, con LL entre 50 y 100% se analizará la necesidad de mejorarlos reduciendo su LL para mejorar así el IP.

Si el suelo natural está conformado por suelos tipo MH, CH y OH con LL de 100%, será reemplazado por material de préstamo en un espesor mínimo de 30 centímetros.

- **Sub-base**

Es la capa que está apoyada sobre la subrasante, compuesta por materiales granulares de buena gradación. También deberá ser perfilada y compactada entre el 95 y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo próctor estándar. El empleo de sub-base implica una mejora en la capacidad de soporte de suelo que se traduce en una reducción del espesor de carpeta de rodadura. Sin embargo, el impacto no es significativo.

El empleo de materiales granulares entre la subrasante y la carpeta de rodadura se emplea mejor desde el punto de vista de protección de la subrasante ante la pérdida de finos y para hacer más homogéneo el soporte donde se colocará la carpeta de rodadura de concreto.

- **Base**

En el caso de los pavimentos de asfalto es común que se contemple material de base adicional. En lo que a los pavimentos de concreto se refiere esto no es común, pero podría darse el caso en situaciones extremas. La base constituye entonces, la capa intermedia entre la sub-base y la carpeta de rodadura y utiliza materiales granulares de excelente gradación.

Los diferentes métodos de diseño no limitan el espesor de las capas, sin embargo, espesores inferiores a 10 centímetros resultan muy difíciles de compactar. Por lo que se sugiere no emplear espesores menores a 10 centímetros, siendo preferible trabajar con 15 centímetros.

- **Bases estabilizadas con cemento**

Las bases estabilizadas permiten el empleo de materiales locales, reciclados, teniendo como ventajas: sub-bases menos erosionables, reducción de esfuerzos de tensiones y deflexiones, mejoramiento de la transferencia de carga entre paños, entre otras.

Se podrá estabilizar con cemento siempre y cuando el material a estabilizar sea libre de partículas orgánica, con equivalentes de arena superiores a 20.

- **Carpeta de rodadura**

Está conformada por mezcla de concreto hidráulico. Los métodos de diseño especifican diseños de mezcla con Módulo de rotura a la flexión (MR) superiores a 42 Kg/cm², o su equivalente a $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$.

Tabla 3.2 MR recomendado por tipo de vía

| Tipo de vía | MR recomendado (Kg/cm ²) |
|---------------------|--------------------------------------|
| Autopistas | 48 |
| Urbanas principales | 45 |
| Urbanas secundarias | 42 |

Fuente: elaboración propia

Aunque las metodologías de diseño podrían evaluar pavimentos de concreto con MR mayores a 50 kg/cm², lo mejor es no superar esta medida ya que las losas se vuelven muy rígidas. Además, los contenidos de cementante utilizados en mezclas de concreto de este tipo traen consigo problemas de contracción y fisuras por contracción plástica que es preferible evitar.

Valores de MR entre 50 y 55 son comunes para pavimentos de aeropuertos.

3.1.3.2 Las juntas

Por la naturaleza misma del concreto, es necesario controlar la fisuración y permitir el movimiento relativo entre paños adyacentes, mediante el empleo de juntas.

Las juntas son longitudinales y transversales y tienen el rol de inducir fisuras por contracción del concreto, aislar el movimiento de los paños de elementos ajenos al pavimento, como buzones por ejemplo, y siendo incluso parte del procedimiento constructivo.

Lo cierto es que las juntas, son los puntos débiles de los pavimentos, pues permiten el ingreso de líquidos que puedan erosionar las capas de cimentación, o materiales incompresibles, que restrinjan el movimiento. Por ello, además de ser concebidas, éstas deben ser selladas y mantenidas con cierta frecuencia.

3.1.3.3 Mecanismo de transferencia de carga y confinamiento

Dependiendo del tipo de solicitaciones de carga de tránsito y del diseño geométrico de la vía, el pavimento contará con mecanismos de transferencia de cargas entre paños adyacentes y confinamiento lateral.

- **Transferencia de carga**

Se puede dar mediante la trabazón de los agregados o mediante el empleo de pasadores en las juntas de contracción transversal. Los pasadores son barras de acero lisas y con los bordes redondeados que se colocan en el plano perpendicular al corte de la junta

transversal. Deben estar centrados y permitir el movimiento de los paños adyacentes, no deben restringir su movimiento. En la tabla 3.3 se presentan dimensiones características de los pasadores con relación al espesor de la carpeta de rodadura de concreto.

Tabla 3.3: Características de los pasadores con relación al espesor de la losa

| Espesor del concreto | Pasadores | | |
|----------------------|---------------|---------------|-----------------|
| | Diámetro (mm) | Longitud (cm) | Separación (cm) |
| 13 - 15 | 19 | 40 | 30 |
| 15 - 20 | 25 | 45 | 30 |
| 20 - 30 | 32 | 45 | 30 |
| 30 - 43 | 38 | 50 | 35 |
| 43 - 50 | 45 | 55 | 45 |

Fuente: elaboración propia

- **Confinamiento lateral**

El confinamiento lateral es importante ya que controla las tensiones por flexión y las deflexiones en la losa, además de las bermas que pueden ser de concreto: como una extensión del pavimento vinculada o no vinculada; de asfalto, o de material granular.

Un mecanismo de confinamiento lateral lo brindan las barras de amarre, las cuales son de acero corrugadas que controlan el movimiento lateral de los carriles, y se colocan perpendiculares a la junta longitudinal. Por lo general, son de 3/8, 1/2 ó 5/8 de pulgada de diámetro; con longitudes que varían desde 50 cm hasta 100 cm, y que están espaciadas entre 0.5 y 1.0 metro.

3.1.3.4. Texturizado

El objetivo de texturizar la superficie del concreto es entregarle al pavimento las cualidades necesarias que permitan el contacto pavimento a llanta que permita el tránsito de los vehículos en condiciones seguras.

El micro texturizado es el que se logra aplicando una llana húmeda sobre la superficie del pavimento.

El macro texturizado se logra mediante herramientas mecánicas, como peines con cerdas metálicas o aparatos más sofisticados que pueden ser incorporados en el tren de pavimentado.

3.2 Conceptos básicos de AASHTO 93 para el diseño de pavimentos de concreto

3.2.1 Evolución AASHTO

La metodología de diseño de pavimentos AASHTO, con sus diferentes versiones, se basa en los resultados experimentales obtenidos en el “*AASHTO Road Test*”, en Ottawa, cuyo proyecto data de 1951 y que inicio la construcción de tramos de prueba en 1956.

El objetivo principal del “*AASHTO Road Test*” fue el de obtener relaciones confiables referentes al comportamiento y deterioro en los pavimentos, después de que se les aplicarán cargas controladas de tránsito. Para ello, se realizaron tramos de pavimentos flexibles y rígidos.

Los primeros resultados fueron registrados entre 1958 y 1960, así pues la primera guía de diseño AASHTO fue concebida en 1962 con el nombre de “*Interim Guide for Design of Pavement Structures*”, la misma que ha sido evaluada y revisada en 1972 y 1981. En 1984, un subcomité de diseño y demás consultores la terminaron de revisar publicándola en 1986 con bastantes modificaciones, con el nombre de “*AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*”. En 1993, se vuelve a revisar pero sin cambios en lo que a diseño de pavimentos de concreto se refiere y en 1998, con el suplemento de diseño AASHTO 1998, se intenta incorporar conceptos mecanicistas a la guía.

Es así que a través de diversas versiones, AASHTO lanza su metodología de diseño basada en las relaciones empíricas registradas en la “*AASHTO Road Test*”. El objetivo es calcular el mínimo espesor de un pavimento de concreto para que éste pueda soportar el paso de las cargas de tránsito manteniendo un cierto nivel de servicio para el periodo de diseño. AASHTO propone para ello, valores de serviciabilidad del pavimento, basado en correlaciones con el IRI, agrietamiento, y fallas del pavimento, y que se ha comprobado guardan correlación con la calificación subjetiva de los usuarios de la vía.

