

Selección técnico económica de pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito



**Proyecto final de graduación para optar
por el grado de Licenciatura en Ingeniería
en Construcción**

Selección técnico económica de pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito

Abstract

The main objective of this project is to present a decision chart based on the point of view of the budget for the social interest urbanizations paving. The analysis done was about the actual information, the technical paving solutions, the use of geo-textiles, and the availability of those according to the economic possibility.

The study takes in consideration the use of different riding surfaces, such as asphalt, concrete tiles, and hydraulic concrete slabs, all of them with their respective design of thicknesses to have comparative parameters.

The done labor in the gathering of information and data has been arduous because there is almost no information in the country about such topics. Therefore, to obtain data and documents it was necessary to look for experts on the topic and to use documentation from Colombia and Chile.

From the obtained results, drawn in the charts, one can see directly the selective application according to the parameters to use.

In conclusion, generally there is a few or no national documentation that can be applied to the studied topic. However, this lack opens a window of interest to who desires to continue and develop some aspects or themes around this one that matters in this study.

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es presentar un cuadro de decisiones, desde los puntos de vista técnico y de costos, para la selección de pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito, con análisis en proyectos de interés social. El análisis realizado tomó en consideración la información existente, las soluciones técnicas de pavimentación, la aplicación de geotextiles y la viabilidad desde el punto de vista económico.

El estudio es comparativo, y contempla la utilización de superficies de rodamiento en asfalto, losas de concreto hidráulico y adoquines, con sus respectivos diseños de espesores, tanto para calles y estacionamientos como para aceras, alamedas, parques y plazoletas.

La labor desarrollada para obtener datos y documentos ha sido ardua, pues en el país no se encuentra mucha información sobre el tema. Así, para obtener datos y documentos, se ha recurrido a expertos sobre el tema y a informes provenientes de Colombia y Chile.

Con los resultados obtenidos, plasmados en los cuadros, se puede ver directamente la aplicación selectiva de acuerdo con los parámetros que se requieran aplicar.

La escasa o inexistente información disponible a nivel nacional sobre el tema deja abierta una ventana de interés para quienes deseen continuar y desarrollar estudios al respecto.

Selección técnico económica de pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito

Selección técnico económica de pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito

ING. FRANCISCO JAVIER CALVO PIEDRA

Julio del 2006

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN.....	4
METODOLOGÍA.....	5
MARCO TEORICO.....	6
RESULTADOS.....	26
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	41
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES.....	44
REFERENCIAS	48
APENDICES.....	49

Prefacio

Ante la importancia que reviste el tema de poder contar con un estudio veraz, técnico y de fácil manejo, relacionado con costos y técnicas de diseño y construcción de pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito, aplicable en general para la industria de la construcción, se extiende un agradecimiento por su valiosa colaboración en el aporte de información técnica a los Ingenieros Jorge Solano Jiménez y Roy Bogantes González, del ICCYC; al Ing. Ronald Naranjo, quien trabaja para la empresa AMANCO; al Ing. Leandro Arguedas, de Macaferri; al Ing. Roberto Méndez, de Distribuidora de Materiales Textiles Robal S. A., y demás personas e instituciones consultadas, quienes, de una u otra manera, dieron su valioso aporte al presente estudio, que tuvo como objetivo general desarrollar un cuadro de decisiones desde los puntos de vista técnico y de costos, para la selección de pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito., entre las que se incluyen las de interés social.

Resumen ejecutivo

Para poder habilitar una zona residencial es necesario culminar con la construcción de las obras de infraestructura urbanística, pudiendo realizarse al inicio, para la venta de lotes urbanizados o bien construyendo las obras de urbanización luego de construir las casas y hasta haciendo la infraestructura de los pavimentos previo al construcción de las casas y luego el acabado de rodadura. Este estudio aporta un cuadro de decisiones para facilitar la selección de la mejor alternativa técnica de pavimentos al menor costo, para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito, entre las que se incluyen las de interés social. El estudio considera tanto calles y estacionamientos, como aceras, plazoletas y parques.

El tema desarrollado va dirigido a instituciones estatales, desarrolladores, diseñadores y constructores privados, que estén avocados al desarrollo de proyectos de urbanizaciones en general, con bajo volumen de tránsito.

Para el logro del objetivo general de éste estudio, y para poder diseñar la estructura de los distintos pavimentos, se tomó como base la información técnica disponible a nivel nacional, la cual la poseen algunas instituciones, encontrándose que no se conoce, ni puede ser usada por usuarios terceros, también se basó en las experiencias de otros países de similares característica como Colombia, así como la información obtenida con la ayuda de expertos en la materia.

Con base en la información recopilada, se hicieron los diseños correspondientes para

calles, estacionamientos, aceras, plazoletas y parques, aplicables a proyectos urbanísticos de bajo volumen de tránsito. En los diseños se consideraron tres tipos de pavimentos: carpeta asfáltica, con dos tipos de subbase: granular y estabilizada con cal o con cemento, y un tipo de base: granular; adoquín, con base granular o estabilizada con cemento; y losa de concreto hidráulico de distintas resistencias, con base granular. En cada caso los diseños se hicieron para distintos tipos de suelo de subrasante, clasificados según su Valor Soporte de California (CBR); y para distintos tipos de tránsito, según los métodos de diseño seguidos. Posteriormente se elaboraron cuadros y matrices comparativas de costos para todas las soluciones indicadas, incluyendo mano de obra, materiales y costos indirectos. Los datos obtenidos se tabulan en forma de matriz para facilitar su uso. Uno a uno se desglosan los costos obteniendo una matriz por tipo de pavimento y en dos modalidades: por contrato y por autoconstrucción. Asimismo se desarrollaron cuadros de decisiones que permiten, en forma sencilla, comparar costos entre distintas soluciones, facilitando así la selección de la mejor opción de pavimento en función de las condiciones de tránsito y suelo de subrasante de cada proyecto.

Si se toma cualquiera de los cuadros estudiados como ejemplo, se puede ver reflejada, en forma sencilla, la influencia de las variables en el costo. Se puede deducir que, a un menor valor del Valor Soporte de California, CBR, y a una mayor exigencia en el tránsito, se requieren mayores espesores en las distintas capas de la estructura del pavimento y, consecuentemente, un mayor costo económico. Entonces, para el uso de las tablas el usuario deberá poseer noción del tránsito esperado para su proyecto y saber cuál es la capacidad soporte del suelo, medido mediante el CBR, para así obtener los resultados deseados de los cuadros o matrices.

EJEMPLO ILUSTRATIVO:

**CUADRO DE COSTOS, EN DOLARES ESTADOUNIDENSES (US\$)
POR METRO CUADRADO
ALTERNATIVA RODADURA ARENA-ASFALTO, BASE Y
SUBBASE GRANULARES, DE CUADRO 39**

Suelo(S) / Tránsito(T)	T1	T2	T3	CBR
S1	16,04	16,46	19,11	2
S2	14,78	16,04	16,46	3-5
S3	14,79	16,03	17,45	6-10
S4	11,26	13,56	14,79	11-20
S5	9,84	11,26	11,26	>20

Donde:

Clase de Tránsito	Número diario de vehículos pesados en el año inicial de servicio en el carril de diseño
T1	1-10 (Vías que sirven núcleos de no más de 500 habitantes).
T2	11-25 (Vías que sirven núcleos de hasta 2000 habitantes).
T3	26-50 (Vías que sirven núcleos de hasta 10 000 habitantes).

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito. República de Colombia.

El uso de geotextiles se plantea como una opción para los distintos tipos de pavimento estudiados, incluyéndose el cuadro de costos correspondiente. Su uso se basa en el deseo de mejorar la capacidad soporte del suelo, CBR, obteniéndose las siguientes ventajas principales:

- 1- Mejorar la capacidad soporte del suelo e impedir que los estratos de pavimento se contaminen con el suelo.
- 2- Reducir el espesor de la subbase y, por ende, de acuerdo con los datos obtenidos, reducir el costo de la solución del pavimento escogido.

Clasificación de la Subrasante	CBR (%)
S1	2
S2	3-5
S3	6-10
S4	11-20
S5	>20

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito. República de Colombia.

Introducción

Hoy, al igual que siempre, prevalece una lucha del costarricense por conseguir una vivienda digna en donde criar a sus hijos con seguridad y comodidad. A pesar de las colaboraciones brindadas por entes gubernamentales, privadas y extranjeras en pro de un hábitat sano, el problema de conseguir una vivienda se dificulta cada día más, debido a las limitaciones presupuestarias del Estado, la inmigración masiva de extranjeros, la baja capacidad adquisitiva de los beneficiarios y el incremento de la demanda.

Según fuentes del MIVAH, con datos proporcionados por la Fundación Promotora de Vivienda, FUPROVI, basados en el Instituto Nacional de Estudios Económicos, INEC, de la revista *“Compendio de estadísticas del sector vivienda y asentamientos humanos”*, de octubre de 2003, se observa que el déficit de vivienda persiste y afecta aproximadamente al 16.5% de las familias, a pesar del esfuerzo continuado del Estado por dotar de soluciones habitacionales a las familias de más bajos ingresos. Este esfuerzo, a su vez, requiere del desarrollo de la infraestructura urbanística correspondiente en lo que se refiere a calles, estacionamientos, alamedas, aceras, parques y plazoletas.

Todo esto obliga a buscar nuevas técnicas constructivas que permitan desarrollar urbanizaciones dignas y acordes con las necesidades de los usuarios y que conlleven al mejoramiento planificado del crecimiento urbano.

Es en este aspecto urbanístico en el que se enfoca el interés y esfuerzo de éste estudio: el de buscar soluciones de pavimentos técnica y económicamente viables, de calidad, durables, de bajo costo y accesibles a las comunidades de bajos recursos. Se hizo un análisis detallado de distintos tipos de pavimento, la relación de éstos con el clima tropical, el tipo de suelo y otros aspectos, así como del impacto del uso de membranas geotextiles en la estructura de dichos pavimentos.

La metodología utilizada en la investigación es de tipo técnico-empírica, pues está basada en experiencias profesionales, teoría de costos, libros, seminarios y otros documentos.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un cuadro de decisiones desde los puntos de vista técnico y de costos para la selección de pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito, considerando entre éstas las de interés social.

Objetivos específicos

- Analizar información existente sobre el tema para aplicarla a nuestro estudio.
- Analizar comparativamente, desde el punto de vista de su viabilidad técnico económica, distintos tipos de soluciones técnicas para pavimentos aplicables a urbanizaciones con bajo volumen de tránsito: concreto asfáltico, losas de concreto hidráulico y adoquines. Se consideran tanto calles como aceras, alamedas, parques y plazoletas.
- Considerar la aplicación de geotextiles en los distintos tipos de pavimento seleccionados, cotejando los costos con otras alternativas.
- Analizar la viabilidad, desde el punto de vista económico, de la participación de la comunidad en la faceta de fabricación y construcción de los pavimentos.

Metodología

Para el logro de los objetivos planteados se realizaron las siguientes acciones:

- Se realizaron una serie de reuniones con expertos en el campo de los pavimentos, hasta completar los diseños de los mismos en las oficinas de trabajo.
- Se realizó una revisión bibliográfica y consulta por Internet.
- Se analizaron las soluciones técnicas para pavimentos de concreto asfáltico, concreto hidráulico y adoquines para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito.
- Se hicieron visitas de campo a construcciones y plantas de fabricación.
- Se consultaron catálogos de fabricantes y distribuidores.
- Se analizó la aplicación de geotextiles, haciendo visitas a fabricantes y distribuidores para identificar las opciones de uso, costos, aplicaciones, ventajas y desventajas.
- Se visitaron instituciones gubernamentales y otras que están involucradas en el tema.

Cumplidos los pasos anteriores, se ordenó y seleccionó la información recopilada para luego hacer los diseños correspondientes con la ayuda de los profesionales especialistas en la materia.

Con los diseños e identificación de las variables que intervienen en el estudio, se procedió a cuantificar las cantidades de cada ítem estudiado, para luego hacer el cálculo de costos de cada variable y así obtener las tablas y matrices de costos para cada uno de los parámetros en estudio.

Marco Teórico

Para este estudio el diseño de los espesores de las capas de las secciones típicas que conforman los distintos tipos de pavimentos analizados: concreto asfáltico, losas de concreto hidráulico, y adoquines; para distintas aplicaciones: calles, estacionamientos, aceras, alamedas, parques y plazuelas, se obtuvieron de varias fuentes, considerando la poca información escrita disponible acerca del tema.

De esta forma, para los diseños de las secciones de los pavimentos asfálticos se utilizó el *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito de la República de Colombia*, ya que es un documento que refleja estudios serios acerca de las variables que dan origen a los parámetros de diseño de este tipo de pavimentos.

Para los pavimentos a base de losas de concreto hidráulico se recurrió a los diseños elaborados por expertos del Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto, ICCYC, específicamente de los Ingenieros Jorge Solano Jiménez y Roy Bogantes González.

Para las soluciones con adoquín se recurrió tanto al *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito de la República de Colombia*, como a la información técnica para diseño y aplicaciones disponible por parte de las casas comerciales que distribuyen este tipo de productos en el país, como Productos de Concreto (PC).

De igual manera, para los geotextiles se trabajó directamente con los manuales suministrados por las casas representantes del producto en el país.

Concreto asfáltico

Aplicable a calles y estacionamientos

De acuerdo con lo establecido en el manual de diseño colombiano mencionado, utilizando el método de conteo diario-anual de vehículos, los parámetros mínimos para determinar los espesores de diseño de los pavimentos de concreto asfáltico solo toman en cuenta el tránsito de vehículos pesados. Ver Cuadro 1:

CUADRO 1. CLASES DE TRÁNSITO DE DISEÑO	
Clase de Tránsito	Número diario de vehículos pesados en el año inicial de servicio en el carril de diseño
T1	1-10
T2	11-25
T3	26-50

Es de considerar que el Cuadro No. 1 solo toma en cuenta el llamado carril de diseño. El Cuadro 2 muestra la consideración en cuanto al ancho de calzada:

CUADRO 2. TRÁNSITO DE DISEÑO SEGÚN EL ANCHO DE LA CALZADA	
Ancho de Calzada	Tránsito de Diseño
Menor de 5 m	Total en los dos sentidos
Igual o mayor de 5 m. y menor de 6m	$\frac{3}{4}$ del total en los dos sentidos
Igual o mayor de 6 m	$\frac{1}{2}$ del total en los dos sentidos

De acuerdo con el Reglamento para el Control de Fraccionamientos y Urbanizaciones del Código Urbano de Costa Rica, Capítulo III, Urbanizaciones, apartados III, 2.4. y III, 2.6.4., las Vías Terciarias, o sea aquellas que sirven a 100 o menos unidades de vivienda o lotes, deben tener un ancho de calzada de 5.5 m. Este dato es determinante para este estudio.

Otra forma de estimar el tránsito es en función del número de habitantes que sirve la vía, como se muestra el Cuadro 3, que también

se puede traducir a cantidad de viviendas servidas.

CUADRO 3. DETERMINACIÓN DE LA CLASE DE TRÁNSITO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VÍA	
Clase de tránsito	Tipo de vía
T1	Vía que sirve núcleos de no más de 500 habitantes
T2	Vía que sirve núcleos hasta de 2000 habitantes
T3	Vía que sirve núcleos hasta de 10000 habitantes

El volumen de vehículos en una vía de bajo tránsito deberá ser estimado o medido durante el año, para tener parámetros de conteo específico, ya que no existen, o conocen estadísticas en Costa Rica al respecto.

Como para efectos de diseño el tránsito requerido es el correspondiente al periodo de diseño, el valor medido en los cálculos deberá proyectarse hasta el término de la vida útil. Se debe de considerar la posibilidad de construcción de las casas antes, paralelo o posterior a la obra urbanística. Para ello se debe tomar una tasa de proyección representativa de las vías de la región; pero, en ausencia de ella, el manual

colombiano sugiere adoptar valor de crecimiento de entre 2 y 3% anual.

Subrasante

La subrasante es el estrato de suelo natural de la zona, compactada en sus 15 a 30 cm. superiores del suelo, en el cual se apoyaría toda la estructura del pavimento. Es necesario que el ingeniero diseñador haga un análisis preliminar del suelo en cuanto a su granulometría, plasticidad y clasificación, para poder estimar las demás propiedades que interesen. No debe dejarse de lado el análisis del contenido de humedad natural del suelo, ya que esta propiedad es de suma importancia en el proceso de construcción.

El estudio preliminar en cuestión se basa en la clasificación del suelo según el sistema de la *American Association of State Highways and Transportation Officials, AASHTO*, de los Estados Unidos.