3.2.2 Ecuación de diseño AASHTO 93

El método AASHTO 93 asume que un pavimento recién construido comienza a dar un servicio de alto nivel. A medida que transcurre el tiempo, y con él las repeticiones de carga de tránsito, el nivel de servicio baja. El método impone un nivel de servicio final que se debe alcanzar al concluir el periodo de diseño.

Mediante un proceso iterativo se van asumiendo espesores de losa de concreto hasta que la ecuación AASHTO 1993 llegue al equilibrio. El espesor de concreto calculado finalmente debe soportar el paso de un número determinado de cargas sin que se produzca un deterioro del nivel de servicio inferior al estimado. La ecuación AASHTO 93 se presenta a continuación:

$$\log_{10} W_{82} = Z_R S_O + 7.35 \log_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_f) \times \log_{10} \left(\frac{M_r C_{dt} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Donde:

W_{82} = N° previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del periodo de diseño

Z_R = Desviación normal estándar

S_O = Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento

D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final

P_t = Índice de serviciabilidad o servicio final

M_r = Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz)

C_d = Coeficiente de drenaje

J = Coeficiente de transmisión de carga en las juntas

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa

K = Módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, sub-base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

El cálculo del espesor se puede desarrollar utilizando directamente la fórmula AASHTO 93 con una hoja de cálculo, mediante el uso de nomogramas, o mediante el uso de programas de cómputo especializado.

Los pavimentos de concreto simple con juntas son los que mejor se aplican a la realidad nacional debido a su buen desempeño y a los periodos de diseño que usualmente se emplean. Es por ello que el desarrollo de este coleccionable se centra en el diseño de este tipo de estructuras bajo la metodología AASHTO 93.

3.2.3 Serviciabilidad

Este parámetro sintetiza el criterio de diseño AASHTO.

AASHTO 93 caracteriza el servicio con dos parámetros: índice de servicio inicial (p_o) e índice de servicio final (p_f). En la ecuación 93 se ingresa la variación entre ambos índices (Δp) para el cálculo de espesores. Entre mayor sea Δp , mayor deterioro soportará el pavimento antes de fallar.

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía, y se caracteriza en una escala de 0 a 5; donde 0 significa una calificación de intransitable y 5 una calificación de excelente. El valor de 0 es ideal, pues AASHTO 93 emplea el valor de 1.5 como índice de serviciabilidad terminal del pavimento.

El valor Δp depende de la calidad de la construcción. “En el AASHO Road Test” se alcanzaron valores de:

$p_o = 4.5$ para el caso de pavimentos de concreto.

$p_o = 4.2$ para el caso de pavimentos de asfalto.

En cuanto al p_f , se sugiere emplear valores de:

$\rho_f=2.5$ para autopistas y vías importantes.
 $\rho_f=2.0$ para vías urbanas y secundarias.

3.2.4 Tránsito

El periodo de diseño está ligado a la cantidad de tránsito asociada en ese periodo para el carril de diseño. Se recomienda diseñar para 20 años o más.

Una característica propia del método AASHTO 93 es la simplificación del efecto del tránsito introduciendo el concepto de ejes equivalentes. Es decir, transforma las cargas de ejes de todo tipo de vehículo en ejes simples equivalentes de 8.2 Toneladas de peso, comúnmente llamados ESALs (*“equivalent single axle load”*).

El valor de un eje equivalente está relacionado al nivel de daño provocado por esta carga patrón. Por esta razón, para un mismo nivel de tránsito, los ESALs hallados para el diseño de pavimentos de concreto difieren de los ESALs hallados para el diseño de pavimentos de asfalto.

La equivalencia se logra mediante el empleo de factores de carga (LEF, *“Load equivalent factor”*). AASHTO 93, calcula el factor de carga a partir de la estimación del espesor de la losa de concreto a obtener, la carga por eje, y el nivel de serviciabilidad final aceptado.

El proceso de convertir un tránsito mixto en un número de ESALs de 8.2 Toneladas fue desarrollado por el *“AASHO Road Test”*. Para la prueba se sometieron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas vehiculares, y se analizaron el daño que produjeron.

El factor equivalente de carga (LEF), es el valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje de 8.2 Toneladas y la producida por un eje estándar en el mismo eje.

$$LEF = \frac{N^{\circ} \text{ de ESAL's de 8.2 Ton. que producen una pérdida de serviciabilidad}}{N^{\circ} \text{ de ejes de 8.2 Ton. que producen una pérdida de serviciabilidad}}$$

Como cada tipo de pavimento responde de manera diferente a una carga, los LEF también cambian en función del tipo de pavimento, por este motivo, los pavimentos rígidos y flexibles tienen diferentes LEF.

Para calcular los ESALs que se aplicarán a una estructura de pavimento es necesario saber los tipos de ejes; asumir el espesor de la losa que se necesita para las cargas de tránsito; y elegir el índice de serviciabilidad final aceptable de acuerdo con los programas de mantenimiento que se considere necesario, según el tipo de pavimento.

3.2.5 Confiabilidad y desviación estándar

El concepto de confiabilidad ha sido incorporado con el propósito de cuantificar la variabilidad propia de los materiales, procesos constructivos y de supervisión que hacen que pavimentos construidos de la “misma forma” presenten comportamientos de deterioro diferentes.

La confiabilidad es en cierta manera, un factor de seguridad que equivale a incrementar en una proporción el tránsito previsto a lo largo del periodo de diseño, siguiendo conceptos estadísticos que consideran una distribución normal de las variables involucradas.

El rango típico sugerido por AASHTO está comprendido entre $0.30 < s_0 < 0.40$. Para construcciones de pavimentos de concreto nuevos se puede asumir $s_0 = 0.35$, si las proyecciones de tránsito futuras son precisas; y $s_0 = 0.40$ si la precisión es baja.

La guía AASHTO 93 sugiere valores de confiabilidad como los indicados en la tabla siguiente:

Tabla 3.4 Recomendaciones de R

| Tipo de Vía | Confiabilidad Recomendada R | |
|----------------------|-----------------------------|------------|
| | Zona Urbana | Zona Rural |
| Rutas y Autopistas | 85 - 99.9 | 80 - 99.9 |
| Arterias Principales | 80 - 99 | 75 - 99 |
| Colectoras | 80 - 95 | 75 - 95 |
| Locales | 50 - 80 | 50 - 80 |

Fuente: AASHTO 93

El valor de R está relacionado al concepto de optimización del costo total del pavimento. Con valores de R cercanos a 50% se obtienen menores espesores de pavimento y por lo tanto, los costos de construcción en el inicio serán menores. Sin embargo, esto implica que el deterioro será mayor y los costos asociados al mantenimiento del pavimento a lo largo de su vida útil serán altos.

Con valores de R cercanos al 100% se obtienen mayores espesores de pavimento y por lo tanto los costos de construcción aumentan. Esta vez los costos de mantenimiento asociados a su vida útil serán mucho menores.

El valor R que se debe colocar es aquel que obtiene el menor costo total u óptimo (suma de los costos de construcción y mantenimiento)

El método es bastante sensible al cambio del valor R, es decir, a mayor R mayor espesor de concreto. Se recomienda trabajar con los siguientes valores de confiabilidad R:

- Rutas y autopistas: 90%
- Arterias principales: 85%
- Colectoras: 80%
- Locales: 75%

Valores mayores de R tienden a sobredimensionar los espesores.

3.2.6 El suelo de cimentación

El parámetro que caracteriza al tipo de subrasante es el módulo de reacción de la subrasante (K).

Adicionalmente, se contempla una mejora en el nivel de soporte de la subrasante con la colocación de capas intermedias, granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto. Esta mejora se introduce con el módulo de reacción combinado (Kc).

El ensayo para determinar el módulo de reacción de la subrasante, llamado también ensayo de placa, tiene por objetivo determinar la presión que se debe ejercer para lograr una cierta deformación, que para este caso es de 13 milímetros. El ensayo está normado en ASTM D – 1196 y AASHTO T – 222. Las unidades de K son Mpa. m.

Como se describe en las normas antes mencionadas, el ensayo de placa es lento y por lo tanto costoso por lo que es usual emplear el valor de CBR en su reemplazo, utilizando correlaciones K – CBR para ello.

El valor Kc se calcula tomando en consideración las propiedades de la subrasante y el efecto beneficioso de la capa intermedia, granular o tratada, afectadas por las variaciones estacionales durante el año, así como la presencia, también beneficiosa, de base rocosa bajo la subrasante, y el efecto perjudicial de una pérdida de soporte por erosión de las capas inferiores.

3.2.7 El coeficiente de drenaje

La metodología de diseño AASHTO 93 incorpora el coeficiente de drenaje (Cd) para considerarlo en el diseño.

Las condiciones de drenaje representan la probabilidad de que la estructura bajo la losa de concreto mantenga agua libre o humedad por un cierto tiempo.

En general, el nivel de drenaje de las capas intermedias depende de los tipos de drenaje diseñados, el tipo y permeabilidad de las capas de sub-base, tipo de subrasante, condiciones climáticas, y grado de precipitaciones, entre otras.

El coeficiente de drenaje o Cd varía entre 0.70 y 1.25, según las condiciones antes mencionadas. Un Cd alto implica un buen drenaje y esto favorece a la estructura, reduciendo el espesor de concreto a calcular.

Los pasos utilizados para el cálculo del Cd son dos:

Primero se determina la calidad del material como drenante en función de sus dimensiones, granulometría, y características de permeabilidad.

Tabla 3.5 Coeficiente de drenajes- parte 1

| Calidad de Drenaje | 50% de saturacion en: | 85% de saturacion en: |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Excelente | 2 horas | 2 horas |
| Bueno | 1 día | 2 a 5 horas |
| Regular | 1 semana | 5 a 10 horas |
| Pobre | 1 mes | más de 10 horas |
| Muy Pobre | El agua no drena | mucho más de 10 horas |

Fuente: AASHTO 93

Si el material después de ser saturado con agua cumple los requisitos de la tabla anterior, se puede considerar como: excelente, bueno, regular, pobre o muy pobre.

Luego, en segundo lugar, una vez caracterizado el material y su calidad como drenante, se calcula el Cd correlacionándolo con el grado de exposición de la estructura a niveles de humedad próximos a la saturación, utilizando para ello la tabla siguiente:

Tabla 3.6 Coeficientes de drenajes- parte 2

| Calidad de Drenaje | % del tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturacion | | | |
|--------------------|--|-------------|-------------|-------|
| | < 1% | 1 a 5% | 5 a 25% | > 25% |
| Excelente | 1.25 - 1.20 | 1.20 - 1.15 | 1.15 - 1.10 | 1.10 |
| Bueno | 1.20 - 1.15 | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1.00 |
| Regular | 1.15 - 1.10 | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | 0.90 |
| Pobre | 1.10 - 1.00 | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.80 |
| Muy Pobre | 1.00 - 0.90 | 0.90 - 0.80 | 0.80 - 0.70 | 0.70 |

Fuente: AASHTO 93

3.2.8 Transferencia de carga

Es un parámetro empleado para el diseño de pavimentos de concreto que expresa la capacidad de la estructura como transmisora de cargas entre juntas y fisuras.

Sus valores dependen del tipo de pavimento de concreto a construir, de la existencia o no de berma lateral, de su tipo, y de la existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas.

El valor de J es directamente proporcional al valor final del espesor de losa de concreto. Es decir, a menor valor de J, menor espesor de concreto requerido. Ver tabla 3.7 referida a los valores de J, dependiendo de si tiene o no pasadores y si tiene o no berma (granular o concreto)

Tabla 3.7 Valores de J

| Tipo de berma | J | | | |
|---------------|----------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | Granular o Asfáltica | | Concreto hidráulico | |
| | SI | NO | SI | NO |
| Valores J | 3.2 | 3.8 - 4.4 | 2.5 - 3.1 | 3.6 - 4.2 |

Fuente: elaboración propia

3.2.9 El concreto

Dos parámetros inciden el espesor de la estructura:

3.2.9.1 Resistencia a flexotracción del concreto (M_r)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es que se introduce este parámetro en la ecuación AASHTO 93. El módulo de rotura (M_r) es el que mide esta característica del concreto y está normalizado en la ASTM C – 78. En este ensayo el concreto es muestreado y ensayados en vigas.

A los 28 días las vigas deberán ser ensayadas aplicando cargas en los tercios y forzando la falla en el tercio central de la viga.

Para los pavimentos de concreto los valores varían según la tabla siguiente:

Tabla 3.8 Módulos de rotura usuales en vías

| Tipo de Pavimento | M_r (kg/cm ²) |
|-------------------|-----------------------------|
| Vía Urbana | 42 |
| Vía Principal | 45 |
| Autopistas | 50 |

Fuente: elaboración propia

En el caso de pavimentos para aeropuertos es común trabajar con valores de 55 Kg/cm² para la carpeta de rodadura.

El módulo de rotura (M_r) del concreto se correlaciona con el módulo de compresión (f'_c) del concreto mediante la siguiente regresión:

$$M_r = a\sqrt{f'_c} \quad (\text{Valores en kg/cm}^2), \text{ según el ACI 363}$$

Donde los valores “a” varían entre 1.99 y 3.18

3.2.9.2 Módulo elástico del concreto

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexotracción, a través de correlaciones establecidas.

En el caso de concretos de alto desempeño, con resistencias a compresión superiores a los 400 Kg/cm², la estimación utilizando las fórmulas propuestas por distintos códigos puede ser incierta puesto que existen variables que no han sido contempladas, lo que las hace objeto de continuo estudio y ajuste.

Algunas correlaciones se presentan a continuación:

$$E = 3.32f'_c{}^{0.5} + 6.9, \quad (f'_c \text{ en Mpa y } E \text{ en Gpa}), \text{ según el ACI 363}$$

$$E = 150.000f'_c{}^{0.5}, \quad (f'_c \text{ en Kpa y } E \text{ en Kpa})$$

El ensayo ASTM C – 469 calcula el módulo de elasticidad del concreto.

Capítulo 4

Consideraciones técnicas para los diseños equivalentes

4.1 Consideraciones generales

Respecto a los parámetros comunes adoptados para el diseño para ambas alternativas utilizando la metodología AASHTO 93, tenemos:

Confiabilidad $R = 90\%$

Índice de serviciabilidad final = 2.0

4.1.1 Para el pavimento de flexible

- Sub-base granular de 30 centímetros de espesor (CBR 40%)
- Base granular de 15 centímetros de espesor (CBR 80%)
- PEN 60/70
- Índice de serviciabilidad inicial de 4.2
- Desviación estándar de 0.45
- Coeficientes estructurales: 0.44, 0.14 y 0.11 para la carpeta, base y sub-base respectivamente
- Coeficientes de drenaje: 1.2, 1.0 y 0.8 para la carpeta, base y sub-base respectivamente.