Como se mencionó, la resistencia del suelo de subrasante se ve afectada por la humedad. Por lo tanto, el modelo propuesto para este estudio establece 3 categorías de subrasante de acuerdo con este parámetro, según se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO 4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES DE HUMEDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE SU RESISTENCIA	
<p>(1) NIVEL FREÁTICO MUY CERCANO A LA SUPERFICIE, EL CUAL CONTROLA LA HUMEDAD DE LA SUBRASANTE</p> <p>SUPERFICIE</p> <p>1 m</p> <p>Suelos NP</p> <p>3 m</p> <p>Arcillas arenosas IP < 20</p> <p>7 m</p> <p>Arcillas pesadas IP > 40</p>	<p>HUMEDAD PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA</p> <p>A partir de la relación</p> $\frac{W}{L P}$ <p>Mediante relación entre succión y humedad, conociendo NF.</p>
<p>(2) NIVEL FREÁTICO PROFUNDO DONDE LA LLUVIA ES SUFICIENTE PARA PRODUCIR CAMBIOS SIGNIFICATIVOS DE HUMEDAD EN LA SUBRASANTE (Precipitación > 250 mm/año)</p>	<p>Óptima del Proctor estándar.</p>
<p>(3) NIVEL FREÁTICO PROFUNDO DONDE EL CLIMA ES SECO Y LA LLUVIA ES ESCASA (Precipitación = 250 mm/año)</p>	<p>0.8 óptima del Proctor estándar.</p>

NOTA: Si no se garantiza una adecuada protección del pavimento (impermeabilidad), la resistencia se hallará en condición saturada en los casos (1) y (2) y con la humedad óptima del Proctor estándar en el (3).

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito de la República de Colombia.

Densidad de la Subrasante

En apego a las normas para construcción y laboratorio de materiales del CR-77 o bien el CR-2002, existen diferentes procedimientos para determinar, a priori, la densidad de la subrasante. Salvo circunstancias especiales, resulta suficiente considerar una densidad equivalente al 95% de la máxima densidad del ensayo de compactación Próctor Modificado (Normas ASTM D-155t y AASHTO T-180).

Para este estudio se empleó el ensayo CBR (Valor Soporte de California) con el fin de determinar la resistencia de los suelos, la cual se puede obtener por medición directa (norma de ensayo ASTM D-1883), o empleando el penetrómetro dinámico de cono, cuyos resultados pueden extrapolarse a través de la expresión:

$$\text{CBR} = 567 (\text{ND}) - 1,40.$$

Donde ND es el número dinámico o pendiente de la recta de penetración del dispositivo dentro del suelo (mm/golpe). Dichos resultados serán confiables siempre y cuando se tenga control de la humedad y densidad, y estos se mantengan similares después de construido el pavimento.

Este estudio considera solamente suelos con CBR mayor o igual a 2, ya que para valores inferiores se requiere de tratamientos especiales.

El Cuadro 6 muestra la clasificación de los suelos de subrasante según su valor soporte.

CUADRO 5. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE SUBRASANTE	
Clasificación de la subrasante	CBR (%)
S1	2
S2	3-5
S3	6-10
S4	11-20
S5	>20

Cuando se está en presencia de suelos tipo S1, S2 y algunos S3, se puede mejorar la capacidad soporte de la subrasante mediante la incorporación, en la capa superior del suelo, de algún agente cementante o estabilizante, como el cemento hidráulico, la cal o aditivos comerciales, o utilizando una capa de material de mejor

calidad, con un tamaño máximo de agregado de 75 mm.

Subbase granular

Directamente sobre la subrasante se coloca la subbase. La subbase granular está compuesta de material granular, fracturado mecánicamente o con caras rugosas irregulares para que produzcan un efectivo rozamiento interno entre sí y prevengan deformaciones.

El modelo de diseño seguido en este estudio considera aceptable el material granular para subbases que cumple con los requisitos establecidos por el *Transport Research Laboratory*, según se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO 6. CARACTERÍSTICAS DE PLASTICIDAD PARA SUBBASES GRANULARES			
Clima	Límite Líquido	Índice Plástico	Contracción Lineal
Tropical húmedo y lluvioso	< 45	< 6	< 3
Tropical con lluvias estacionales	< 45	< 12	< 6
Árido y semiárido	< 55	< 20	< 10

Fuente: *Transport Research Laboratory*.

Ante falta de experimentación o de comprobación, los materiales de subbase deben cumplir con los siguientes requisitos en cuanto a sus propiedades generales:

- Equivalente de arena > 25
- Desgaste Los Ángeles < 50

CUADRO 7. REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA SUBBASES		
Granulometría	Tamiz	% Pasa
	2"	100
	1½"	80-100
	¾"	60-100
	½"	50-100
	3/8"	45-90
	Nº 4	35-80

	Nº 10	23-65
	Nº 40	12-45
	Nº 200	5-25

Fuente: *Transport Research Laboratory.*

Base Granular

Los materiales de la base deben ser de mejor calidad que los de la subbase. Los agregados triturados de alta calidad son los más recomendables, aunque también se permite el empleo de materiales naturales cuya fracción gruesa tenga al menos 40% de partículas con caras angulares o irregulares.

El mejor comportamiento se obtiene cuando el material elaborado presenta índices de aplanamiento y alargamiento inferior al 35%; desgaste de Los Ángeles menor de 40; equivalente de arena superior a 30; Índice Plástico inferior a 6; productos plásticos (% pasa No. 200 x Índice Plástico) no superior a 60; y CBR no inferior al 80%, al 100% de compactación con respecto al ensayo Próctor Modificado.

En este sentido, las bases granulares recomendadas según las especificaciones generales de construcción de carreteras colombianas, deben cumplir con los requisitos establecidos en el Cuadro No. 8.

CUADRO 8. FRANJAS GRANULOMÉTRICAS PARA BASE GRANULAR		
Tamiz	Porcentaje que pasa	
	BG-1	BG-2
1 1/2"	100	-
1"	70-100	100
3/4"	60-90	70-100
3/8"	45-75	50-80
4	30-60	35-65
10	20-45	20-45
40	10-30	10-30
200	5-15	5-15

La construcción, tanto de las subbases como de las bases, se debe realizar por medios mecánicos: extender el material con moto niveladora; obtener la humedad óptima de compactación; compactar las capas utilizando rodillos vibratorios o mixtos; y proteger la superficie mientras se coloca la carpeta de rodamiento.

Estabilización de suelos. Subbases y bases

La estabilización es un proceso mediante el cual se trata de modificar un suelo o un agregado procesado para hacerlo apto o mejorar su comportamiento como material constitutivo de un pavimento. El proceso busca, fundamentalmente, aumentar la capacidad soporte del material y hacerlo menos sensible a la acción del agua. En ocasiones el objetivo es también que el material alcance alta rigidez y, en consecuencia, tenga capacidad para absorber tensiones de tracción.

De acuerdo con el proceso que se aplique para modificar el suelo, la estabilización puede ser mecánica o con aditivos.

La estabilización mecánica consiste en el mejoramiento del suelo mediante la mezcla con otros materiales de mejores propiedades.

La estabilización con aditivos se da por medio de la incorporación de productos que modifican sus propiedades físicas o químicas, para aprovechar así al máximo los materiales locales. A diferencia de la estabilización mecánica, la estabilización con aditivos no necesita importar materiales con mejores propiedades. La estabilización mecánica se suele utilizar cuando los materiales locales son de muy baja calidad.

Por costumbre y menor costo los agentes más utilizados son la cal, el cemento y la emulsión asfáltica, aunque se pueden utilizar otros, como escorias de altos hornos, cenizas volantes, aceites sulfonados, enzimas orgánicas, cloruros y otros más.

Para efectos de este estudio se utilizaron en los análisis dos de los agentes estabilizantes más comunes: la cal y el cemento; coincidiendo en este caso con las normas de uso de países como Colombia, Chile, Australia, USA y otros. Es recomendable que la resistencia a la compresión de las bases esté entre 15 y 30 kg/cm², y para las subbases entre 7,5 y 15 kg/cm², tanto con cal como con cemento. Así lo estipula el *Transport Research Laboratory, Berkshire, United Kingdom, 1993*, ilustrado en el *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito. República de Colombia.*

El comportamiento de la estabilización con cal es inferior que el efectuado con cemento. Sin embargo se puede mezclar una parte de ceniza volantes puzolánicas con tres o cuatro

partes de cal, obteniéndose estabilizaciones de suelos granulares de similar comportamiento al de los tratados con cemento. La proporción de las mezclas debe obedecer a diseños y pruebas de laboratorio.

De acuerdo con el criterio de expertos nacionales, en Costa Rica se vienen aplicando proporciones de 160 kg de agente cementante por m³ de material granular, cuando se usa cal, (Cal industrializada par fines constructivos con control de calidad) y de 115 kg/m³, cuando se usa cemento. Ambos medidos en estado suelto.

Por otra parte, en Costa Rica los valores usuales de contenido de cemento por peso son de 6,5% para suelo fino y 5% para suelos granulares.

Las estabilizaciones con cemento y con cal requieren, luego de la compactación, de la aplicación de un riego de curado, tanto para asegurar que la capa retenga suficiente humedad para que el estabilizante continúe su proceso de hidratación, como para reducir la contracción de la capa compactada e impedir la carbonatación de su parte superior. Esta precaución es más importante entre más seco y caliente sea el clima de la región donde se trabaja.

Posteriormente a la conformación de la base, y antes de colocar la capa de rodamiento, se procede a la aplicación de riegos de liga tipo CRL-0 o emulsión CRL-I, diluida en agua hasta alcanzar una concentración del 40%, o asfalto líquido tipo MC-70, utilizando de 600 a 900 gramos de asfalto residual por m² de superficie.

También se emplea un riego de liga a base de emulsión CRR-1 ó CRR-2 en cantidad de 400 y 500 gramos por m² para ligar la última capa con la de rodamiento.

En el caso de que se desee permitir el paso del tránsito en forma temporal antes de proceder a colocar la carpeta de rodamiento, se debe colocar una capa de riego de curado con emulsión CRR-I ó CRR-2, con dosificación de 600 a 800 gr/m², sobre el que se debe colocar una leve capa de arena superficial.

Carpeta asfáltica como capa de rodamiento

La carpeta asfáltica es una combinación de agregados pétreos con ligante bituminoso, efectuada en planta. Existen 2 tipos de mezclas asfálticas: las elaboradas en caliente empleando

cemento asfáltico y las preparadas en frío utilizando emulsión asfáltica.

La posibilidad de agrietamiento de las carpetas asfálticas al ser colocadas sobre bases estabilizados con conglomerantes hidráulicos, así como la gran deformabilidad de los pavimentos flexibles convencionales constituidos para servir bajos volúmenes de tránsito, hacen inconveniente la colocación de capas de rodamiento constituidas por mezclas muy rígidas, máxime si se tiene en cuenta que, de acuerdo con la mecánica de las calzadas, la mayor susceptibilidad al agrietamiento de estas mezclas asfálticas se presenta cuando su espesor es inferior a 80 mm. Esto implica la necesidad práctica de utilizar mezclas especialmente flexibles, preferentemente de las clases abierta en frío o cerrada en caliente, del tipo arena-asfalto con un elevado contenido de ligante.

Mezclas abiertas en frío

Las mezclas abiertas en frío son combinaciones de agregados predominantemente gruesos y de granulometría uniforme con un producto bituminoso.

Por el momento no existe ningún procedimiento de diseño confiable que se base en criterios de resistencia, debido a la insuficiente resistencia tensional de la mezcla para ensayos de estabilidad. En la mayoría de las mezclas el contenido óptimo de emulsión relacionado con el peso seco de los agregados se encuentra entre 5,0% y 7,5%.

Mezclas de arena-asfalto en caliente

Entre la gran variedad de mezclas susceptibles de ser elaboradas en caliente, cuyo comportamiento difiere esencialmente dependiendo de la granulometría de los agregados utilizados, se consideró solo el uso de aquellas cuya granulometría fina y elevada cantidad de asfalto dan lugar a una capa de enorme flexibilidad más que de gran estabilidad, adaptada al comportamiento elástico de las estructuras de las cuales van a formar parte.

El agregado debe ser una mezcla de arena natural y arena manufacturada. El diseñador deberá escoger la proporción en que se han de mezclar, combinando satisfactoriamente las características de estabilidad y de flexibilidad de la mezcla, así

como garantizando una adecuada adhesión entre las llantas y el pavimento. Las partículas deberán ser duras y limpias; el equivalente de arena deberá ser cuando menos del 50%; las pérdidas en la prueba de solidez en sulfato de sodio no podrán exceder el 12%. El material que haga las veces de llenante, conocido también como "filler" (pasa tamiz 200), deberá presentar un coeficiente de emulsibilidad menor de 0,6, y su densidad aparente, medida por sedimentación en tolueno, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 gr/cm³. En cuanto a la distribución granulométrica del agregado, la norma ASTM D-3515 recomienda la mostrada en el Cuadro No. 9.

CUADRO 9. GRANULOMETRÍA PARA ARENA ASFALTO	
Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8"	100
4	80-100
8	65-100
16	45-80
30	25-60
50	7-40
100	3-20
200	2-10

Fuente: ASTM D-3515.

El asfalto a utilizar debe ser del tipo cemento asfáltico de grado de penetración 60-70 si la temperatura ambiente es igual o superior a 24° Celsius, y 80-100 para temperaturas inferiores.

Es recomendable que la compactación de las mezclas asfálticas se realice con rodillos lisos ligeros y rodillos neumáticos de alta presión. El uso de compactadores vibratorios no resulta necesario, en razón de los reducidos espesores de las capas asfálticas en los pavimentos construidos para servir a bajos volúmenes de tránsito.

Cuando se alcanza el período de diseño del proyecto estructural, se supone que está llegando al índice de utilidad terminal. En este caso es necesario rehabilitar la estructura para un nuevo ciclo utilizando riego de liga más 5 cm de carpeta de rodamiento en caliente o bien darle un uso de reciclamiento de carpeta.

El proyecto de pavimento con concreto asfáltico considera un período de diseño de 10 años. Para extenderlo a 20 años se requiere de rehabilitación.

Adoquines

Aplicable a calles y estacionamientos, aceras, plazoletas y parques

Los pavimentos de adoquines de concreto se conocen, entre otros, como de tipo articulado. Están compuestos por una capa de arena, los adoquines y un sello también de arena como fragua.

Deben tener además un confinamiento que evite el desplazamiento de los adoquines debido al empuje horizontal que sobre ellos ejerce el tránsito y que generalmente consiste en bordillos o muretes.

La palabra adoquín es definida en el diccionario como un pequeño bloque de piedra o madera dura, labrada en forma de cubo o paralelepípedo, que sirve para pavimentar, y proviene del vocablo árabe adocquén (ad-dukkan) que quiere decir piedra cuadrada.

Por adoquines de concreto entenderemos elementos prefabricados, macizos e iguales entre sí, al tener todos las mismas dimensiones, variadas formas y caras rectas. Pueden colocarse sobre una superficie plana creando figuras, quedando entre ellos una junta abierta pequeña, la cual se fraguará con arena fina como sello.

La cama de arena está compuesta por arena gruesa y limpia y generalmente es de 4 ó 5 cm de espesor. Es el asiento de los adoquines y eventualmente sirve como filtro para el agua que penetra por las juntas entre ellos.

El sello de arena consiste en arena fina colocada entre las juntas que, como su nombre lo indica, las sella y permite a los adoquines funcionar como un todo.

Los pavimentos de adoquines, al igual que los pavimentos flexibles y rígidos, se soportan sobre una base que puede ser granular o mejorada, como suelo cemento o tobacal. Los espesores dependen del diseño en sí, que considera los parámetros de tipo de suelo, con su capacidad de soporte, y el tipo de tránsito al cual van a estar sometidos.

Para realizar los diseños en este estudio se utilizaron los métodos empleados por el Instituto Colombiano de Productos de Cemento (ICPC), entidad que dispone de un estudio y

análisis simplificado para pavimento de adoquines.

CUADRO 10. DISEÑO SIMPLIFICADO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO					
Clasificación de la Vía		Servicio Secundaria	Servicio Primaria	Colectora	Arterial
Número de vehículos comerciales por día y por carril (NVDCD). (a)		1 a 5	6 a 20	21 a 50	51 a 200
Número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas durante el período de análisis.		De 1 a 50.000	De 50.001 a 500.000	De 500.001 a 2.500.000	De 2.500.001 a 15.000.000
Espesor de adoquines (mm).		60 a 80	60 a 80	80	80
Capa arena (mm).		50	50	50	50
Tipo Base	Capacidad soporte del suelo CBR (%)	Espesor de la base (mm)			
Granular	CBR < 3	150 (b)	230 / 180	260	330
	3 < CBR < 15	(b)	(b)	(b)	140(b)
	CBR > 15	100 (b)	100(b)	100(b)	100(b)
Suelo cemento	CBR < 3	100 (c)	140 / 110	160	210
Tobacal	3 < CBR < 15	(c)	(c)	(c)	100
	CBR > 15	75 (c)	75 (c)	75 (c)	75 (c)

Fuente: Instituto Colombiano de Productos de Cemento (ICPC).