4.1.2 Para el pavimento de rígido

- Sub-base granular de 30 centímetros de espesor (CBR 40%)
- Módulo de rotura a flexión de 45 kg/cm²
- Índice de serviciabilidad inicial de 4.5
- Desviación estándar de 0.35
- Coeficiente de drenaje de 1.2
- Factor J de 3.2

4.2 Caracterización del tránsito

Se presenta el cálculo de los ejes equivalentes para ambas alternativas. El eje equivalente es función del daño de un eje patrón simple de 8.2 Toneladas de carga en la estructura por lo que presentan valores diferentes dependiendo de la alternativa de pavimentación, como se muestra en la tabla 4.1

El valor final de tránsito se calcula con IMDA y 30 años de periodo de diseño, y un factor 0.5 por dirección, así como una tasa de crecimiento anual de 3%.

$$ESALS = (IMDA * 0.5)(TF)(G)(365)$$

$$G = ((1+i)^n - 1) / i$$

Tabla 4.1 Ejes equivalentes para el periodo de diseño 30 años

| Clase | N° Veh pesados TMDA | Asfalto | Concreto | Asfalto | Concreto |
|-------|---------------------------|---------|----------|------------|------------|
| | | TF | TF | ESALS | ESALS |
| T1 | 150 | 1.039 | 1.831 | 1,353,599 | 2,384,740 |
| T2 | 450 | 1.030 | 1.752 | 4,026,048 | 6,845,227 |
| T3 | 1350 | 1.025 | 1.605 | 12,019,585 | 18,814,196 |
| T4 | 2250 | 1.020 | 1.641 | 19,932,874 | 32,054,962 |
| T5 | 3750 | 1.021 | 1.540 | 33,235,456 | 50,156,948 |
| T6 | 4550 | 1.018 | 1.540 | 40,226,094 | 60,857,097 |

Fuente: elaboración propia

4.3 Caracterización de la subrasante

En la caracterización del suelo o subrasante se ha optado por simplificar su modelación al valor de CBR para estimar así los valores de Módulo de Resiliencia y K equivalente,

para las alternativas de asfalto y concreto respectivamente. La tabla 4.2 muestra los valores obtenidos

Tabla 4.2 La subrasante

| CBR | Asfalto | Concreto |
|-----|----------|--------------|
| | MR (Mpa) | K eq (Mpa/m) |
| 3% | 28.4 | 44.72 |
| 10% | 64.7 | 78.35 |
| 25% | 121.2 | 112.85 |

Fuente: elaboración propia

4.4 Matriz de paquetes técnicamente equivalentes

Utilizando la metodología de diseño AASHTO 93, y con los parámetros de diseño antes mencionados se ha calculado la matriz de pavimentos equivalentes para cada situación. Ver tabla 4.3

Tabla 4.3: Matriz de comparación

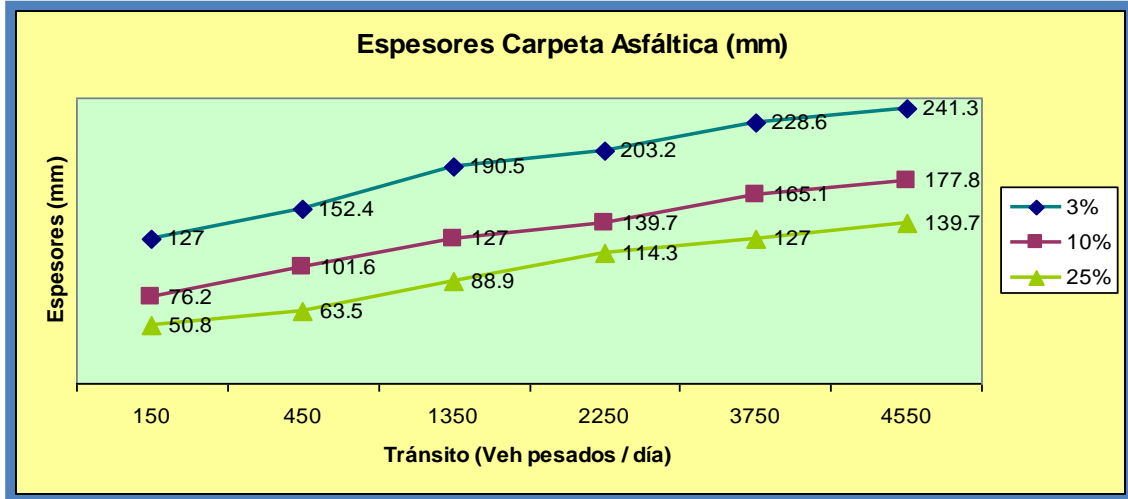
| num. Veh pes x día / CBR Subrasante | Espesores de Carpetas de Rodadura (mm) | | | | | |
|--|--|-------|-------|----------|-----|-----|
| | Asfalto | | | Concreto | | |
| | 3% | 10% | 25% | 3% | 10% | 25% |
| 150 | 127 | 76.2 | 50.8 | 170 | 170 | 160 |
| 450 | 152.4 | 101.6 | 63.5 | 210 | 200 | 190 |
| 1350 | 190.5 | 127 | 88.9 | 240 | 240 | 230 |
| 2250 | 203.2 | 139.7 | 114.3 | 270 | 260 | 250 |
| 3750 | 228.6 | 165.1 | 127 | 290 | 280 | 270 |
| 4550 | 241.3 | 177.8 | 139.7 | 290 | 280 | 280 |

Fuente: elaboración propia

4.5 Evaluación de resultados obtenidos

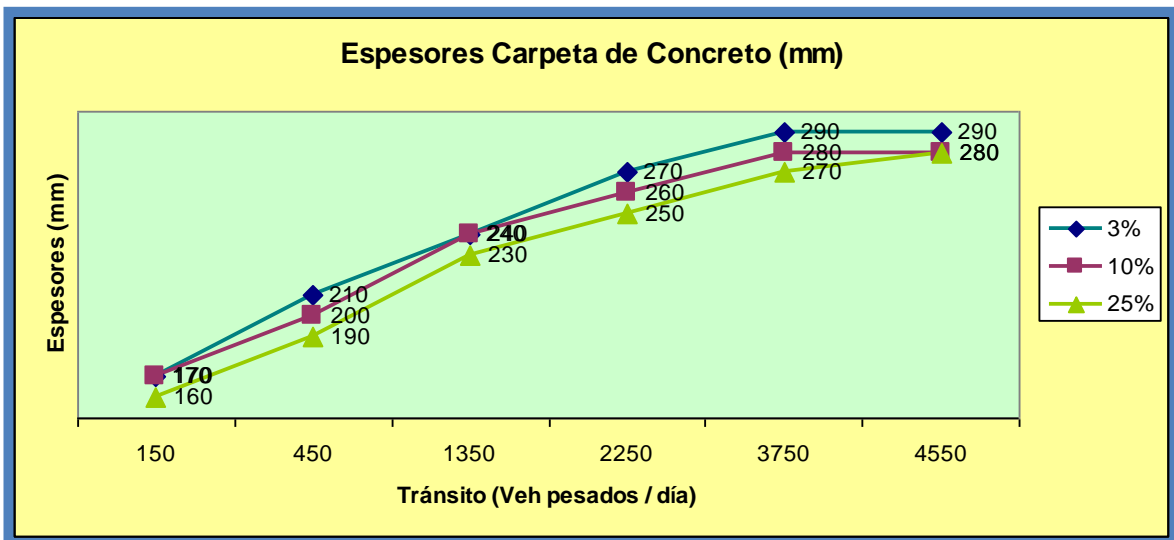
Como se puede observar con claridad en los gráficos 4.1 y 4.2, ambos pavimentos tienden a incrementar espesores a medida que el tránsito aumenta y que el suelo empeora. Sin embargo, una primera conclusión sería que los pavimentos rígidos son menos sensibles al tipo de suelo.

Gráfico 4.1: Resultados de diseño AASHTO 93 – FLEXIBLE (ASFALTO)



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.2: Resultado de diseño AASHTO 93 – RÍGIDO (CONCRETO)



Fuente: elaboración propia

Capítulo 5

Modelos de costos para pavimentos equivalentes

5.1 Matriz de pavimentos equivalentes

Utilizando la metodología de diseño AASHTO 93, tal como se expresó en el capítulo 2 de esta tesis, y con los parámetros de diseño antes mencionados se calculó la matriz de pavimentos equivalentes para cada situación.

Tabla 5.1: Pavimentos equivalentes a costear

| num. Veh pes x día / CBR Subrasante | Espesores de Carpetas de Rodadura (mm) | | | | | |
|--|--|-------|-------|----------|-----|-----|
| | Asfalto | | | Concreto | | |
| | 3% | 10% | 25% | 3% | 10% | 25% |
| 150 | 127 | 76.2 | 50.8 | 170 | 170 | 160 |
| 450 | 152.4 | 101.6 | 63.5 | 210 | 200 | 190 |
| 1350 | 190.5 | 127 | 88.9 | 240 | 240 | 230 |
| 2250 | 203.2 | 139.7 | 114.3 | 270 | 260 | 250 |
| 3750 | 228.6 | 165.1 | 127 | 290 | 280 | 270 |
| 4550 | 241.3 | 177.8 | 139.7 | 290 | 280 | 280 |

Fuente: elaboración propia

5.2 Consideraciones para el costeo

El modelo de costos que se presenta está dolarizado y tiene como referencia precios del 2012. Para una calzada de dos carriles, uno por sentido, de 3.60 metros de ancho para cada una de ellas. Sólo se incluye para la comparación el costo directo de la estructura, más no, obras adicionales, pues se consideran iguales y la comparación de costos no será absoluta sino relativa.

5.3 Modelo de costo por alternativa

En total, a través del modelo de costos que se presenta a continuación, se ha realizado el costeo de 36 alternativas de pavimentación (03 tipos de suelos y 06 tipos de tránsito), 18 para cada tipo de pavimento: flexible y rígido.

En este caso el modelo costea el metro lineal de calzada de 3.6 metros de ancho con el objetivo de comparar pavimentos equivalentes. Tipo de cambio 2.6 Soles X dólar.

A.- Clase T: 150 vehículos por día

A.1 CBR = 3%

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|----------|---------|-----------------|
| | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | | |
| | Nro de calzadas | 1 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | 127 | | | |
| Base Negra Nivelante | 0 | | | |
| Base granular | 150 | | | |
| Sub-base | 300 | | | |
| Relleno común | 0 | | | |
| Total | 577 | | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.0772 | 3.17 | 6.59 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.49264 | 11.60 | 28.91 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.4572 | 155.12 | 70.92 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$160.78 |

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|---------------------|---------|-----------------|
| | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | | |
| | Nro de calzadas | 1 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 | |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | 170 | Junta cada | 4.5 | |
| | | Acero Corrugado (m) | 0.8 | |
| Base granular | 0 | Espaciamineto | 0.8 | |
| Sub-base | 300 | Acero liso (m) | 0.45 | |
| Relleno común | 0 | Espaciamineto | 0.3 | |
| Total | 470 | | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.692 | 3.17 | 5.37 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.0304 | 11.60 | 23.55 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.612 | 92.31 | 56.49 |
| Pavimentado | M3 | 0.612 | 4.62 | 2.82 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.612 | 0.86 | 0.52 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.612 | 15.80 | 9.67 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$133.04 |

A.2 CBR = 10%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 76.2 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 526.2 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.89432 | 3.17 | 6.01 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.273184 | 11.60 | 26.37 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.27432 | 155.12 | 42.55 |
| Riego de Liga | M2 | 0 | 1.28 | 0.00 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$124.67 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 170 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 470 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.692 | 3.17 | 5.37 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.0304 | 11.60 | 23.55 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.612 | 92.31 | 56.49 |
| Pavimentado | M3 | 0.612 | 4.62 | 2.82 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.612 | 0.86 | 0.52 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.612 | 15.80 | 9.67 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$133.04 |

A.3 CBR = 25%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 50.8 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 500.8 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.80288 | 3.17 | 5.72 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.163456 | 11.60 | 25.10 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.18288 | 155.12 | 28.37 |
| Riego de Liga | M2 | 0 | 1.28 | 0.00 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$108.92 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 160 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 460 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.656 | 3.17 | 5.25 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 1.9872 | 11.60 | 23.05 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.576 | 92.31 | 53.17 |
| Pavimentado | M3 | 0.576 | 4.62 | 2.66 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.576 | 0.86 | 0.49 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.576 | 15.80 | 9.10 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$128.33 |

B.- Clase T: 450 vehículos por día

B.1 CBR = 3%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 152.4 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 602.4 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.16864 | 3.17 | 6.88 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.602368 | 11.60 | 30.19 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.54864 | 155.12 | 85.10 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Impresión | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$176.53 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 210 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciado | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciado | 0.3 |
| Total | | 510 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.836 | 3.17 | 5.83 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.2032 | 11.60 | 25.56 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.756 | 92.31 | 69.78 |
| Pavimentado | M3 | 0.756 | 4.62 | 3.49 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.756 | 0.86 | 0.65 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.756 | 15.80 | 11.94 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$151.85 |

B.2 CBR = 10%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 101.6 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 551.6 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.98576 | 3.17 | 6.30 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.382912 | 11.60 | 27.64 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.36576 | 155.12 | 56.74 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Impresión | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$145.04 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 200 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciado | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciado | 0.3 |
| Total | | 500 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.8 | 3.17 | 5.71 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.16 | 11.60 | 25.06 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.72 | 92.31 | 66.46 |
| Pavimentado | M3 | 0.72 | 4.62 | 3.32 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.72 | 0.86 | 0.62 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.72 | 15.80 | 11.37 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$147.15 |

B.3 CBR = 25%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 63.5 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 513.5 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.8486 | 3.17 | 5.87 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.21832 | 11.60 | 25.73 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.2286 | 155.12 | 35.46 |
| Riego de Liga | M2 | 0 | 1.28 | 0.00 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$116.79 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 190 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 490 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.764 | 3.17 | 5.60 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.1168 | 11.60 | 24.55 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.684 | 92.31 | 63.14 |
| Pavimentado | M3 | 0.684 | 4.62 | 3.16 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.684 | 0.86 | 0.59 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.684 | 15.80 | 10.80 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$142.44 |

C.- Clase T: 1,350 vehículos por. día

C.1 CBR = 3%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 190.5 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 640.5 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.3058 | 3.17 | 7.32 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.76696 | 11.60 | 32.10 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.6858 | 155.12 | 106.38 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$200.15 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 240 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 540 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.944 | 3.17 | 6.17 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.3328 | 11.60 | 27.06 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.864 | 92.31 | 79.75 |
| Pavimentado | M3 | 0.864 | 3.82 | 3.30 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.864 | 0.86 | 0.74 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.864 | 15.80 | 13.65 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$165.28 |

C.2 CBR = 10%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|-----------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 127 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 577 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.0772 | 3.17 | 6.59 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.49264 | 11.60 | 28.91 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.4572 | 155.12 | 70.92 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$160.78 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|-----------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 240 | | |
| | | | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 540 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.944 | 3.17 | 6.17 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.3328 | 11.60 | 27.06 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.864 | 92.31 | 79.75 |
| Pavimentado | M3 | 0.864 | 3.82 | 3.30 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.864 | 0.86 | 0.74 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.864 | 15.80 | 13.65 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$165.28 |

C.3 CBR = 25%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|-----------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 88.9 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 538.9 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.94004 | 3.17 | 6.16 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.328048 | 11.60 | 27.01 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.32004 | 155.12 | 49.64 |
| Riego de Liga | M2 | 0 | 1.28 | 0.00 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$132.54 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|-----------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 230 | | |
| | | | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 530 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.908 | 3.17 | 6.05 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.2896 | 11.60 | 26.56 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.828 | 92.31 | 76.43 |
| Pavimentado | M3 | 0.828 | 3.82 | 3.16 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.828 | 0.86 | 0.71 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.828 | 15.80 | 13.08 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$160.60 |

D.- Clase T: 2,250 vehículos por día

D.1 CBR = 3%

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|----------|---------|-----------------|
| | Ancho de Calzada (m) | | 3.6 | |
| | Nro de calzadas | | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | 203.2 | | | |
| Base Negra Nivelante | 0 | | | |
| Base granular | 150 | | | |
| Sub-base | 300 | | | |
| Relleno común | 0 | | | |
| Total | 653.2 | | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.35152 | 3.17 | 7.46 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.821824 | 11.60 | 32.73 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.73152 | 155.12 | 113.47 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$208.02 |