Donde:

- (a) Vehículo comercial: aquel con dos o más ejes de 6 o más llantas en ambos casos, incluyendo al eje direccional (delantero). No considera los autobuses.
- (b) Espesores mínimos para bases granulares:
150 mm si CBR de subrasante es <6%.
100 mm si CBR de subrasante es >6%.
- (c) Espesores mínimos para bases de suelo cemento:
100 mm si CBR de la subrasante es <6%.
75 mm si CBR de la subrasante es >6%.

Vías de servicio secundarias

Son vías de poca longitud y poco tránsito, cuya función principal es dar acceso directo a las edificaciones. Prestan servicio al tráfico generado por 30 predios como máximo, con un NVDCD (número vehículos comerciales por día y por carril) de 5 ó menos.

Por las características de este estudio, este tipo de vías fueron las consideradas, pues su aplicación es meramente residencial.

Vías de servicio primarias

Reciben los vehículos de varias vías de servicio secundarias. Prestan servicio al tráfico generado por 150 predios como máximo y el NVDCD está entre 6 y 20.

Vías colectoras

Recogen el tráfico de las vías de servicio primarias y secundarias de un área determinada y lo conducen a un sistema de vías de mayor rango. Su longitud puede ser considerable y el NVDCD varía entre 21 y 60.

Vías arteriales

Pueden tener varios kilómetros de longitud y su función es canalizar el flujo de vehículos entre zonas de uso residencial, industrial y comercial. El tráfico diario puede ser de aproximadamente 6.000 vehículos en ambas direcciones y el NVDCD oscila entre 61 y 200.

Para la aplicación del Cuadro 1 se escogió un período de diseño de 20 años. Si se quieren utilizar períodos de diseño diferentes, se deben corregir los espesores de las bases.

La arena que se utiliza para la capa sobre la cual se colocan los adoquines debe ser limpia y tener una granulometría continua, de modo que la totalidad de la arena pase por el tamiz de 9,51 mm (No. 3/8") y no más del 5% pase por el tamiz de 74 µm (No. 200).

CUADRO 11. GRANULOMETRÍA PARA LA ARENA DE ASIENTO (CAMA)			
Tamiz		% que pasa (en peso)	
Apertura	Designación según ASTM	Mínimo	Máximo
9,51 mm	3/8"	100	100
4,76 mm	No. 4	90	100
2,38 mm	No. 8	75	100
1,19 mm	No. 16	50	95
595 µm	No. 30	25	60
297 µm	No. 50	10	30
149 µm	No. 100	0	15
74 µm	No. 200	0	5

La arena que se utilice para sellar las juntas entre adoquines debe estar tan libre de materia orgánica y contaminantes como sea posible, y debe tener una granulometría continua tal que la totalidad de la arena pase por el tamiz de 2,38 mm (No. 8) y no más del 1% pase por el tamiz 74 µm (No. 200).

CUADRO 12. GRANULOMETRÍA PARA LA ARENA DE FRAGUA (SELLADO) DE SIZA			
Tamiz		% que pasa (en peso)	
Apertura	Designación ASTM	Mínimo	Máximo
2,38 mm	No. 8	100	100
1,19 mm	No. 16	90	100
595 µm	No. 30	60	90
297 µm	No. 50	30	60
149 µm	No. 100	5	30
74 µm	No. 200	0	15

El adoquín debe fabricarse con arena cuya granulometría sea menor que el tamiz No. 4, es decir, de gránulos con diámetros menores a medio centímetro, y con piedra de tamaños entre 9,51 mm y 12,7 mm. En consecuencia, la curva granulométrica de la mezcla piedra y arena para la fabricación de adoquines debe cumplir con lo establecido en el siguiente cuadro.

CUADRO 13. GRANULOMETRÍA PARA LA FRABRICACIÓN DE ADOQUINES		
Tamiz		% que pasa (en peso)
Apertura	Designación ASTM	
12.7 mm	1/2"	100
9.51 mm	3/8"	100
4.76 mm	No. 4	85
2.3 mm	No. 8	65
1.19 mm	No. 16	50
595 µm	No. 30	35
297 µm	No. 50	15
149 µm	No. 100	5
74 µm	No. 200	3

El proceso constructivo de un pavimento de adoquines comprende las siguientes actividades:

- Construcción de obras de drenajes adecuadas.
- Transporte ordenado de los materiales
- Construcción de la base.
- Construcción de las obras de confinamiento.
- Colocación y nivelación de la capa (cama) de arena.
- Colocación de los adoquines.
- Sellado con arena fina y compactación en dos etapas.
- Limpieza general.

Los datos obtenidos para el diseño de pavimentos con adoquines se aplican tanto para pavimentos de uso vehicular como peatonal, abarcando calles, estacionamientos, plazuelas, parques y aceras.

Losas de concreto hidráulico

Calles y estacionamientos

Para el diseño de las losas de concreto hidráulico existen varios métodos. Entre ellos cabe mencionar el AASHTO-93, el PCA, el AASHTO-2002 y el HDM-IV. En este estudio se ha seleccionado el HDM-IV, considerando que es el que contempla la mayor cantidad de variables que influyen en el comportamiento del pavimento (incorpora variables de comportamiento constructivo). El HDM-IV, *Highway Design and Maintenance Standard Mode, Versión IV*, es un programa digital para el diseño de pavimentos rígidos, en su versión IV, desarrollado por el Banco Mundial en 1994.

El AASHTO-2002 también contempla las mismas variables de comportamiento que considera el HDM-IV, sin embargo, por recomendación de los expertos consultados y facilidad de uso, se decidió utilizar este último. Los métodos AASHTO-93 y PCA no consideran variables de comportamiento, sino que basan el diseño de espesores solamente en función del tipo de tránsito y del valor de soporte de la subrasante.

Al igual que para los pavimentos de concreto asfáltico, en este análisis se tomaron como base los diseños realizados por el Ing. Jorge Solano Jiménez, Director Técnico del Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto, ICCYC, y el Ing. Roy Bogantes González, Coordinador del Área de Infraestructura Vial del ICCYC.

Para el diseño se consideraron cuatro tipos de tránsito, cuatro condiciones de valor soporte del suelo (CBR) y tres tipos de concreto, conocidos como concreto MR 45 (f'c de 310 kg/cm² o mayor); concreto MR 42 (f'c 280 kg/cm² o mayor); y concreto MR 35 (f'c de 210 kg/cm² o mayor), con dosificación mínima de 8 sacos de cemento por m³ de concreto, para una resistencia mínima de 210 kg/m² tomando en consideración lo establecido en el CR-77 sección 2005, pavimentos de concreto, que dice hasta 8.5sacos para 250kg/cm² **basado en el error humano de fabricación del concreto en sitio**, con poco control.

Las losas de concreto hidráulico para pavimentos deben cumplir con un espesor mínimo establecido; espesores menores serían imprácticos, ya que provocarían el fallamiento de las losas por razones de espesor.

Entre las tablas de diseño para pavimentos a base losas de concreto hidráulico se ha seleccionado, para los fines de este estudio, la identificada como de tránsito tipo T1C, por ser el que más se aproxima a las condiciones normales de carga con que trabajan los pavimentos en los proyectos urbanísticos, en especial con los de interés social.

Cabe destacar que todos los diseños contemplan una base granular de 15 cm de espesor mínimo, que la vida útil del pavimento está proyectado para 20 años, y que el método de colocado del concreto es el conocido como codaleado. Estas condiciones se asumen para facilitar el análisis comparativo con las otras alternativas.

En el siguiente cuadro (Cuadro 14) se detallan los parámetros de diseño para la obtención de los distintos espesores de la estructura del pavimento aplicable a urbanizaciones con bajo volumen de tránsito. Estos mismos parámetros, entre los que se considera un valor soporte de la subrasante de CBR = 2, se utilizan para realizar los cálculos indicados en los Cuadros 15 a 22, para distintos tipos de tránsito, seleccionados como típicos de urbanizaciones, y designados como tránsitos tipo T0, T1, T1C y T2.

En los Cuadros 24, 25 y 26 se muestran los diseños de espesores de losas de concreto para distintos valores de valor soporte (CBR) del suelo de la subrasante.

CUADRO 14. PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN EL DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO APLICABLES A URBANIZACIONES CON BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO, SEGÚN EL MÉTODO HDM-IV

Método de diseño:	HDM-IV		
ITEM	PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
1. Subrasante:	CBR	2	%
	k	2,2	kg/cm ³
2. Subbase:	Espesor	15	cm
	CBR	30	%
	MR	15000	psi
	k	3,5	kg/cm ³
3. Sin espaldones de concreto			
4. Coeficiente de contracción:	Rt	Coef.	
	400	0,0006	psi
	500	0,00045	psi
Promedio:		0,00053	psi
5. Coeficiente de dilatación	6.00E-06	./C	
6. IRI: IRI inicial:		3	m/km
	IRI máximo aceptable:	5	m/km
7. Agrietamiento de losas: Inicial:		0	%
	Máximo:	50	%

Fuente: Ing. Roy Bogantes González, ICCYC.

Donde:

K: Módulo de reacción compuesta del suelo. Es una constante de elasticidad.

MR: Módulo Resistente. Módulo dinámico de reacción del material ante cargas repetitivas.

Rt: Resistencia a la Tensión del concreto, para estimar el coeficiente de contracción por secado.

IRI: Índice de Rugosidad Internacional. Indica qué tan plano es el pavimento.

ESALS: Equivalent Simple Axle Load; 8.2 toneladas aplicadas en un eje simple de llanta doble.

Según los parámetros de diseño utilizados por el MOPT en CR. Un Bus equivale a 0.975 ESALS, no obstante por efectos prácticos en el estudio se equipara a la unidad (1 ESALS)

Tránsito tipo T0

A continuación se detallan las tablas para el diseño de pavimentos de losa de concreto hidráulico para tránsito tipo T0, caracterizado por las siguientes condiciones:

- Sin ingreso de camiones recolectores de basura ni de camiones repartidores grandes de comercio detallista.
- Sin carga de construcción.
- Sin ingreso de líneas regulares de autobuses.

- Típico de calles cortas (menores de 75 m), con centro de acopio para la basura (condominios cerrados).
- Parqueos para vehículos livianos (el ingreso de vehículos de carga se realiza por un acceso previsto).
- Prácticamente no ingresan vehículos pesados.
- Vida útil de 20 años.

ESALS en vida útil (20 años): 0.

CUADRO 15. TRÁNSITO T0 (SOLAMENTE VEHÍCULOS LIVIANOS)

	11	11.5	12.0	11.5	12.5	13.0	13.5
Espesor (cm)	11	11.5	12.0	11.5	12.5	13.0	13.5
Módulo Resistente (kg/cm²)	48	45	43	42	40	38	35

Módulo Resistente (MPa)	4,7	4,4	4,2	4,1	3,9	3,7	3,4
-------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

CUADRO 16. EVOLUCIÓN DEL AGRIETAMIENTO DE LOSAS EN EL PERIODO DE DISEÑO (EN %) PARA TRÁNSITO TIPO T0							
Año	MR 48-11,0	MR 45-11,5	MR 43-12,0	MR 42-11,5	MR 40-12,5	MR 38-13	MR 35-13,5
0	0,23	0,24	0,29	0,68	0,25	0,23	0,41
5	4,37	4,56	5,4	11,86	4,61	4,29	7,49
10	11,12	11,56	11,5	26,91	11,69	10,89	18,14
15	18,9	18,58	22,53	40,68	17,69	18,59	29,22
20	25,23	26,07	29,64	49,83	26,31	24,85	37,42
IRI final	3,48	3,49	3,54	4,06	3,49	3,47	3,68

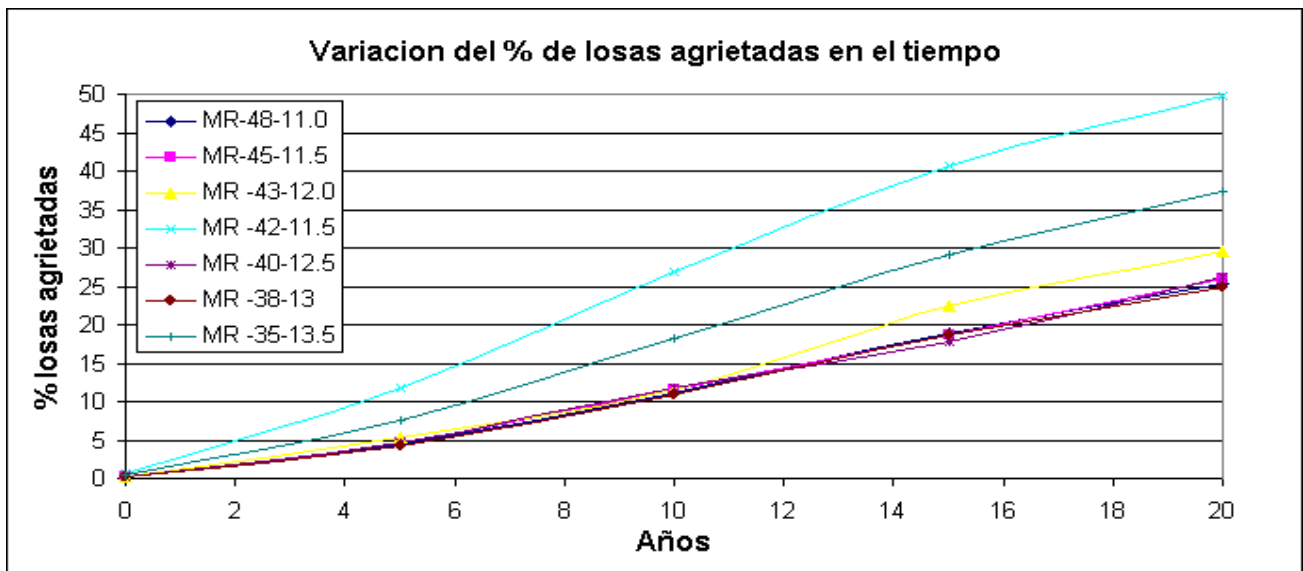


Figura 1. Porcentaje de losas agrietadas versus tiempo en años para distintos Módulos Resistentes y Tránsito tipo T0.

Tránsito tipo T1

A continuación se detallan las tablas para el diseño de pavimentos de losa de concreto hidráulico para tránsito tipo T1C, caracterizado por las siguientes condiciones:

- Recolección de basura y comercio detallista (con ingreso de camiones repartidores

grandes). A razón de un camión diario por carril, para un total de 7300 ESALS en 20 años.

- Sin carga de construcción.
- Sin ingreso de líneas regulares de autobuses.
- Vida útil de 20 años.

ESALS en vida útil (20 años): 7 300.