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|---------------------|---------|-----------------|
| | Ancho de Calzada (m) | | 3.6 | |
| | Nro de calzadas | | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 | |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | 270 | Junta cada | 4.5 | |
| | | Acero Corrugado (m) | 0.8 | |
| Base granular | 0 | Espaciamineto | 0.8 | |
| Sub-base | 300 | Acero liso (m) | 0.45 | |
| Relleno común | 0 | Espaciamineto | 0.3 | |
| Total | 570 | | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.052 | 3.17 | 6.51 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.4624 | 11.60 | 28.56 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.972 | 92.31 | 89.72 |
| Pavimentado | M3 | 0.972 | 4.62 | 4.49 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.972 | 0.64 | 0.62 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.972 | 23.67 | 23.01 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$187.52 |

D.2 CBR = 10%

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|----------|---------|-----------------|
| | Ancho de Calzada (m) | | 3.6 | |
| | Nro de calzadas | | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | 139.7 | | | |
| Base Negra Nivelante | 0 | | | |
| Base granular | 150 | | | |
| Sub-base | 300 | | | |
| Relleno común | 0 | | | |
| Total | 589.7 | | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.12292 | 3.17 | 6.74 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.547504 | 11.60 | 29.55 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.50292 | 155.12 | 78.01 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$168.66 |

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|---------------------|---------|-----------------|
| | Ancho de Calzada (m) | | 3.6 | |
| | Nro de calzadas | | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 | |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | 260 | Junta cada | 4.5 | |
| | | Acero Corrugado (m) | 0.8 | |
| Base granular | 0 | Espaciamineto | 0.8 | |
| Sub-base | 300 | Acero liso (m) | 0.45 | |
| Relleno común | 0 | Espaciamineto | 0.3 | |
| Total | 560 | | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.016 | 3.17 | 6.40 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.4192 | 11.60 | 28.06 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.936 | 92.31 | 86.40 |
| Pavimentado | M3 | 0.936 | 4.62 | 4.32 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.936 | 0.64 | 0.59 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.936 | 23.67 | 22.16 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$182.54 |

D.3 CBR = 25%

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|----------|---------|---------------|
| | Ancho de Calzada (m) | | 3.6 | |
| | Nro de calzadas | | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 114.3 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 564.3 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.03148 | 3.17 | 6.45 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.437776 | 11.60 | 28.28 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.41148 | 155.12 | 63.83 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$152.91 |

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|---------------------|---------|---------------|
| | Ancho de Calzada (m) | | 3.6 | |
| | Nro de calzadas | | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 | |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | 250 | Junta cada | 4.5 | |
| | | Acero Corrugado (m) | 0.8 | |
| Base granular | 0 | Espaciamineto | 0.8 | |
| Sub-base | 300 | Acero liso (m) | 0.45 | |
| Relleno común | 0 | Espaciamineto | 0.3 | |
| Total | 550 | | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 1.98 | 3.17 | 6.28 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.376 | 11.60 | 27.56 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.9 | 92.31 | 83.08 |
| Pavimentado | M3 | 0.9 | 4.62 | 4.15 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.9 | 0.64 | 0.57 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.9 | 23.67 | 21.31 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$177.56 |

E.- Clase T: 3750 veh X día

E.1 CBR = 3%

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|----------|---------|---------------|
| | Ancho de Calzada (m) | | 3.6 | |
| | Nro de calzadas | | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 228.6 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 678.6 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.44296 | 3.17 | 7.75 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.931552 | 11.60 | 34.01 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.82296 | 155.12 | 127.65 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$223.77 |

| CONSTRUCCION INICIAL | TRAMO | | | |
|--|----------------------|---------------------|---------|---------------|
| | Ancho de Calzada (m) | | 3.6 | |
| | Nro de calzadas | | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 | |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | 290 | Junta cada | 4.5 | |
| | | Acero Corrugado (m) | 0.8 | |
| Base granular | 0 | Espaciamineto | 0.8 | |
| Sub-base | 300 | Acero liso (m) | 0.45 | |
| Relleno común | 0 | Espaciamineto | 0.3 | |
| Total | 590 | | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.124 | 3.17 | 6.74 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.5488 | 11.60 | 29.57 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 1.044 | 92.31 | 96.37 |
| Pavimentado | M3 | 1.044 | 4.62 | 4.82 |
| Alisado, acabado | M3 | 1.044 | 0.64 | 0.66 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 1.044 | 23.67 | 24.72 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$197.48 |

E.2 CBR = 10%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 165.1 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 615.1 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.21436 | 3.17 | 7.03 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.657232 | 11.60 | 30.82 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.59436 | 155.12 | 92.19 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$184.40 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 280 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 580 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.088 | 3.17 | 6.63 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.5056 | 11.60 | 29.06 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 1.008 | 92.31 | 93.05 |
| Pavimentado | M3 | 1.008 | 4.62 | 4.65 |
| Alisado, acabado | M3 | 1.008 | 0.64 | 0.64 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 1.008 | 23.67 | 23.86 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$192.50 |

E.3 CBR = 25%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 127 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 577 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.0772 | 3.17 | 6.59 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.49264 | 11.60 | 28.91 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.4572 | 155.12 | 70.92 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$160.78 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 270 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 570 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.052 | 3.17 | 6.51 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.4624 | 11.60 | 28.56 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 0.972 | 92.31 | 89.72 |
| Pavimentado | M3 | 0.972 | 4.62 | 4.49 |
| Alisado, acabado | M3 | 0.972 | 0.86 | 0.83 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 0.972 | 15.80 | 15.35 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$180.08 |

F.- Clase T: 4,550 vehículos por día

F.1 CBR = 3%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|-----------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 241.3 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 691.3 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.48868 | 3.17 | 7.90 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.986416 | 11.60 | 34.64 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.86868 | 155.12 | 134.75 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$231.64 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|-----------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 290 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 590 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.124 | 3.17 | 6.74 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.5488 | 11.60 | 29.57 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 1.044 | 92.31 | 96.37 |
| Pavimentado | M3 | 1.044 | 4.62 | 4.82 |
| Alisado, acabado | M3 | 1.044 | 0.64 | 0.66 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 1.044 | 23.67 | 24.72 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$197.48 |

F.2 CBR = 10%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|-----------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 177.8 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 627.8 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.26008 | 3.17 | 7.17 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.712096 | 11.60 | 31.46 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.64008 | 155.12 | 99.29 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$192.28 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|-----------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 280 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 580 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.088 | 3.17 | 6.63 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.5056 | 11.60 | 29.06 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 1.008 | 92.31 | 93.05 |
| Pavimentado | M3 | 1.008 | 4.62 | 4.65 |
| Alisado, acabado | M3 | 1.008 | 0.64 | 0.64 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 1.008 | 23.67 | 23.86 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$192.50 |

F.3 CBR = 25%

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | | |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | | 139.7 | | |
| Base Negra Nivelante | | 0 | | |
| Base granular | | 150 | | |
| Sub-base | | 300 | | |
| Relleno común | | 0 | | |
| Total | | 589.7 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.12292 | 3.17 | 6.74 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.547504 | 11.60 | 29.55 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Base Granular | M2 | 3.6 | 4.16 | 14.97 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Carpeta Asfáltica en Caliente PEN 60/70 | M3 | 0.50292 | 155.12 | 78.01 |
| Riego de Liga | M2 | 3.6 | 1.28 | 4.62 |
| Imprimación | M2 | 3.6 | 1.34 | 4.83 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$168.66 |

| CONSTRUCCION INICIAL | | TRAMO | | |
|--|--------|----------------------|---------------------|---------------|
| | | Ancho de Calzada (m) | 3.6 | |
| | | Nro de calzadas | 1 | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | | ESPESOR (mm) | Long.(Km) | 50000 |
| Carpeta de Concreto MR = 45 | | 280 | Junta cada | 4.5 |
| | | | Acero Corrugado (m) | 0.8 |
| Base granular | | 0 | Espaciamineto | 0.8 |
| Sub-base | | 300 | Acero liso (m) | 0.45 |
| Relleno común | | 0 | Espaciamineto | 0.3 |
| Total | | 580 | | |
| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | UNIDAD | CANTIDAD | PU \$/. | COSTO \$ X ML |
| Corte a nivel de subrasante | M3 | 2.088 | 3.17 | 6.63 |
| Eliminación Material exedente | M3 | 2.5056 | 11.60 | 29.06 |
| Nivelación y compactación de la Subrasante | M2 | 3.6 | 1.05 | 3.77 |
| Sub-base | M2 | 3.6 | 7.27 | 26.17 |
| Concreto MR 45 | M3 | 1.008 | 92.31 | 93.05 |
| Pavimentado | M3 | 1.008 | 4.62 | 4.65 |
| Alisado, acabado | M3 | 1.008 | 0.64 | 0.64 |
| Curado de juntas | M2 | 3.6 | 0.35 | 1.27 |
| Canastillas con Dowels y barras de amarre | M3 | 1.008 | 23.67 | 23.86 |
| Corte de Juntas | ML | 1.3 | 1.35 | 1.75 |
| Sellado de Juntas 2.0X1.0 cm | ML | 1.3 | 1.27 | 1.65 |
| Total costo x ml x calzada | | | | \$192.50 |

5.4 Matriz de costeo

Utilizando la misma lógica de los pavimentos equivalentes presentados en la tabla 5.1, se ordena el costeo por tipo de pavimento sustentado en la tabla 3.2 siguiente:

Tabla 5.2 Matriz de costos para pavimentos equivalentes (US\$)

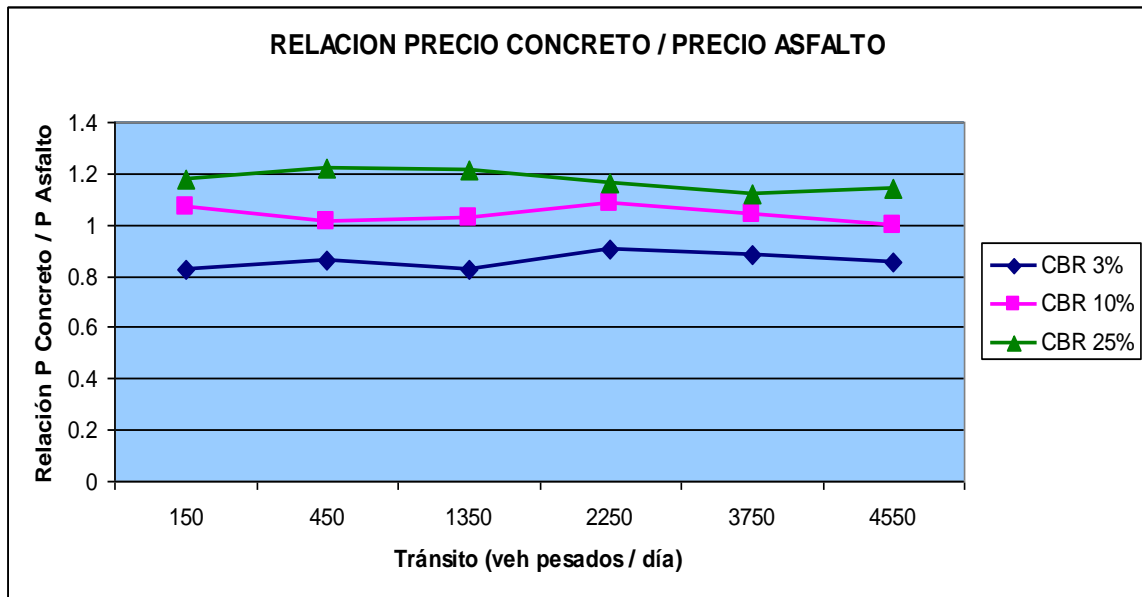
| num. Veh pes x día / CBR Subrasante | Matriz de costos de construcción en US (\$) | | | | | |
|-------------------------------------|---|---------|---------|----------|---------|---------|
| | Asfalto | | | Concreto | | |
| | 3% | 10% | 25% | 3% | 10% | 25% |
| 150 | 160.784 | 124.666 | 108.92 | 133.036 | 133.036 | 128.332 |
| 450 | 176.531 | 145.038 | 116.793 | 151.853 | 147.149 | 142.445 |
| 1350 | 200.151 | 160.784 | 132.54 | 165.278 | 165.278 | 160.603 |
| 2250 | 208.025 | 168.658 | 152.911 | 187.519 | 182.539 | 177.559 |
| 3750 | 223.771 | 184.405 | 160.784 | 197.478 | 192.498 | 180.077 |
| 4550 | 231.645 | 192.278 | 168.658 | 197.478 | 192.498 | 192.498 |

Elaboración propia

5.5 Evaluación de resultados

Finalmente, con la tabla 3.1, se puede comparar costos relativos de construcción para pavimentos equivalentes.

Gráfico 5.1 Evaluación comparativa de costos



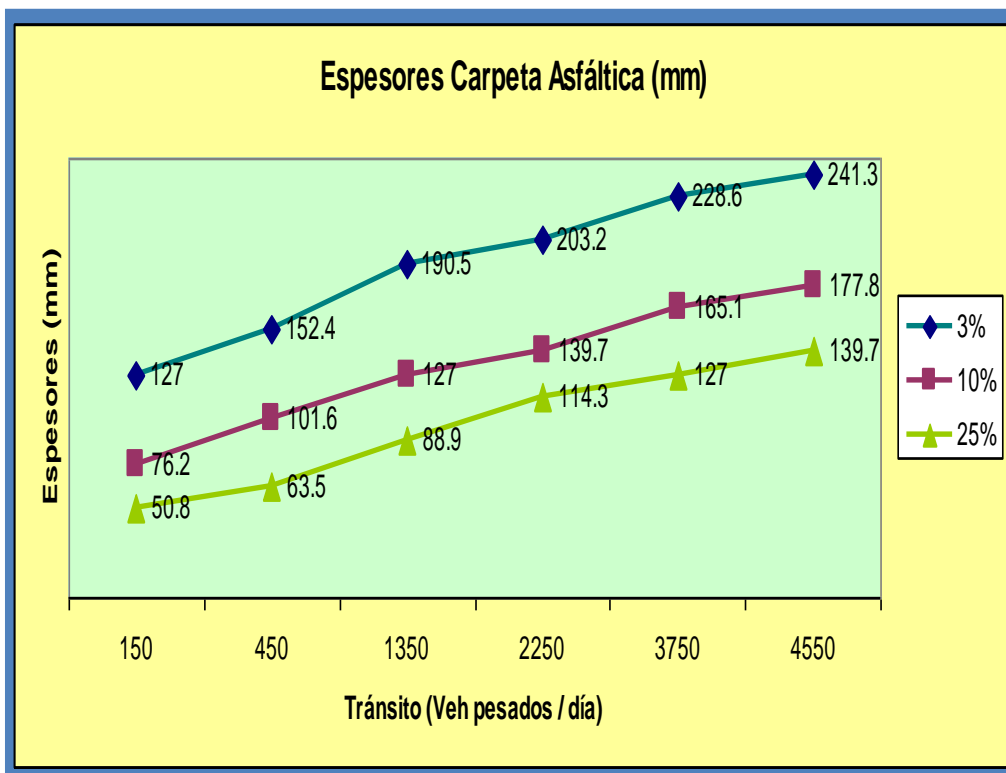
Elaboración propia

- La línea verde indica que el pavimento de concreto es 20% más costoso cuando se tiene un suelo de excelentes condiciones, superior al 25%.
- La línea rosada indica que el pavimento de concreto y el de asfalto tienen prácticamente el mismo costo para condiciones de suelo con CBR de 10%.
- La línea azul indica que el pavimento de concreto es 20% menos costoso que asfáltico para condiciones de suelo bueno de CBR 3%.