CUADRO 17. TRÁNSITO T1 (SIN BUSES REGULADRES, SIN CARGA DE CONSTRUCCIÓN)							
Espesor (cm)	12	12,5	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5
Módulo Resistente (kg/cm ²)	48	45	43	42	40	38	35
Módulo Resistnete (MPa)	4,7	4,4	4,2	4,1	3,9	3,7	3,4

CUADRO 18. EVOLUCIÓN DEL AGRIETAMIENTO DE LOSAS EN EL PERIODO DE DISEÑO (EN %) PARA TRÁNSITO TIPO T1							
Año	MR 48-12	MR 45-12,5	MR 43-12,5	MR 42-13,0	MR 40-13,5	MR 38-14,0	MR 35-14,5
0	0,33	0,36	0,70	0,44	0,41	0,4	0,64
5	6,13	6,68	12,07	7,94	7,42	7,34	11,14
10	15,15	16,38	27,30	19,09	17,99	17,81	25,53
15	24,96	26,33	41,16	30,53	29,01	28,76	38,97
20	32,51	34,57	50,32	39,89	37,18	36,9	48,04
IRI final	3,70	3,73	4,22	3,84	3,79	3,78	4,12

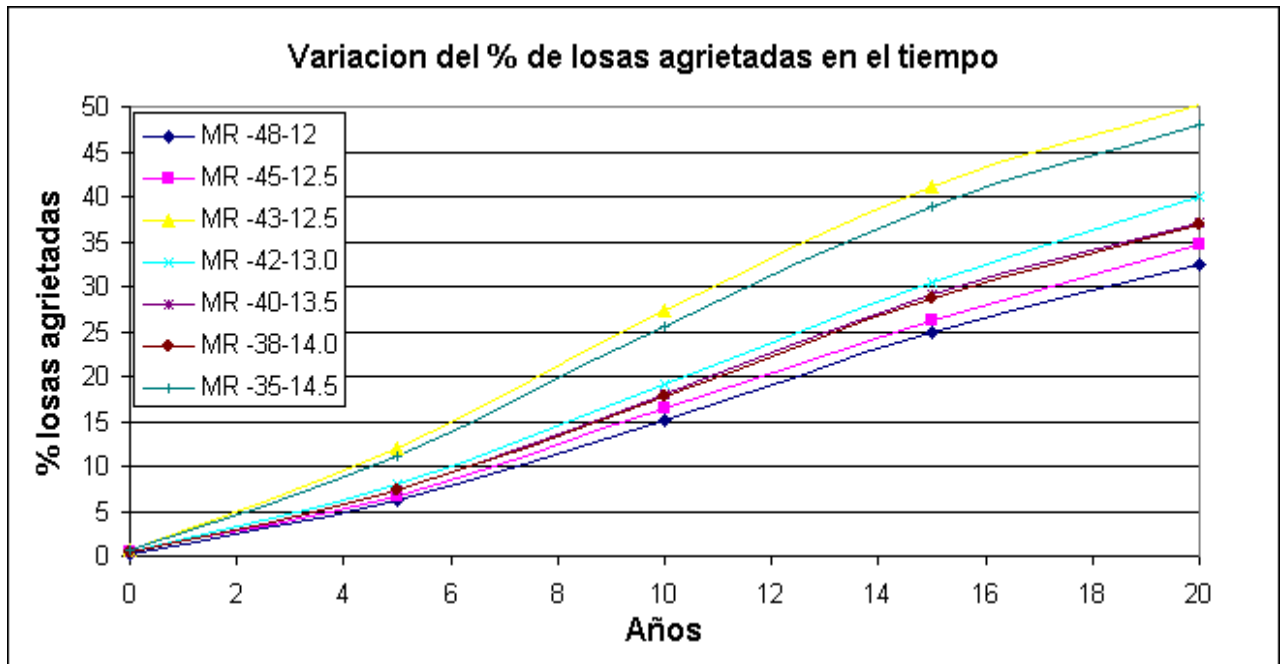


Figura 2. Porcentaje de losas agrietadas versus tiempo en años para distintos Módulos Resistentes y Tránsito tipo T1.

Tránsito tipo T1C

A continuación se detallan las tablas para el diseño de pavimentos de losa de concreto hidráulico para tránsito tipo T1C, caracterizado por las siguientes condiciones:

- Recolección de basura y comercio detallista (con ingreso de camiones repartidores

- grandes): A razón de un camión diario por carril, para un total de 7300 ESALS en 20 años.
- Carga de construcción de viviendas. 10 viajes por casa, hasta 1000 casas, para un total de 10000 ESALS.
- Sin ingreso de líneas regulares de autobuses.
- Vida útil de 20 años.

ESALS en vida útil (20 años): 17 300.

CUADRO 19. TRÁNSITO T1C (SIN BUSES REGULARES, CON CARGA DE CONSTRUCCIÓN)							
Espesor (cm)	12,0	12,5	13,0	13,5	14	14,5	15,0
Módulo Resistente (kg/cm ²)	48	45	43	42	40	38	35
Módulo Resistente (MPa)	4,7	4,4	4,2	4,1	3,9	3,7	3,4

CUADRO 20. EVOLUCIÓN DEL AGRIETAMIENTO DE LOSAS EN EL PERIODO DE DISEÑO (EN %) PARA TRÁNSITO TIPO T1C							
Año	MR 48-12,0	MR 45-12,5	MR 43-13,0	MR 42-13,5	MR 40-14,0	MR 38-14,5	MR 35-15,0
0	2,8	3,08	2,67	1,76	1,68	1,68	2,68
5	28,6	26,7	23,94	17,01	16,34	16,48	24
10	33,0	32,96	29,8	21,66	20,85	21,02	29,87
15	36,6	38,78	35,36	26,28	25,85	25,64	35,44
20	40,8	43,08	39,53	29,87	28,87	29,08	39,61
IRI final	3,92	4,46	4,26	3,88	3,66	3,84	3,87

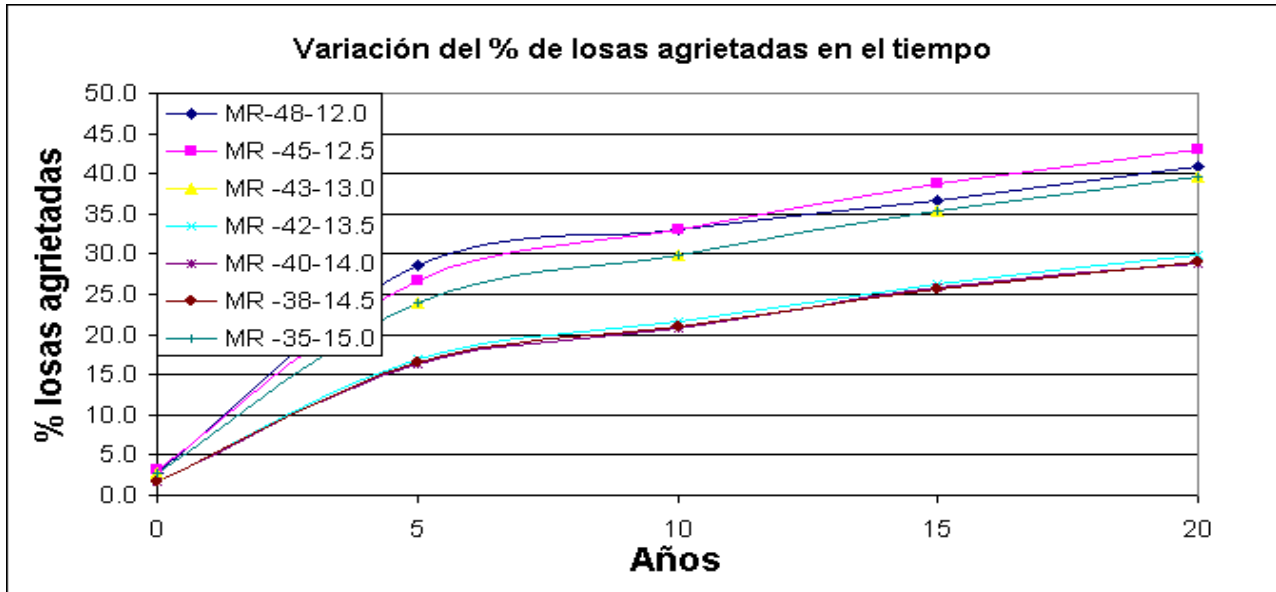


Figura 3. Porcentaje de losas agrietadas versus tiempo en años para distintos Módulos Resistentes y Tránsito tipo T1C.

Tránsito tipo T2

A continuación se detallan las tablas para el diseño de pavimentos de losa de concreto hidráulico para tránsito tipo T2, caracterizado por las siguientes condiciones:

- Recolección de basura y comercio detallista (con ingreso de camiones repartidores grandes): A razón de un camión diario por carril, para un total de 7300 ESALS en 20 años.

- Buses. Considera una línea de buses, a razón de 3 buses/hora durante 12 horas, y 3 más durante la noche (39 ingresos por día), para un total de 284 700 ESALS en 20 años.
- Carga de construcción de viviendas. 10 viajes por casa, hasta 1000 casas, para un total de 10000 ESALS.

ESAL en vida útil (20 años): 302 000.

CUADRO 21. TRÁNSITO T2 (CON UNA LÍNEA DE BUSES REGULARES)							
Espesor (cm)	15	15,0	16	16,5	17	17,5	18,5
Módulo Resistente (kg/cm ²)	48	45	43	42	40	38	35
Módulo Resistente (MPa)	4,7	4,4	4,2	4,1	3,9	3,7	3,4

CUADRO 22. EVOLUCIÓN DEL AGRIETAMIENTO DE LOSAS EN EL PERIODO DE DISEÑO (EN %) PARA TRÁNSITO TIPO T2							
Año	MR 48-15	MR 45-15,0	MR 43-16,0	MR 42-16,5	MR 40-17	MR 38-17,5	MR 35-18,5
0	0,39	0,53	0,52	0,35	0,38	0,44	0,44
5	7,18	9,45	9,29	6,45	6,98	8,03	7,94
10	17,47	22,21	21,87	15,87	17,04	19,27	19,09
15	28,28	34,72	34,28	26,00	27,07	30,78	30,53
20	36,35	43,52	43,03	33,73	35,65	39,17	38,89
IRI final	4,25	4,44	4,42	4,18	4,21	4,29	4,27

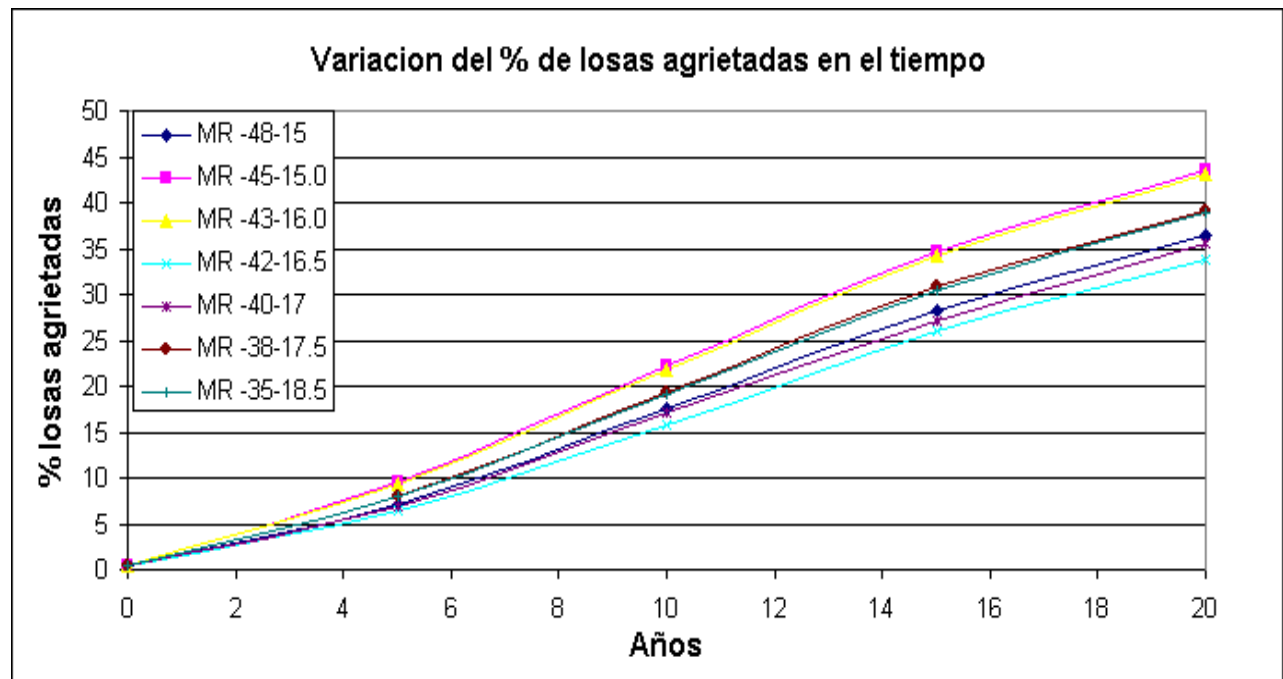


Figura 4. Porcentaje de losas agrietadas versus tiempo en años para distintos Módulos Resistentes y Tránsito tipo T2.

Espesores para distintas capacidades soporte del suelo

A continuación, utilizando el programa HDM-IV, se hacen ajustes derivados de pequeños cambios en los espesores de la losa de concreto, para distintos valores de capacidad soporte del suelo (CBR). Esto se hace dado que los Cuadros 15 a 22 fueron desarrollados para un CBR de la subrasante igual a 2.

Para optimizar los diseños de espesores de la losa de concreto hidráulico en función de la

calidad de la subrasante, se consideraron cuatro rangos de CBR:

- $2 \leq \text{CBR} \leq 4$;
- $4 < \text{CBR} \leq 7$;
- $7 < \text{CBR} \leq 15$;
- $\text{CBR} > 15$.

A manera de ejemplo, el Cuadro 23 muestra los ajustes correspondientes para el tipo de tránsito T1C y para un concreto de resistencia MR-35.

Los Cuadros 24, 25 y 26 muestran los resultados de los diseños de espesores para distintos valores soporte del suelo (CBR) y tipo de

tránsito para concretos de resistencia MR-35, MR-42 y MR-45, respectivamente.

En todos los casos los cálculos se basan en el respeto a los parámetros máximos permitidos para el diseño de espesores de

pavimentos de concreto hidráulico, según el método HDM-IV:

- Agrietamiento máximo permitido: 50%.
- IRI final máximo permitido: 5 m/km.

CUADRO 23. EJEMPLO: AJUSTE DE ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO EN FUNCIÓN DEL CBR							
Tipo de tránsito: T1C; Calidad del concreto: MR 35 (Agrietamiento máximo permitido: 50%; IRIf máximo permitido: 5 m/km)							
Años	MR 48-12,0	MR 45-12,5	MR 43-13,0	MR 42-13,5	MR 40-14,0	MR 38-14,5	MR 35-15,0
0							2,68%
5							24%
10							29,87%
15							35,44%
20						Agrietam.:	39,61%
Esesor de 15 cm; $2 \leq \text{CBR} \leq 4$:						IRIf:	3,87 m/km
Esesor de 14 cm; $4 < \text{CBR} \leq 7$:						Agrietam.:	49,9%
						IRIf:	4,24 m/km
Esesor de losa de 13,5 cm; $7 < \text{CBR} \leq 15$:						Agrietam.:	49,33%
						IRIf:	4,22 m/km
Esesor de losa de 13 cm; $\text{CBR} > 15$:						Agrietam.:	46,96%
						IRIf:	4,13 m/km

CUADRO 24. CONCRETO MR 35 (F' C DE 210 KG/CM² O MAYOR)				
CBR	$2 \leq \text{CBR} \leq 4$	$4 < \text{CBR} \leq 7$	$7 < \text{CBR} \leq 15$	$\text{CBR} > 15$
MPa/m	18	33	45	62
TRÁNSITO TIPO T0:				
Esesor (cm)	13,5	13	12,5	12
IRI final		3,44	3,44	3,43
% agrietamiento		20,26	21,17	19,6
TRÁNSITO TIPO T1:				
Esesor (cm)	14,5	13,5	13	12,5
IRI final		4,23	4,21	4,12
% agrietamiento		50,57	50,26	47,92
TRÁNSITO TIPO T1C:				
Esesor (cm)	15,0	14,0	13,5	13,0
IRI final	3,87	4,24	4,22	4,13
% agrietamiento	39,61	49,9	49,33	46,96
TRÁNSITO TIPO T2:				
Esesor (cm)	18,5	17,5	17	16,5
IRI final	4,27	4,34	4,36	4,33
% agrietamiento	38,89	41,03	41,49	40,38

CUADRO 25. CONCRETO MR 42 (F' C DE 280 KG/CM² O MAYOR)				
CBR	2 ≤ CBR ≤ 4	4 < CBR ≤ 7	7 < CBR ≤ 15	CBR > 15
MPa/m	18	33	45	62
TRÁNSITO TIPO T0:				
Espesor (cm)	11.5	11	10.5	10
IRI final		3.5	3.52	3.5
% agrietamiento		26.73	27.85	26.73
TRÁNSITO TIPO T1:				
Espesor (cm)	13	12	11.5	11
IRI final		3.93	3.93	3.88
% agrietamiento		42.09	42.14	40.38
TRÁNSITO TIPO T1C:				
Espesor (cm)	13.5	12.5	12	11.5
IRI final	3.85	3.92	3.91	3.87
% agrietamiento	37.75	40.13	39.87	37.92
TRÁNSITO TIPO T2:				
Espesor (cm)	16.5	15.5	15	14.5
IRI final	4.18	4.25	4.25	4.21
% agrietamiento	33.73	36.27	36.19	34.17

CUADRO 26. CONCRETO MR 45 (F' C DE 310 KG/CM² O MAYOR)				
CBR	2 ≤ CBR ≤ 4	4 < CBR ≤ 7	7 < CBR ≤ 15	CBR > 15
MPa/m	18	33	45	62
TRÁNSITO TIPO T0:				
Espesor (cm)	11.5	10.5	10	10
IRI final		3.61	3.65	
% agrietamiento		33.65	35.89	
TRÁNSITO TIPO T1:				
Espesor (cm)	12.5	11.5	11	10.5
IRI final		3.82	3.83	3.8
% agrietamiento		38.09	38.4	36.99
TRÁNSITO TIPO T1C:				
Espesor (cm)	13	12	11.5	11
IRI final	3.76	3.81	3.81	3.78
% agrietamiento	32.92	35.63	35.59	33.94
TRÁNSITO TIPO T2:				
Espesor (cm)	15.5	14.5	14	13.5
IRI final	4.44	4.44	4.54	4.46
% agrietamiento	46.52	46.28	45.94	43.43

Uso de geotextiles para el mejoramiento de suelos blandos en calles y estacionamientos

En el mercado costarricense se ofrecen distintas marcas y tipos de geotextiles para ser utilizados en variadas aplicaciones de la industria de la construcción. Para efectos de este estudio, se analizarán únicamente aquellos diseñados para mejorar la capacidad soporte de suelos blandos, o sea, suelos que presenta una baja capacidad soporte (CBR).

A manera de referencia, se analizan los geotextiles más conocidos en el medio, distribuidos por las empresas en Costa Rica, los cuales se detallan sus propiedades en la tablas 27,28 y 29.

En lo que respecta a este estudio, el geotextil será colocado directamente sobre la subrasante. Sobre él se colocará el material de subbase, que puede ser lastre fino compactado, y luego un material intermedio como superficie de rodamiento.

El geotextil tejido mejora la distribución de esfuerzos, evitando la concentración de los mismos, gracias al efecto de confinamiento que produce, lo que a su vez se traduce en un aumento en la capacidad soporte de la estructura. Adicionalmente, el geotextil funciona como barrera de separación entre capas, evitando la contaminación de los estratos granulares seleccionados con los materiales finos de la subrasante.

Al incluir el geotextil en la estructura de pavimento y conservar el diseño original (espesores y tipo de capas), se logra aumentar la vida útil de la estructura; es decir, se logra aumentar el número de repeticiones de las cargas de tránsito.

Otra opción es incluir el geotextil y reducir los espesores de las capas granulares inferiores. Lo usual es reducir el espesor de la capa de subbase. El porcentaje de reducción varía según cada caso, sin embargo se pueden lograr reducciones de un 30% o más en el espesor de este estrato.

Siguiendo las recomendaciones de los fabricantes, en el caso de los geotextiles distribuidos por la empresa Amanco, se han

seleccionado, para los fines de este estudio, los geotextiles tejidos 2100 y 2400. Entre ellos la selección depende del tipo de subrasante: el 2400 tiene mayor capacidad para resistir esfuerzos de tensión, por lo que se recomienda utilizarlo en suelos que presentan condiciones desfavorables en cuanto a su capacidad soporte.

En el caso de los productos distribuidos por Maccaferri, se seleccionaron las geogrillas biaxiales conocidas como TRC-Grid-20, TRC-Grid-30 y TRC-Grid.40.

En el caso de la Distribuidora de Materiales Textiles Robal S.A., se recomienda utilizar los geotextiles NW 45 y NW 50.

A continuación se tabulan las propiedades y especificaciones de cada producto, por casa distribuidora. La información técnica ha sido suministrada por las propias casas distribuidoras.

CUADRO 27. PROPIEDADES DE LOS GEOTEXILES DISTRIBUIDOS EN COSTA RICA					
AMANCO	Propiedades Método Grab.	Norma	Unidad	T 2100	T 2400
Propiedades Mecánicas	Resist. a la tensión	ASTM	N (b)	1280(288)	2440(549)
	Elongación	D-4632	%	20	22
	Método Tira ancha Sentido Longitudinal	ASTM	KN/m	30	36
	Elongación	D-4595	%	20	22
	Sentido transversal			36	40
	Elongación			16	17
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N(8lb)	715(16l)	820(186)
	Resistencia al rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N(lb.)	430 (98)	520(117)
	Método Mullen Bursa Resistencia al estallido	ASTM D-3786	kPa(psi)	4485(650)	5175(750)
Propiedades Hidráulicas	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	Mm. (Nº tamiz)	0.6(30)	0.6(30)
	Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	7x1/10	8.2x1/10
	Permisividad	ASTM D-4491	S-1	0.7	0.8
	Espesor	ASTM D-5199	Mm.	1.0	1.03
Presentación	Tipo de Polímero	Fabricante		pp.	pp.
	Rollo Ancho	Medido	m	3.85	3.85
	Rollo Largo	Medido	m	100	100
	Rollo Área	Calculado	m ²	385	385

Fuente: Ing. Ronald Naranjo Ureña. Asesor Técnico Geosistemas, AMANCO Costa Rica.

CUADRO 28. PROPIEDADES DE LOS GEOTEXILES DISTRIBUIDOS EN COSTA RICA				
Propiedades técnicas	TRC-Grid*20	TRC-Grid*30	TRC-Grid*40	Ensayo EN ISO 10319
Resist. a tracción (KN/m)* máxima	20	30	40	
a 1.0% de alargamiento	7.0	10.5	14	
a 2.0% de alargamiento	13.0	19.5	28	
a 3.0% de alargamiento	19.0	28.5	38	
Alargamiento %	3.5	3.5	3.5	EN ISO 10319
Dimensión nominal malla, mm	14 x 14	14 x 14	14 x 14	
Peso (g/m ²)	130	150	170	EN 965
Abertura de filtración O90 (mm)	0.16	0.16	0.16	prEN ISO 13956
Permeabilidad (m/s)	2.9 x 10 ⁻³	2.9 x 10 ⁻³	2.9 x 10 ⁻³	prEN ISO 12040
Dimensiones del rollo	Largo (m)	200	200	200
	Ancho (m)	3.10	3.10	3.10
	Diámetro	0.45	0.50	0.55
	Peso (Kg.)	87	99	111

El TRC-Grid es una geogrilla biaxial, por lo tanto su resistencia es igual en ambas direcciones (longitudinal y transversal).

Fuente: Manual Técnico, MACCAFERRI, Refuerzo para base de pavimentos.

CUADRO 29. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS GEOTEXILES DISTRIBUIDOS EN COSTA RICA

Filtro Geotextil NLW. Tela no tejida de polipropileno usado para drenajes, estabilizar caminos, separación de materiales y refuerzo como soporte.

PROPIEDADES	METODO	UNIDAD	NW 31	NW 40	NW 45	NW 50
Peso	ASTM D 5261	KGS/M2	100	135	155	180
Espesor	ASTM D 5199	Mm	1.0	1.2	1.2	1.5
Resistencia al desgarre	ASTM D 4632	KN/M	400	555	620	755
Elongación a la tracción	ASTM D 4632	%	55%	56%	60%	60%
Resist. al punzonamiento	"4632	KN	1555	1845	2110	2445
Ruptura trapezoidal	"4534	KN	175	240	265	356
Resist.al estallido Mullen	"3786	Kpa	1375	1650	1930	2340
Permeabilidad	"4491	L/SM2	115	105	91	84
	BS 6906/3		190	203	176	169
Res.Rayos Ultra Violeta	ASTM D 4355	%H	70	70	70	70

Fuente: Distribuidora de Materiales Textiles Robal S.A.

Aceras, alamedas, parques y plazoletas

En las urbanizaciones, además de las calles y estacionamientos, es necesario analizar los pavimentos de uso peatonal, como las aceras, alamedas, parques y plazoletas.

En nuestro país, por razones constructivas y de costo, no se acostumbra utilizar pavimentos asfálticos para este tipo de soluciones peatonales. Por lo tanto, en este estudio se analizarán solamente las losas de concreto hidráulico y los adoquines para este tipo de pavimentos.

Losas de concreto hidráulico para uso peatonal en aceras, alamedas, parques y plazoletas

Para los efectos de este estudio, y siendo consecuente con lo establecido para los pavimentos de calles y estacionamiento, las estructuras de aceras, alamedas, parques y plazoletas deben construirse de forma tal que garanticen una vida útil de 20 años.

Se definirá como losa de concreto hidráulico para uso exclusivamente peatonal, aquella de uso exclusivo para peatones y, eventualmente, bicicletas y motocicletas, sin que exista

posibilidad de ser utilizada por el tráfico vehicular de ninguna naturaleza. En el espacio público esta condición es difícil de lograr, ya que en labores de mantenimiento (luminarias, lavado de pisos, etc.) es usual que eventualmente ingresen vehículos de servicio.

Para que una zona pertenezca a ésta categoría, debe estar diseñada con restricciones de acceso al tráfico vehicular.

En este estudio, para el análisis de este tipo de pavimentos, se han seguido las recomendaciones establecidas por el "Manual de diseño y construcción de componentes del espacio público", desarrollado por el Instituto Colombiano de Productos de Cemento, ICPC. Las especificaciones correspondientes a pavimentos de uso exclusivo peatonal son las siguientes:

- Espesor mínimo de las losas de concreto con base granular: 75 mm.
- Base granular: 100 mm.
- Dosificación de cemento: 300 kg/m³, con resistencia a la compresión a los 28 días de 300 kg/cm² y mínima individual 250 kg/cm².

Por el tipo de tránsito peatonal, se vuelve impráctica la estabilización de la base con cal o con cemento, ya que el diseño contempla espesores mínimos. A su vez, no es usual el uso de algún tipo de geotextil, ya que en este tipo de pavimentos no se requiere necesariamente del mejoramiento de la capacidad soporte del suelo. Es más importante garantizar que el soporte del suelo a las losas sea uniforme.

Adoquines para uso peatonal en aceras, alamedas, parques y plazoletas

Nuevamente, tomando como referencia el *"Manual de diseño y construcción de componentes del espacio público"* del ICPC (Instituto Colombiano de Productos de Concreto), tanto para suelos blandos (CBR del 2%), medios (CBR 5%) y firmes (CBR 15%), y para uso exclusivamente peatonal, la base granular será de 100 mm de espesor, los adoquines de 60 mm, colocados sobre una capa de asiento de arena de 40 mm, y con una fragua de arena fina.

Dicho diseño, para los efectos de este estudio, será utilizado por igual para aceras, alamedas, parques y plazoletas para uso exclusivamente peatonal en urbanizaciones.

Resultados

Espesores

A continuación se presentan los cuadros con los diseños de espesores de las distintas capas de la

estructura del pavimento para los distintos tipos de solución: concreto asfáltico, adoquines y losas de concreto hidráulico, con y sin el uso de geotextiles.

CUADRO 30. ESPESORES (CM) - PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO. TIPO A (Carpetas: Arena – Asfalto (AA). Base y subbase: granulares)							
Tipo de Suelo	Clase de Tránsito (T) y Espesor de diseño (cm) (E)						CBR (%)
	T1	E	T2	E	T3	E	
S1	AA	5	AA	5	AA	5	2
	Base	15	Base	15	Base	20	
	Subbase	20	Subbase	20	Subbase	25	
	Subrasante mejorada	30	Subrasante mejorada	40	Subrasante mejorada	40	
S2	AA	5	AA	5	AA	5	3-5
	Base	15	Base	15	Base	15	
	Subbase	15	Sub base	20	Subbase	20	
	Subrasante mejorada	30	Subrasante mejorada	30	Subrasante mejorada	40	
S3	AA	5	AA	5	AA	5	6-10
	Base	15	Base	15	Base	20	
	Subbase	20	Subbase	25	Subbase	25	
S4	AA	5	AA	5	AA	5	11-20
	Base	20	Base	15	Base	15	
		15	Subbase	15	Subbase	20	
S5	AA	5	AA	5	AA	5	>20
	Base	15	Base	20	Base	20	

E = Espesor en centímetros.

CUADRO 31. ESPESORES (CM) - PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO. TIPOS A1 Y A2 (Carpeta: Arena – Asfalto (AA). Base: granular. Subbase: estabilizada con cal o con cemento)							
Tipo de Suelo	Clase de Tránsito (T) y Espesor de diseño (cm) (E)						CBR (%)
	T1	E	T2	E	T3	E	
S1	AA	5	AA	5	AA	5	2
	Base	15	Base	15	Base	20	
	Subbase c/cal	15	Subbase c/cal	20	Subbase c/cal	20	
	Subrasante mejorada	30	Subrasante mejorada	35	Subrasante mejorada	40	
S2	AA	5	AA	5	AA	5	3-5
	Base	20	Base	15	Base	15	
	Subbase c/cal	20	Subbase c/cal	15	Subbase c/cal	20	
			Subrasante mejorada	30	Subrasante mejorada	30	
S3	AA	5	AA	5	AA	5	6-10
	Base	15	Base	15	Base	20	
	Subbase c/cal	15	Subbase c/cal	20	Subbase c/cal	20	
S4	AA	5	AA	5	AA	5	11-20
	Base	20	Base	25	Base	15	
					Subbase c/cal	15	
S5	AA	5	AA	5	AA	5	>20
	Base	15	Base	20	Base	20	

E = Espesor en centímetros.

CUADRO 32. ESPESORES (CM) - PAVIMENTOS CON ADOQUINES. TIPO B1

(Superficie: adoquines. Base: Granular)

Tipo de Base	Clase Tránsito				CBR
	Servicio Secundario	Servicio Primario	Colectora	Arterial	
Base Granular Adoquín 60 mm	Adoquín 60 mm	Adoquín 60 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	CBR ≤ 3
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 150 mm	Base 230 mm	Base 260 mm	Base 330 mm	
	Adoquín 60 mm	Adoquín 60 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	3 < CBR ≤ 15
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 150 mm	Base 150 mm	Base 150 mm	Base 150 mm	
	Adoquín 60 mm	Adoquín 60 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	CBR > 15
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 100 mm	Base 100 mm	Base 100 mm	Base 100 mm	
Base Granular Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	CBR ≤ 3
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 150 mm	Base 180 mm	Base 260 mm	Base 330 mm	
	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	3 < CBR ≤ 15
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 150 mm	Base 150 mm	Base 150 mm	Base 140 mm	
	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	CBR > 15
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 100 mm	Base 100 mm	Base 100 mm	Base 100 mm	

CUADRO 33. ESPESORES - PAVIMENTOS CON ADOQUINES. TIPO B2 (Superficie: adoquines. Base: suelo – cemento)					
Tipo de Base	Clase Tránsito				CBR
	Servicio Secundario	Servicio Primario	Colectora	Arterial	
Base: Suelo Cemento Adoquín: 60 mm	Adoquín 60 mm	Adoquín 60 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	CBR ≤ 3
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 100 mm	Base 140 mm	Base 160 mm	Base 210 mm	
	Adoquín 60 mm	Adoquín 60 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	3 < CBR ≤ 15
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 75 mm	Base 75 mm	Base 75 mm	Base 75 mm	
	Adoquín 60 mm	Adoquín 60 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	CBR > 15
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 75 mm	Base 75 mm	Base 75 mm	Base 75 mm	
Base: Suelo Cemento Adoquín: 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	CBR ≤ 3
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 100 mm	Base 110 mm	Base 160 mm	Base 100 mm	
	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	3 < CBR ≤ 15
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 100 mm	Base 100 mm	Base 100 mm	Base 100 mm	
	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	Adoquín 80 mm	CBR > 15
	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	Arena 50 mm	
	Base 100 mm	Base 100 mm	Base 100 mm	Base 100 mm	

CUADRO 34. ESPESORES - PAVIMENTOS A BASE DE CONCRETO HECHO EN OBRA (Losa: concreto MR 35 - f'c de 210 kg/cm ² o mayor -)				
TIPO DE TRÁNSITO	2 ≤ CBR ≤ 4	4 < CBR ≤ 7	7 < CBR ≤ 15	CBR > 15
T0 (sin ESALS)	13.5	13.0	12.5	12.0
T1 (10000 ESALS)	14.5	13.5	13.0	12.5
T1c (20000 ESALS)	15.0	14.0	13.5	13.0
T2 (300000 ESALS)	18.5	17.5	17.0	16.5

- No cumple con la resistencia mínima por durabilidad (ACI 302, pisos tipo 4 y 5), pero probablemente resista los 20 años de servicio proyectados con un desgaste moderado al final de su vida útil.
- Dosificación mínima de concreto: 8 sacos/m³ (300 kg/m³).
- Resistencia mínima del concreto: 210 kg/cm².

CUADRO 35. ESPESORES - PAVIMENTOS A BASE DE LOSAS DE CONCRETO PREMEZCLADO (Losa: concreto MR 42 - f'c de 280 kg/cm ² o mayor -)				
TIPO DE TRÁNSITO	2 ≤ CBR ≤ 4	4 < CBR ≤ 7	7 < CBR ≤ 15	CBR > 15
T0 (sin ESALS)	11.5	11.0	10.5	10.0
T1 (10000 ESALS)	13.0	12.0	11.5	11.0
T1c (20000 ESALS)	13.5	12.5	12.0	11.5
T2 (300000 ESALS)	16.5	15.5	15.0	14.5

Resistencia mínima por durabilidad: 280 kg/cm² (ACI 302, pisos tipo 4 y 5).