Conclusiones

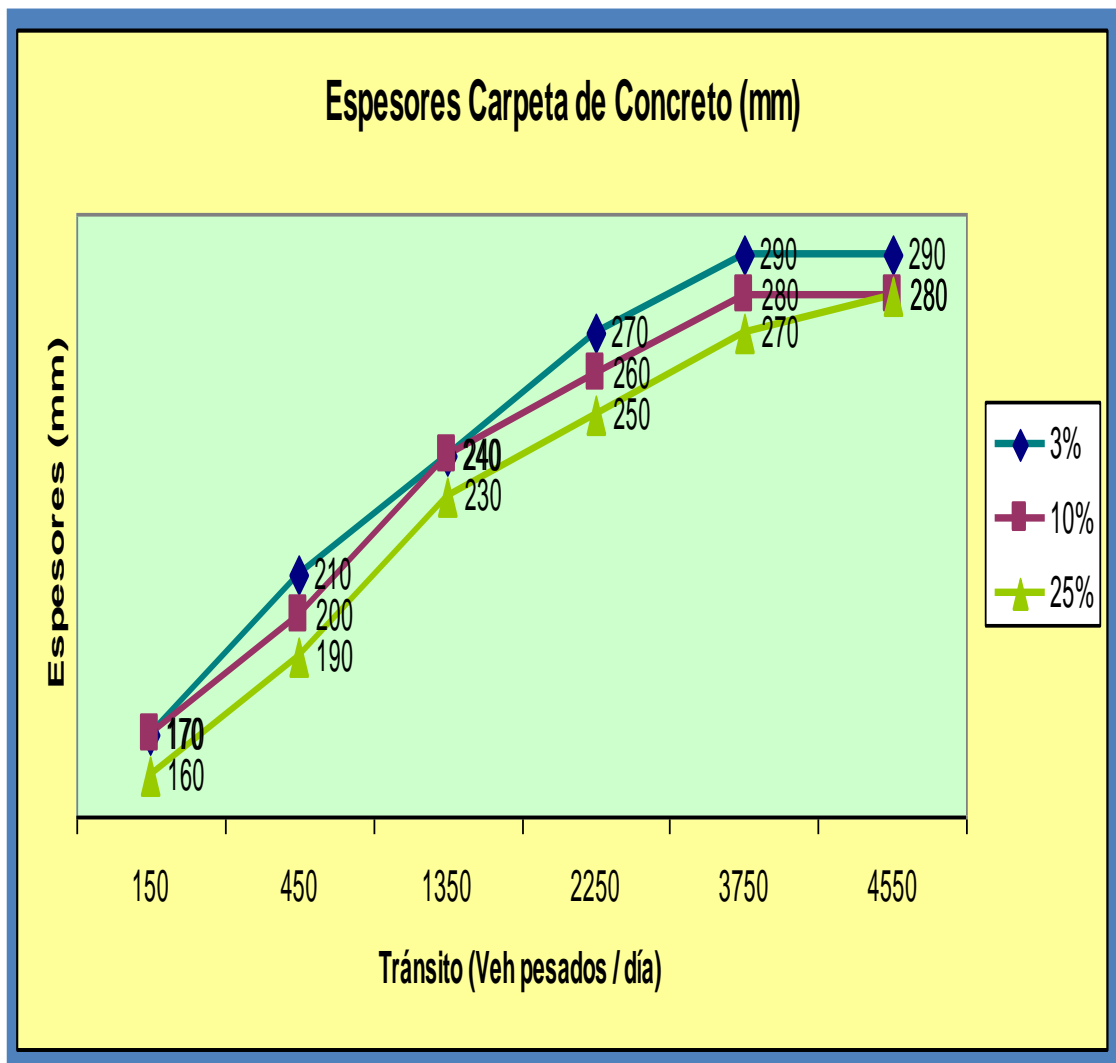
- Como se puede observar en los gráficos C.1 y C.2, ambos pavimentos tienden a incrementar espesores a medida que el tránsito aumenta y que el suelo empeora.

Gráfico C.1: Resultados de diseño AASHTO 93 – FLEXIBLE (ASFALTO)



Fuente: elaboración propia

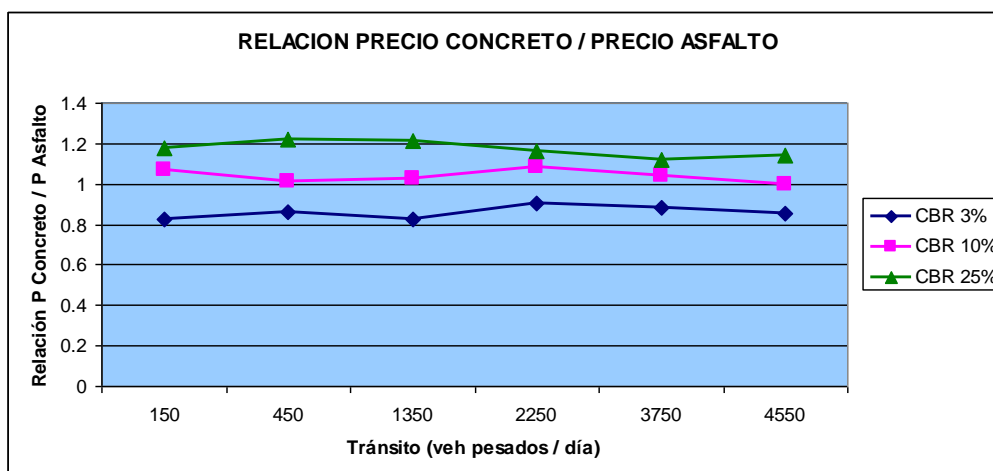
Gráfico C.2: Resultado de diseño AASHTO 93 – RÍGIDO (CONCRETO)



Fuente: elaboración propia

- Sin embargo, resulta interesante ver como AASHTO 93 castiga a los espesores de pavimentos flexibles si están expuestos a subrasantes con CBR bajos.
- Los pavimentos rígidos, son menos susceptibles a los valores de CBR, pero se comportan bien, bajo condiciones estables de suelos de fundación.
- En cuanto al análisis económico, que establece una comparación relativa de costos de inversión (construcción inicial), entre alternativas equivalentes de pavimentos flexibles y rígidos se puede ver una variación entre ellos de +/- 20% (ver gráfico 5.1).

Gráfico C.3 Evaluación comparativa de costos



Fuente: elaboración propia

- En lo que respecta a evaluación de resultados, a partir del análisis desarrollado en los capítulos anteriores, la comparación entre pavimentos de asfalto y de concreto permite concluir:

- Ambas alternativas de pavimentación presentan buenos resultados, sin embargo, la brecha de conocimientos y tecnológica hace que no se aprovechen las ventajas de los pavimentos rígidos.
- Para afrontar los retos futuros, se requiere un trabajo de capacitación y generación de data de largo plazo.
- Los pavimentos de concreto, para condiciones de suelo con CBR de 3% (malo), son más económicos.
- Los pavimentos de asfalto, para condiciones de suelo con CBR de 25% (buenos), son más económicos.
- Los pavimentos de concreto con suelos con CBR del orden de 10% presentan costos similares a los de asfalto.
- En general, la variación de costos para pavimentos equivalentes, diseñados con AASHTO 93 y construidos con tecnologías equivalentes, está por el orden de más o menos 20% dependiendo de las condiciones de suelo y tránsito.
- Esta comparación se limita sólo a los costos de construcción para pavimentos equivalentes de asfalto y concreto, por lo que sería interesante que otra tesis posterior analice los resultados en el ciclo de vida.

Bibliografía

- **LONDOÑO, Cipriano**, “Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto”, Instituto Colombiano de Productores de Cemento
- **MONTEJO FOSECA, Alfonso**, “Ingeniería de Pavimentos para Carreteras”, Universidad Católica de Colombia, 2º Edición
- **ESCUELA DE INGENIERÍA DE CAMINOS DE MONTAÑA**, “Texto de Curso de Diseño de Vías II: Pavimentos de Concreto”, Universidad San Juan de Argentina.