CUADRO 36. ESPEORES - PAVIMENTOS A BASE DE LOSAS DE CONCRETO PREMEZCLADO (Losa: concreto MR 45 - f'c de 310 kg/cm ² o mayor -)				
TIPO DE TRÁNSITO	2 ≤ CBR ≤ 4	4 < CBR ≤ 7	7 < CBR ≤ 15	CBR > 15
T0 (sin ESALS)	11.5	10.5	10.0	10.0
T1 (10000 ESALS)	12.5	11.5	11.0	10.5
T1c (20000 ESALS)	13.0	12.0	11.5	11.0
T2 (300000 ESALS)	15.5	14.5	14.0	13.5

* Puede usarse concreto MR 42 (280kg/cm²).

Costos unitarios

Modalidad *Por Contrato*

Concreto asfáltico

Ejemplo de cálculo

- **Concreto asfáltico Tipo A.**
- **Rodadura Arena-Asfalto.**
- **Base y sub. base granulares.**
 - Variables:
 - Tránsito tipo T1.
 - Suelo tipo S1.
 - CBR = 2.
 - Capa de Rodadura de 5 cm.
 - Base granular de 15 cm.
 - Subbase granular de 20 cm.
 - Subrasante mejorada en 30 cm.

CUADRO 37. CONCRETO ASFÁLTICO TIPO A (Carpeta: Arena – Asfalto. Base y subbase granulares) EJEMPLO DE CÁLCULO DE COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato - (Tránsito T1. Suelo: S1)						
ASF. T1-S1	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Material	Costo Unitario Mano de Obra	Total Material	Total Mano de Obra
Concreto asfáltico	0,05	m ³	71.82	29.93	3.59	1.50
Imprimación	700	gr.	0.0002	0.0001	0.17	0.09
Riego liga	450	gr.	0.0003	0.0002	0.16	0.08
Base granular comp.	0,192	m ³	16.16	6.01	3.10	1.15
sub. base granular comp.	0,256	m ³	13.57	5.79	3.47	1.48
Mejoramiento Subrasante	1	m ²	0.00	1.25	0.00	1.25
Total (US\$/ m²)						16.04

CUADRO 38. RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA – Por contrato -		
Mano de obra asfalto	1,5	Hrs/H
Imprimación	0,09	Hrs/H
Riego de liga	0,08	Hrs/H
Base granular compactada	1,1568	Hrs/H
Subbase granular compact.	1,4861	Hrs/H
Mejoramiento subrasante	1,25	Hrs/H

A efectos de poder dolarizar, se establece un tipo de cambio de 501,25 colones costarricenses por dólar estadounidense, correspondiente a la fecha 7 de marzo del 2006. También se considera un radio de acción dentro de la Gran Área Metropolitana. Los valores toman en consideración costos directos, costos indirectos, utilidad e imprevistos.

CUADRO 39. CONCRETO ASFÁLTICO TIPO A (Carpetas: Arena-Asfalto. Base y subbase: granulares) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -				
Suelo (S) / Tránsito (T)	T1	T2	T3	CBR
S1	16.04	16.46	19.11	2
S2	14.78	16.04	16.46	3-5
S3	14.79	16.03	17.45	6-10
S4	11.26	13.56	14.79	11-20
S5	9.84	11.26	11.26	>20

CUADRO 40. CONCRETO ASFÁLTICO TIPO A1 (Carpetas: Arena-Asfalto. Base granular. Subbase: granular estabilizada con cal) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -				
Suelo (S) / Tránsito (T)	T1	T2	T3	CBR
S1	17.01	17.95	20.82	2
S2	19.15	11.92	13.90	3-5
S3	15.76	17.74	19.15	6-10
S4	11.26	12.68	15.76	11-20
S5	9.84	11.26	11.26	>20

CUADRO 41. CONCRETO ASFÁLTICO TIPO A2 (Carpetas: Arena-Asfalto. Base: granular. Subbase: granular estabilizada con cemento) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -				
Suelo (S) / Tránsito (T)	T1	T2	T3	CBR
S1	18.38	17.12	19.99	2
S2	18.33	11.30	13.07	3-5
S3	15.14	16.91	18.33	6-10
S4	11.26	12.68	15.14	11-20
S5	9.84	11.26	11.26	>20

Adoquines

CUADRO 42. ADOQUINES TIPO B1 (Superficie: Adoquines de 60 y 80 mm. Base: granular) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -				
TRÁNSITO				SUELO
Servicio Secundario	Servicio Primario	Servicio Colector	Servicio Arterial	CBR
14.93	16.92	18.23	19.96	CBR ≤ 3
14.93	14.93	15.50	15.50	3 < CBR ≤ 15
13.70	13.70	14.26	14.26	CBR > 15
15.50	16.25	18.23	19.96	CBR ≤ 3
13.41	15.30	15.50	14.22	3 < CBR ≤ 15
14.26	14.26	14.26	14.26	CBR > 15

CUADRO 43. ADOQUINES TIPO B2 (Superficie: Adoquines de 60 y 80 mm. Base: lastre cemento) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -				
TRÁNSITO				SUELO
Servicio Secundario	Servicio Primario	Servicio Colector	Servicio Arterial	CBR
15.84	17.69	19.18	21.49	CBR ≤ 3
14.68	14.68	15.25	20.12	3 < CBR ≤ 15
14.68	14.68	15.25	15.25	CBR > 15
16.41	16.87	19.18	16.41	CBR ≤ 3
16.41	16.41	16.41	20.12	3 < CBR ≤ 15
15.25	15.25	15.25	15.25	CBR > 15

Losa de concreto hidráulico

CUADRO 44. LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO TIPO C (Losa: Concreto premezclado MR-42 - $f'c$ 280 kg/cm ² -) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -				
TRÁNSITO	SUELO			
	2 ≤ CBR ≤ 4	4 < CBR ≤ 7	7 < CBR ≤ 15	CBR > 15
T0	19.35	18.75	18.15	17.54
T1	21.16	19.95	19.35	18.75
T1c	21.76	20.56	19.95	19.35
T2	25.37	24.17	23.57	22.96

CUADRO 45. LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO TIPO C1 (Losa: Concreto premezclado MR-45 - $f'c$ 310 kg/cm ² -) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -				
TRÁNSITO	SUELO			
	2 ≤ CBR ≤ 4	4 < CBR ≤ 7	7 < CBR ≤ 15	CBR > 15
T0	19.67	18.44	17.82	17.82
T1	20.90	19.67	19.05	18.44
T1c	21.52	20.29	19.67	19.05
T2	24.60	23.37	22.75	22.13

CUADRO 46. LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO TIPO C2 (Losa: Concreto premezclado MR-35 - $f'c$ 210 kg/cm ² -) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -				
TRÁNSITO	SUELO			
	2 ≤ CBR ≤ 4	4 < CBR ≤ 7	7 < CBR ≤ 15	CBR > 15
T0	21.15	20.57	19.99	19.41
T1	22.31	21.15	20.57	19.99
T1c	22.89	21.73	21.15	20.57
T2	26.94	25.78	25.21	24.63

Uso de geotextiles

Como se mencionó anteriormente, el uso de los geotextiles permite disminuir los espesores de subbases en hasta un 30%.

El Cuadro 47 muestra los costos unitarios (US\$/m²) de los geotextiles analizados, precios al 7 de marzo del 2006. (Tipo de cambio: 1 US\$ = ¢501,25).

TIPO	US\$	Colones
Tejido 2100	1.06	531.3
Tejido 2400	1.17	586.45
Tejido NW 45	0.96	481.2
Tejido NW 50	1.02	511.25
TRG-Grid 20	3.98	1994.95
TRG-Grid 30	4.60	2305.75
TRG-Grid 40	5.59	2802.00

Para el cálculo de costos utilizando geotextiles por indicaciones de los distribuidores-fabricantes se reduce en un 30% el costo de la Subbase y se considera el costo del geotextil. En los Cuadros 48 y 49 se ejemplifican los cálculos, con y sin el uso de geotextil para un concreto asfáltico Tipo A. (Ahorro: 0.51 US\$/m²).

Rubro	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Material	Costo Unitario Mano Obra	Total Material	Total Mano de Obra
Concreto asfáltico	0.05	m ³	71.82	29.93	3.59	1.50
Imprimación	700	gr	0.0002	0.0001	0.17	0.09
Riego liga	450	gr	0.0003	0.0002	0.16	0.08
Base granular comp.	0.192	m ³	16.16	6.01	3.10	1.15
Subbase granular comp.	0.1792	m ³	13.57	5.79	2.43	1.04
Geotextil	1	m ²	0.96	0.02	0.96	0.02
Subrasante mejorada	1	m ²	0.00	1.66	0.00	1.66
Total por US\$/m²					US\$ 15.95	
Mejor costo por uso de geotextil (US\$/m²)					US\$ 0.51	

Rubro	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Material	Costo Unitario Mano Obra	Total Material	Total Mano de Obra
Concreto asfáltico	0.05	m ³	71.82	29.93	3.59	1.50
Imprimación	700	gr	0.0002	0.0001	0.17	0.09
Riego liga	450	gr	0.0003	0.0002	0.16	0.08
Base granular comp.	0.192	m ³	16.16	6.01	3.10	1.15
Subbase granular comp.	0.256	m ³	13.57	5.79	3.47	1.48
Subrasante mejorada	1	m ²	0.00	1.66	0.00	1.66
Total por m² (US\$/M2)					US\$ 16.46	

Aceras, alamedas, parques y plazoletas peatonales

Concreto hidráulico

CUADRO 50. ACERAS, ALAMEDAS, PARQUES Y PLAZOLETAS PEATONALES EN CONCRETO (Losa: 7.5 cm, concreto f'c 300 kg/cm ² . Base: granular (10 cm). Subrasante: mejorada (30 cm)) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -						
Rubro	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Material	Costo Unitario Mano Obra	Total Material	Total Mano de Obra
Concreto	0.07725	m ³	90.37	22.14	6.98	1.71
Base gran. comp.	0.128	m ³	16.16	6.01	2.07	0.77
Mej. subrasante	1	m ²	0.00	1.25	0.00	1.25
Total por US\$/m²						US\$ 12.78

CUADRO 51. RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA – Por contrato -		
Mano de obra concreto	1.71495	Hrs/H
Base granular compactada	0.7712	Hrs/H
Mejoramiento subrasante	1,25	Hrs/H

Los cálculos se hicieron basándose en un tipo de cambio del colón con respecto al dólar estadounidense de 1 US\$ = ¢ 501.25, correspondiente al 7 de Marzo del 2006, y a un radio de acción dentro de la Gran Área Metropolitana. Los valores incluyen costos directos, indirectos, utilidad e imprevistos.

Adoquines

CUADRO 52. ACERAS, ALAMEDAS, PARQUES Y PLAZOLETAS PEATONALES EN ADOQUINES (Superficie: adoquines (6 cm). Asiento: arena (4 cm). Base: granular (10 cm). Fragua: arena fina) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Por contrato -						
Rubro	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Material	Costo Unitario Mano Obra	Total Material	Total Mano de Obra
Adoquines	1	m ²	7.97	2.09	7.97	2.09
Arena de asiento	0.0412	m ³	14.36	3.19	0.59	0.13
Arena fina de fragua	0.0005	m ³	14.96	8.58	0.01	0.00
Base granular comp.	0.128	m ³	13.57	5.79	1.74	0.74
Total US\$/m²						US\$ 13.28

CUADRO 53. RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA – Por contrato -		
Adoquín 6 cm	2.1	Hrs/H
Arena de asiento	0.13184	Hrs/H
Arena fina de fragua	0.0043	Hrs/H
Base granular compactada	0.74304	Hrs/H

Los cálculos se hicieron basándose en un tipo de cambio del colón con respecto al dólar estadounidense de 1 US\$ = ¢ 501.25, correspondiente al 7 de Marzo del 2006, y a un radio de acción dentro de la Gran Área Metropolitana. Los valores incluyen costos directos, indirectos, utilidad e imprevistos.

Modalidad Por Autoconstrucción

Concreto asfáltico

CUADRO 54. CONCRETO ASFÁLTICO TIPO A
(Carpeta: Arena-Asfalto. Base y subbase: granulares)
COSTOS UNITARIOS US\$/M² - Autoconstrucción -

TIPO DE SUELO	TIPO DE TRÁNSITO			CBR
	T1	T2	T3	
S1	16.04	16.46	19.11	2
S2	14.80	16.04	16.46	3-5
S3	14.79	16.03	17.45	6-10
S4	11.26	13.56	14.79	11-20
S5	9.84	11.26	11.26	>20

CUADRO 55. CONCRETO ASFÁLTICO TIPO A1
(Carpeta: Arena-Asfalto. Base: granular. Subbase: estabilizada con cal)
COSTOS UNITARIOS US\$/M² - Autoconstrucción -

TIPO DE SUELO	TIPO DE TRÁNSITO			CBR
	T1	T2	T3	
S1	17.01	17.95	20.82	2
S2	19.15	11.92	13.90	3-5
S3	15.76	17.74	19.15	6-10
S4	11.26	12.68	15.76	11-20
S5	9.84	11.26	11.26	>20

CUADRO 56. CONCRETO ASFÁLTICO TIPO A2
(Carpeta: Arena-Asfalto. Base: granular. Subbase: estabiliz. c/cemento)
COSTOS UNITARIOS US\$/M² - Autoconstrucción -

TIPO DE SUELO	TIPO DE TRÁNSITO			CBR
	T1	T2	T3	
S1	18.38	17.12	19.99	2
S2	18.33	11.30	13.07	3-5
S3	15.14	16.91	18.33	6-10
S4	11.26	12.68	15.14	11-20
S5	9.84	11.26	11.26	>20

Adoquines

CUADRO 57. ADOQUINES TIPO B1
(Rodadura: Adoquín 6 y 8 cm. Base: granular)
COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Autoconstrucción -

TIPO DE TRÁNSITO				SUELO CBR
Servicio Secundario	Servicio Primario	Servicio Colector	Servicio Arterial	
13.82	15.48	16.69	18.14	CBR ≤ 3
13.82	13.82	14.40	14.40	3 < CBR ≤ 15
12.77	12.77	13.36	13.36	CBR > 15
14.40	15.02	16.69	18.14	CBR ≤ 3
14.40	14.40	14.40	14.19	3 < CBR ≤ 15

CUADRO 58. ADOQUINES TIPO B2
(Rodadura: Adoquín 6 y 8 cm. Base: lastre-cemento)
COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Autoconstrucción -

TIPO DE TRÁNSITO				SUELO CBR
Servicio Secundario	Servicio Primario	Servicio Colector	Servicio Arterial	
14.87	16.55	17.96	20.05	CBR ≤ 3
13.83	13.83	14.41	18.58	3 < CBR ≤ 15
13.83	13.83	14.41	14.41	CBR > 15
15.46	15.87	17.96	15.46	CBR ≤ 3
15.46	15.46	15.46	18.58	3 < CBR ≤ 15

Concreto hidráulico

CUADRO 59. LOSA CONCRETO TIPO C
(Losa: Concreto premezclado MR-42 - f'c 280 kg/cm² -)
COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Autoconstrucción -

TRÁNSITO	CBR			
	2≤CBR≤4	4<CBR≤7	7<CBR≤15	CBR>15
T0	15.28	14.81	14.35	13.88
T1	16.69	15.75	15.28	14.81
T1C	17.16	16.22	15.75	15.28
T2	19.97	19.03	18.56	18.09

CUADRO 60. LOSA CONCRETO TIPO C1
(Losa: Concreto premezclado MR-45 - f'c 310 kg/cm² -)
COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Autoconstrucción -

TRÁNSITO	CBR			
	2≤CBR≤4	4<CBR≤7	7<CBR≤15	CBR>15
T0	15.48	14.53	14.05	14.05
T1	16.44	15.48	15.01	14.53
T1C	16.91	15.96	15.48	15.01
T2	19.30	18.35	17.87	17.39

CUADRO 61. LOSA CONCRETO TIPO C2 (Losa: Concreto premezclado MR-35 - f'c 210 kg/cm ² -) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - <i>Autoconstrucción</i> -				
TRÁNSITO	CBR			
	2≤CBR≤4	4<CBR≤7	7<CBR≤15	CBR>15
T0	16.42	15.98	15.54	15.10
T1	17.30	16.42	15.98	15.54
T1C	17.74	16.86	16.42	15.98
T2	20.83	19.95	19.51	19.02

Aceras, alamedas, parques y plazoletas peatonales

Concreto hidráulico

CUADRO 62. ACERAS, ALAMEDAS, PARQUES Y PLAZOLETAS PEATONALES EN CONCRETO (Losa: 7.5 cm, concreto f'c 300 kg/cm ² . Base: granular (10 cm). Subrasante: mejorada (30 cm)) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Autoconstrucción -						
Rubro	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Material	Costo Unitario Mano Obra	Total Material	Total Mano de Obra
Concreto	0.07725	m ³	72.02	13.67	5.56	1.06
Base gran. comp.	0.128	m ³	14.46	3.29	1.85	0.42
Mej. subrasante	1	m ²	0.00	1.10	0.00	1.10
Total por US\$/m²						US\$ 9.99

CUADRO 63. RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA - Autoconstrucción -		
Mano de obra concreto	1.245	Hrs/H
Base granular compactada	0.4969	Hrs/H
Mejoramiento subrasante	1.294	Hrs/H

Los cálculos se hicieron basándose en un tipo de cambio del colón con respecto al dólar estadounidense de 1 US\$ = ₡ 501.25, correspondiente al 7 de Marzo del 2006, y a un radio de acción dentro de la Gran Área Metropolitana. Los valores incluyen costos directos, indirectos, utilidad e imprevistos.

Adoquines

CUADRO 64. ACERAS, ALAMEDAS, PARQUES Y PLAZOLETAS PEATONALES EN ADOQUINES (Superficie: adoquines (6 cm). Asiento: arena (4 cm). Base: granular (10 cm). Fragua: arena fina) COSTOS UNITARIOS EN US\$ / M² - Autoconstrucción -						
Rubro	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Material	Costo Unitario Mano Obra	Total Material	Total Mano de Obra
Adoquines	1	m ²	7.80	1.88	7.80	1.88
Arena de asiento	0.0412	m ³	12.87	2.69	0.53	0.11
Arena fina de fragua	0.0005	m ³	13.17	7.23	0.01	0.00
Base granular comp.	0.128	m ³	12.97	3.29	1.66	0.42
Total US\$/m²						US\$ 12.40

CUADRO 65. RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA - Autoconstrucción -		
Adoquín 6 cm	2.212	Hrs/H
Arena de asiento	0.1112	Hrs/H
Arena fina de fragua	0.003625	Hrs/H
Base granular compactada	0.4969	Hrs/H

Los cálculos se hicieron basándose en un tipo de cambio del colón con respecto al dólar estadounidense de 1 US\$ = ₡ 501.25, correspondiente al 7 de Marzo del 2006, y a un radio de acción dentro de la Gran Área Metropolitana. Los valores incluyen costos directos, indirectos, utilidad e imprevistos.

CUADRO 66. MATRIZ DE COSTOS PARA CALLES Y ESTACIONAMIENTOS EN URBANIZACIONES DE INTERÉS SOCIAL CON BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO, SEGÚN SE INDICA EN CADA CASO - MODALIDAD POR CONTRATO - EN US\$ / M ²									
TIPO DE SUELO	TIPO DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO								CBR
	Concreto Asfáltico (<i>Tránsito T1</i>)			Adoquín/Servicio secundario		Concreto hidráulico/T1c			
	Asfalto	Asfalto	Asfalto	Adoquín 60/80mm	Adoquín 60/80 mm	MR 42	MR 45	MR 35	
	Base Granular	Estabilizado con cal	Estabilizado con cemento	Base Granular	Base estabilizada con cemento	Premezclado	Premezclado	Premezclado	
S1	16.04	17.01	18.38	14.93 ^a	15.84 ^a	21.76	21.52	22.89	2
S2	14.78	19.15	18.33	14.93 ^a	14.68 ^a	20.56	20.29	21.73	3-5
S3	14.79	15.76	15.14	13.70 ^a	14.68 ^a	19.95	19.67	21.15	6-10
S4	11.26	11.26	11.26	15.50 ^b	16.41 ^b	19.95	19.67	21.15	11-20
S5	9.84	9.84	9.84	14.26 ^b	15.25 ^b	19.35	19.05	20.57	>20

^a Adoquín de 60 mm

^b Adoquín de 80 mm

CUADRO 67. MATRIZ DE COSTOS PARA CALLES Y ESTACIONAMIENTOS EN URBANIZACIONES DE INTERÉS SOCIAL CON BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO, SEGÚN SE INDICA EN CADA CASO - MODALIDAD POR AUTOCONSTRUCCIÓN - EN US\$ / M ²									
TIPO DE SUELO	TIPO DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO								CBR
	Concreto Asfáltico (<i>Tránsito T1</i>)			Adoquín (<i>Tránsito Secundario</i>)		Concreto (<i>Tránsito T1C</i>)			
	Asfalto	Asfalto	Asfalto	Adoquín 60/80mm	Adoquín 60/80 mm	MR 42	MR 45	MR 35	
	Base Granular	Estabilizado con cal	Estabilizado con cemento	Base Granular	Base estabilizada con cemento	Premezclado	Premezclado	Premezclado	
S1	16.04	17.01	18.38	13.82 ^a	14.87 ^a	17.16	16.91	17.74	2
S2	14.80	14.80	18.33	13.82 ^a	13.83 ^a	16.22	15.96	16.86	3-5
S3	14.79	14.79	15.14	12.77 ^a	13.83 ^a	15.75	15.48	16.42	6-10
S4	11.26	11.26	11.26	14.40 ^b	15.46 ^b	15.75	15.48	16.42	11-20
S5	9.84	9.84	9.84	13.36 ^b	14.41 ^b	15.28	15.01	15.98	>20

^a Adoquín de 60 mm

^b Adoquín de 80 mm

CUADRO 68. CUADRO GENERAL DE DECISIONES POR COSTO UNITARIO (EN US\$ / M²) PARA LA SELECCIÓN DE PAVIMENTOS DE CALLES Y ESTACIONAMIENTOS PARA URBANIZACIONES CON BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO - MODALIDAD POR CONTRATO -

TIPO DE SUELO <i>(Según Cuadros por tipo de pavimento)</i>	TIPO DE PAVIMENTO:										
	CONCRETO ASFÁLTICO				ADOQUÍN			LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO			
	TRÁNSITO	TIPO DE BASE Y SUBBASE:			TRÁNSITO	TIPO DE BASE:		TRÁNSITO	MR 35	MR 42	MR 45
		Granular	Estabilizada c/cal (SB)	Estabilizada c/cem. (SB)		Granular	Estabilizada c/cemento		f'c:		
		COSTO:				COSTO:			210 kg/cm ²	280 kg/cm ²	310 kg/cm ²
US\$/m ²		US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²		US\$/m ²	COSTO:				
	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²		US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	US\$/m ²	
S1	T1	16,04	17,01	18,38	Secundario	14,93	15,84	T0	19,67	19,35	21,15
	T2	16,46	17,95	17,12	Primario	16,92	17,69	T1	20,9	21,16	22,31
	T3	19,11	20,82	19,99	Colector	18,23	19,18	T1C	21,52	21,76	22,89
					Arterial	19,96	21,49	T2	24,6	25,37	26,94
S2	T1	14,78	19,15	18,33	Secundario	14,93	14,68	T0	18,44	18,75	20,57
	T2	16,04	11,92	11,3	Primario	14,93	14,68	T1	19,67	19,95	21,15
	T3	16,46	13,9	13,07	Colector	15,5	15,25	T1C	20,29	20,56	21,73
					Arterial	15,5	20,12	T2	23,37	24,17	25,78
S3	T1	14,78	15,76	15,14	Secundario	13,7	14,68	T0	17,82	18,15	19,99
	T2	16,03	17,74	16,91	Primario	13,7	14,68	T1	19,05	19,35	20,57
	T3	17,45	19,15	18,33	Colector	14,26	15,25	T1C	19,67	19,95	21,15
					Arterial	14,26	15,25	T2	22,75	23,57	25,21
S4	T1	11,26	11,26	11,26	Secundario	15,5	16,41	T0	17,82	17,54	19,41
	T2	13,56	12,68	12,68	Primario	16,25	16,87	T1	18,44	18,75	19,99
	T3	14,79	15,76	15,14	Colector	18,23	19,18	T1C	19,05	19,35	20,57
					Arterial	19,96	16,41	T2	22,13	22,96	24,63
S5	T1	9,84	9,84	9,84	Secundario	13,41	16,41				
	T2	11,26	11,26	11,26	Primario	15,3	16,41				
	T3	11,26	11,26	11,26	Colector	15,5	16,41				
					Arterial	14,22	20,12				
S6					Secundario	14,26	15,25				
					Primario	14,26	15,25				
					Colector	14,26	15,25				
					Arterial	14,26	15,25				

CUADRO 69. CUADRO GENERAL DE DECISIONES POR COSTO UNITARIO (EN US\$ / M²) PARA LA SELECCIÓN DE PAVIMENTOS DE URBANIZACIONES CON BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO UTILIZANDO GEOTEXTILES ENTRE LA SUBRASANTE Y LA SUBBASE - MODALIDAD POR CONTRATO – APLICABLE A PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO -						
TIPO DE SUELO	TIPO DE BASE:					
	Granular		Estabilizada con cal		Estabilizada con cemento	
	Tránsito	Costo US\$/m²	Tránsito	Costo US\$/m²	Tránsito	Costo US\$/m²
S1	T1	15.51	T1	16.19	T1	17.15
	T2	15.93	T2	16.91	T2	16.33
	T3	18.22	T3	19.41	T3	18.83
S2	T1	14.63	T1	17.75	T1	17.17
	T2	15.51	T2	11.1	T2	10.67
	T3	15.93	T3	12.49	T3	11.91
S3	T1	14.27	T1	14.94	T1	14.51
	T2	15.13	T2	16.33	T2	15.75
	T3	16.55	T3	17.75	T3	17.17
S4	T1	11.26 *	T1	11.26 *	T1	11.26 *
	T2	13.4	T2	12.68*	T2	12.68 *
	T3	14.27	T3	14.94	T3	14.51
S5	T1	9.84 *	T1	9.84 *	T1	9.84 *
	T2	11.26 *	T2	11.26 *	T2	11.26 *
	T3	11.26 *	T3	11.26 *	T3	11.26 *

El Cuadro 69 corresponde a costos unitarios para pavimentos de calles y estacionamientos en la alternativa de superficies de rodamiento de concreto asfáltico, utilizando geotextiles entre la subrasante y la subbase. A los datos marcados con un asterisco (*) no se les aplicó el uso del

geotextil, ya que por diseño no requieren de subbase. En forma similar no se aplicó el uso de geotextiles a los pavimentos a base de adoquines y de losas de concreto hidráulico, considerando que no requieren de subbase.

CUADRO 70. CUADRO GENERAL DE DECISIONES POR COSTO UNITARIO (EN US\$ / M²) PARA LA SELECCIÓN DE PAVIMENTOS DE ACERAS, ALAMEDAS, PARQUES Y PLAZOLETAS PEATONALES EN URBANIZACIONES CON BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO		
TIPO DE PAVIMENTO	MODALIDAD	
	POR CONTRATO	POR AUTOCONSTRUCCIÓN
Losa de concreto hidráulico	12.78	9.99
Adoquines de 6 cm	13.28	12.40

Cuadros comparativos según factores tránsito y tipo de suelo

En vista de que los métodos utilizados para el diseño de los distintos tipos de pavimento parten de parámetros de tránsito distintos: Concreto asfáltico: T1, T2 y T3. Adoquines: Servicio Secundario, Servicio Primario, Colectora y Arterial. Losas de concreto hidráulico: T0, T1, T1c y T2, en el Cuadro 71 se resumen los diferentes casos utilizando el "número diario de vehículos pesados en el año inicial de servicio en el carril de diseño" como parámetro comparativo para los distintos tipos de pavimento analizados. Cabe señalar que, aunque en algunos casos se utiliza la misma designación para el tránsito para distintos tipos de pavimento, no necesariamente corresponden a valores de tránsito iguales.

CUADRO 71. FACTOR TRÁNSITO NÚMERO DIARIO DE VEHÍCULOS PESADOS EN EL AÑO INICIAL DE SERVICIO EN EL CARRIL DE DISEÑO PARA DISTINTOS TIPOS DE PAVIMENTO		
TIPO DE PAVIMENTO	TIPO DE TRÁNSITO	NÚMERO DE VEHÍCULOS PESADOS
Concreto asfáltico	T1	1-10
	T2	11-25
	T3	26-50
Adoquín	Secundario	1-5
	Primario	6-20
	Colector	21-50
	Arterial	51-200
Concreto hidráulico	T0	0
	T1	1
	T1C	2-3
	T2	4-41

Algo similar sucede con los tipos de suelo. En este caso los parámetros son los siguientes: Concreto asfáltico: S1, S2, S3, S4 y S5. Adoquines: S1, S2 y S3. Losas de concreto hidráulico: S1, S2, S3 y S4. Adicionalmente, igual que el caso del factor tránsito, a pesar de que los nombres de los parámetros son los mismos para distintos tipos de pavimentos, corresponden a distintos valores de CBR en cada caso.

En el Cuadro 72 se comparan, desde el punto de vista del tipo de suelo, los distintos tipos de pavimento analizados en este estudio. En este caso el parámetro de comparación es el Valor

Soporte de California del suelo, conocido como CBR.

CUADRO 72. FACTOR SUELO HÍCULOS PESADOS EN EL AÑO INICIAL DE SERVICIO EN EL CARRIL DE DISEÑO PARA DISTINTOS TIPOS DE PAVIMENTO		
TIPO DE PAVIMENTO	TIPO DE SUELO	CBR
Concreto asfáltico	S1	2
	S2	3 - 5
	S3	6 - 10
	S4	11 - 20
	S5	> 20
Adoquín	S1	≤ 3
	S2	3 < CBR ≤ 15
	S3	> 15
Concreto hidráulico	S1	2 ≤ CBR ≤ 4
	S2	4 < CBR ≤ 7
	S3	7 < CBR ≤ 15
	S4	CBR > 15

Análisis de resultados

Para poder realizar un análisis comparativo de costos y tomar decisiones, debe tomarse en cuenta que los diseños y cuadros de costos parten de distintos parámetros de tránsito y de suelo, como se muestra en los Cuadros 71 y 72. El Cuadro 73 permite seleccionar, para un

determinado volumen de tránsito, expresado en términos de “*número diario de vehículos pesados en el año inicial de servicio en el carril de diseño*”, los distintos tipos de tránsito correspondientes a cada tipo de pavimento que se desean analizar.

CUADRO 73. CUADRO DE SELECCIÓN DEL FACTOR TRÁNSITO PARA DISTINTOS TIPOS DE PAVIMENTO																
Número diario de vehículos pesados en el año inicial de servicio en el carril de diseño																
TRÁNSITO PROMEDIO:	0	1	2-3	4	5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	> 50	
TIPO DE PAVIMENTO																
Asfalto	T1					T2					T3					
Adoquín	Servicio Secundario					Servicio Primario					Colectora					Art.
Concreto	T _o	T1	T1c	T2												

Similarmente, el Cuadro 74 permite seleccionar, para una determinada capacidad de soporte del suelo, expresada en términos del Valor Soporte de California, CBR, los distintos tipos de suelo

correspondientes a cada tipo de pavimento que se desean analizar.

CUADRO 74. CUADRO DE SELECCIÓN DEL FACTOR SUELO PARA DISTINTOS TIPOS DE PAVIMENTO																						
Valor Soporte de California (CBR)																						
CBR:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	> 20
Tipo de pavimento:																						
Asfalto	S1	S2					S3					S4					S5					
Adoquín	S1				S2										S3							
Concreto	S1				S2				S3					S4								

Ejemplo de uso de los cuadros para la selección de alternativas ante un caso típico

Problema:

Se desea urbanizar una finca para un proyecto de 80 viviendas. Se estima, por conteo directo, que habrá un tránsito promedio diario anual de diseño, proyectado a un periodo de diseño de 20

años, de T = 12. El CBR del suelo es 6. Como criterio de escogencia, se debe seleccionar la solución más económica.

Solución:

Para la escogencia del tipo de pavimento para los estacionamientos y las calles, primero se seleccionan los factores de tránsito y de suelo

para cada tipo de pavimento utilizando los Cuadros 73 y 74:

T=12: Para concreto asfáltico: T2
Para adoquín: Servicio primario
Para losa de concreto: T2.

CBR=6: Para concreto asfáltico: S3
Para adoquín: S2
Para losa de concreto: S2.

Con los valores de T y S para los distintos tipos de pavimento, se seleccionan los costos unitarios correspondientes del Cuadro 68, en US\$/m²:

Asfalto con base granular (T2, S3): 16,03
Asfalto con estabilización con cal (T2, S3): 17,74
Asfalto con estabilizac. c/cemento (T2, S3): 16,91

Adoquín base granular (Primario, S2): 14.93
Adoquín base lastre-cem. (Primario, S2): 14.68

Losa concreto hidráulico MR 35 (T2, S2): 23.37
Losa concreto hidráulico MR 42 (T2, S2): 24.17
Losa concreto hidráulico MR 45 (T2, S2): 25.78

El tipo de pavimento más económico es el de concreto asfáltico con base granular. De acuerdo con lo establecido en el Cuadro 30, el diseño de espesores correspondiente es el siguiente:

- Carpeta asfáltica: 5 cm.
- Base granular: 15 cm.
- Subbase granular: 25 cm.

Conclusiones

- Con base en los cuadros de diseño, costos y selección desarrollados en este estudio, y partiendo de datos base sobre el volumen de tránsito esperado y el tipo de suelo de la zona en un determinado proyecto, se puede determinar fácilmente el costo unitario de las distintas opciones de pavimento estudiadas: concreto asfáltico, concreto hidráulico y adoquines. De esta manera se facilita el diseño y la selección, con base en criterios técnicos y económicos, de la mejor opción de pavimento para un determinado proyecto.
- El estudio se limita a pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito. En las opciones de selección se consideran también dos modalidades de construcción: por contrato y por autoconstrucción.
- Para el uso de los cuadros desarrollados en este estudio el usuario debe conocer, necesariamente, el valor soporte, CBR, del suelo de la subrasante de su proyecto y estimar el volumen de tránsito esperado para una vida útil del pavimento de 20 años. Si es necesario, puede recurrir a la interpolación de sus resultados.
- No existe en el país información sistemática ni metodologías locales, derivadas de estudios propios, sobre la influencia del tipo de suelo y el volumen de tránsito en el diseño de pavimentos de concreto asfáltico para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito. Para los fines de este estudio se debió recurrir al *Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito* de la República de Colombia.
- Las empresas privadas nacionales poseen información detallada sobre el diseño de pavimentos a base de adoquines. Para los fines de este estudio se utilizaron los manuales de diseño suministrados por una de ellas.
- A pesar de ser las losas de concreto hidráulico una de las opciones de mayor utilidad, la documentación nacional disponible para el diseño de este tipo de pavimentos para calles, estacionamientos, aceras, parques, plazas y plazoletas es escasa e insuficiente o simplemente no está al alcance del usuario. En este caso, para realizar los diseños correspondientes, se recurrió a la colaboración de los expertos del Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto, ICCyC, Ing. Jorge Solano Jiménez e Ing. Roy Bogantes González, quienes realizaron los diseños estructurales utilizados en este estudio mediante la aplicación del programa digital especializado para el diseño de pavimentos rígidos denominado HDM-IV, *Highway Design and Maintenance Standard Mode, Versión IV*, desarrollado por el Banco Mundial en 1994.
- A nivel nacional existen varias empresas que distribuyen geotextiles para usos viales. El análisis realizado en este estudio sobre la utilización de este tipo de productos en el país refleja una reducción en los costos, al reducirse los espesores de la subbase.
- Los cuadros y matrices de selección por costos desarrolladas en este proyecto son aplicables a pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito, incluyendo las de interés social. Para la selección de los distintos tipos de pavimento se utilizan tres tipos de factores: el Factor Suelo (S), basado en el Valor Soporte de California, CBR, de la subrasante; el Factor Tránsito (T), basado en el “*número diario de vehículos pesados en el año inicial de servicio en el carril de diseño*”; y el Factor Modalidad de Construcción, considerándose dos modalidades: por contrato y por autoconstrucción. En vista de que los métodos seleccionados para el diseño de los distintos tipos de pavimento analizados en este estudio consideran los factores tránsito (T) y suelo (S)

con rangos diferentes, fue necesario desarrollar sendos cuadros de selección para poder hacer las comparaciones de costos de forma equitativa.

- En la modalidad por autoconstrucción no se consideró la opción de pavimentos con concreto asfáltico, ya que el material asfáltico no se presta para este tipo de modalidad por su fabricación en caliente y la necesidad de utilización de técnicas, maquinaria y equipo sofisticados, de difícil manejo y operación por medio de la autoconstrucción.
- En el caso de los adoquines, para las dos modalidades consideradas en este estudio: por contrato y por autoconstrucción, por recomendación de los expertos consultados, se desestimó la posibilidad de fabricarlos en sitio, recurriéndose a la compra a empresas especializadas en su fabricación. Esto por cuanto es muy importante la calidad del producto para obtener una solución duradera.
- Es concluyente que suelos de baja capacidad soporte obligan al diseño de estructuras de pavimento de mayores espesores, incrementando los costos.
- A su vez, tránsitos de mayor volumen obligan al uso de espesores de pavimento mayores, incrementando los costos del producto terminado.
- De los cuadros de diseño para pavimentos a base de losas de concreto hidráulico se debe resaltar que el espesor de la base granular se mantiene invariablemente en 15 cm, constante para los distintos tipos de tránsito y calidad de los suelos analizados.
- En los cuadro de diseño y costos para pavimentos de losas de concreto hidráulico hay espesores repetitivos. Esto se debe a que, para su adecuada utilización, se debe de trabajar con un espesor mínimo de losa.
- La decisión de tratar el diseño de aceras, alamedas, parques y plazoletas de uso exclusivamente peatonal como un solo diseño, se deriva de la opinión de los expertos consultados y de la experiencia acumulada de muchos años a nivel nacional.
- Es de suma importancia, tener un estricto control con la fabricación del concreto hidráulico, pues se estima que por error humano en la calidad de su elaboración, se obliga a usar un mínimo de 8 sacos de cemento para concretos MR 35, lo cual con un buen control se puede disminuir esa cantidad y llegar a mejor costo general del concreto.

Recomendaciones

- Para urbanizaciones típicas de interés social en el país se recomienda las siguientes opciones y tipos de tránsito: pavimentos a base concretos asfálticos diseñados para un tránsito tipo T2; pavimentos de concreto hidráulico diseñados para un tránsito tipo T1C; o pavimentos a base de adoquines para un servicio de tránsito de tipo secundario. Dichas condiciones de tránsito coinciden, en general, con las condiciones típicas que se dan en dichas urbanizaciones.
- Si bien la modalidad por autoconstrucción resulta más económica que la modalidad por contrato, la primera requiere de un estricto control y acompañamiento por parte de técnicos y profesionales calificados, para no afectar la calidad de las obras.
- Si se utilizan los geotextiles entre la subrasante y la subbase en pavimentos para urbanizaciones con bajo volumen de tránsito. Según se puede apreciar en este estudio, con el uso de geotextiles se pueden lograr reducciones en los costos. Adicionalmente, los beneficios son múltiples, principalmente considerando las condiciones de humedad que prevalecen en el país y la presencia usual de suelos de mala calidad. Los geotextiles mejoran la distribución de esfuerzos, evitando la concentración de los mismos gracias al efecto de confinamiento que producen, lo que a su vez se traduce en un aumento en la capacidad soporte de la estructura. También funcionan como barreras de separación entre capas, evitando la contaminación de los estratos granulares seleccionados con los materiales finos de la subrasante. Al colocar geotextiles en la estructura de pavimento y conservar el diseño original (espesores y tipo de capas), se logra aumentar la vida útil de la estructura; es decir, se logra aumentar el número de repeticiones de las cargas de tránsito.
- Se recomienda realizar estudios a nivel nacional sobre el diseño de pavimentos de concreto asfáltico y de concreto hidráulico aplicables a proyectos de urbanizaciones con bajo volumen de tránsito. Esto debido a que no existe en el país información sistemática ni metodologías locales, derivadas de estudios propios, sobre la influencia del tipo de suelo y el volumen de tránsito en el diseño de este tipo de pavimentos.
- Para la modalidad de autoconstrucción con adoquines, para reducir costos, se recomienda que los mismos sean fabricados y distribuidos en los respectivos proyectos por las propias municipalidades, como sucede actualmente en Guanacaste, o por instituciones del Estado u organizaciones no gubernamentales de la zona.
- En los objetivos iniciales de este proyecto se pretendía analizar también una solución comercial de pavimentos rígidos permeables, conocida como *Grass-Crete*. Sin embargo dicho análisis fue desestimando, ya que la empresa nacional representante de la casa estadounidense que desarrolló el *Grass-Crete* no lo está importando. Por otra parte, consultas realizadas a los productores vía Internet resultaron en costos elevados para este tipo de solución. En este caso se recomienda realizar estudios que permitan desarrollar algo similar, pero competitivo, fabricado en nuestro país.
- Se recomienda **continuar**, un capítulo nuevo aplicable al estudio realizado, en busca de automatizar las variables costo de recursos materiales y humanos a través de la realización de un banco de datos, para correr la actualización de costos en el tiempo con mayor rapidez de actualización.
- En autoconstrucción, fabricar los adoquines por los beneficiarios para bajar costos.

Referencias

- AMANCO 2000 *Synthetic Industries, Inc.*
División de Productos Geosintéticos
GPD-IN-200-SPA.
- ICPC Instituto Colombiano de Productores de
Cemento. Apoyado y adoptado por la
Alcaldía de Medellín, Colombia, 2003.
Manual de Diseño y Construcción de
Componentes del Espacio Público.
- ICPC Instituto Colombiano de Productores de
Cemento. Notas técnicas, Medellín
Colombia.
- Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón,
1986, Santiago Chile. Cartilla de
recomendaciones básicas No. 3.
Aceras.
- Maccaferri. Manual Técnico, refuerzo para base
de Pavimentos.
- Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de
Vías República de Colombia.
- Murgueitio Ruiz Ingenieros Ltda.. 1997 Manual de
Diseño de Pavimentos Asfáltico. En
vías con bajos volúmenes de tránsito.
- Torres Muñoz Marcela, 1992. Adoquines de
Concreto para Pavimentos Maccaferri
Manual Técnico, Refuerzo para
Bases de Pavimentos.
- Webster, SL, Grau, RH y Williams, T.P. Mayo
1992. *Description and Application of
Dual Mass, Dynamic Cone
Penetrometer Report GL-92-3.
Department of the Army, Washington,
D.C.* Traducción Proyecto MOPT/GTZ
(E. Barquero, I. Fernández).
- Amador Rodríguez, Ing. 2005. Urbanización
Interés Social IMAS. Comunicación
personal.
- Artavia Alvarado Miguel, Ing. 2005.
Urbanizaciones Interés Social
FUPROVI. Comunicación personal.
- Bogantes González Roy, Ing. 2005. Diseño de
losas de concreto hidráulico ICCYC
San Pedro-San José. Comunicación
Personal.
- Solano Jiménez Jorge, Ing. 2005. Diseño de
losas de concreto hidráulico. ICCyC San
Pedro-San José. Comunicación p
personal.
- Méndez Roberto Ing. 2005. Diseño y Costos
geotextiles, Distribuidora de Materiales
Textiles S. A. Consulta.
- Naranjo Ronald, Ing. 2005. Diseño con
geotextiles, AMANCO Costa Rica.
Consulta.

Apéndices

Ejemplo de actualización de costos al 28 de julio del 2006, con objeto de analizar el comportamiento de los costos debido a variaciones fuertes en los costos de la materia prima en los pavimentos de concreto asfáltico.

Ejemplo de actualización de costos al 28 de Julio del 2006, con objeto de analizar el comportamiento de los costos por variaciones fuertes en la materia prima de los pavimentos en Asfalto

Valor del dólar americano al 7 Marzo del 2006

501,25 Colones/\$

A- Alternativa Rodadura Arena-Asfalto, Base y Sub base granulares de Tabla N° A

Asf. T1-S1

Variables: T1, S1 y CBR 2

POR CONTRATO

Capa de Rodadura 5cm

Base granular 15cm

Subbase 20cm

Subrasante mejorada 30cm

Sujeto Asf.T1-S1	Cantidad	Unidad	501,25 Colones/\$		Total	Total
			Costo Unitario	Costo Unitario		
Concreto asfáltico	0,05	m3	71,82	29,93	3,59	1,50
Imprimación	700	Grs	0,0002	0,0001	0,17	0,09
Riego liga	450	Grs	0,0003	0,0002	0,16	0,08
Base granular comp.	0,192	m3	16,16	6,01	3,10	1,15
Subbase granular comp.	0,256	m3	13,57	5,79	3,47	1,48
Mejoramiento subrasante	1	m ²	0,00	1,25	0,00	1,25
Total por m²					\$	16,04

Donde la Mano de Obra: Con Rendimientos:

Mano de obra asfalto	1,5000	Hrs/H
Imprimación	0,0900	Hrs/H
Riego liga	0,0800	Hrs/H
Base granular comp.	1,1568	Hrs/H
Subbase granular comp.	1,4861	Hrs/H
Mejoramiento subrasante	1,2500	Hrs/H

B- Alternativa Acabado Adoquín de 60mm y 80mm, Base granulares de Cuadro N°5

T3,B3

501,25 Colones/\$

Variables: Clase de Tránsito, Tipo base y CBR

Servicio Colector, Base granular, Adoquín de 80mm y CBR < 3

Adoquín de 80mm

Arena 50mm

Arena fragua

Base granular 260mm

Sujeto T3,B3	Cantidad	Unidad	Costo Unitario		Total	
			Material	Mano de Obra	Material	Total Mano de Obra
Adoquín 80mm	1	m ²	8,54	2,09	8,54	2,09
Arena asiento	0,065	m ³	14,36	3,19	0,93	0,21
Arena fina de fragua	0,0005	m ³	14,96	8,58	0,01	0,0043
Base granular comp.	0,3328	m ³	13,57	5,79	4,51	1,93
Total por m²					18,23	

Donde la Mano de Obra: Con Rendimientos:

Adoquín 80mm	2,1	Hrs/H
Arena asiento	0,208	Hrs/H
Arena fina de fragua	0,0043	Hrs/H
Base granular comp.	1,931904	Hrs/H

Conc. T1c, CBR 2-4

Variables: Tránsito (T), base granular y CBR 2-4

Concreto f'c 210 Kg/cm², 15.0 cm

Base granular 15cm

Sub rasante mejorada 30cm

501,25 Colones/\$

Sujeto Conc. T1c, CBR 2-4	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Material	Costo Unitario Mano de Obra	Total Material	Total Mano de Obra
Concreto f'c210Kg/cm ²	0,1545	m3	90,37	22,14	13,96	3,42
Base granular comp.	0,192	m3	16,16	6,01	3,10	1,15
Mejoramiento subrasante	1	m ²	0,00	1,25	0,00	1,25
Total por m²						22,89

Valor del dólar americano al 28 de Julio del 2006

514 Colones/\$

A- Alternativa Rodadura Arena-Asfalto, Base y Sub base granulares de Tabla N° A

Asf. T1-S1

Variables: T1, S1 y CBR 2

POR CONTRATO

Capa de Rodadura 5cm

Base granular 15cm

Subbase 20cm

Subrasante mejorada 30cm

Sujeto Asf.T1-S1	Cantidad	Unidad	514 Colones/\$		Total	Total
			Costo Unitario	Costo Unitario		
			Material	Mano de Obra	Material	Mano de Obra
Concreto asfáltico	0,05	m3	205,55	48,64	10,28	2,43
Imprimación	700	Grs	0,00024	0,0001	0,17	0,09
Riego liga	450	Grs	0,00034	0,0002	0,15	0,08
Base granular comp.	0,192	m3	15,76	6,21	3,03	1,19
Subbase granular comp.	0,256	m3	13,23	5,99	3,39	1,53
Mejoramiento subrasante	1	m ²	0,00	1,29	0,00	1,29
Total por m²					\$	23,63

Donde la Mano de Obra: Con Rendimientos:

Mano de obra		
asfalto	2,5000	Hrs/H
Imprimación	0,0950	Hrs/H
Riego liga	0,0849	Hrs/H
Base granular comp.	1,2262	Hrs/H
Subbase granular comp.	1,5752	Hrs/H
Mejoramiento subrasante	1,3250	Hrs/H

A pesar que el colón/\$ devalúa, hay fuerte sobre costo por costo de los hidrocarburos.

B- Alternativa Acabado Adoquín de 60mm y 80mm, Base granulares de Cuadro N°5

T3,B3

514 Colones/\$

Variables: Clase de Tránsito, Tipo base y CBR

Servicio Colector, Base granular, Adoquín de 80mm y CBR < 3

Adoquín de 80mm

Arena 50mm

Arena fragua

Base granular 260mm

Sujeto T3,B3	Cantidad	Unidad	Costo	Costo	Total	Total
			Unitario	Unitario	Material	Mano de Obra
Adoquín 80mm	1	m ²	9,89	2,17	9,89	2,17
Arena asiento	0,065	m3	14,79	3,30	0,96	0,21
Arena fina de fragua	0,0005	m3	15,27	8,87	0,01	0,0044
Base granular comp.	0,3328	m3	13,81	5,99	4,60	1,99
Total por m²					19,83	

Donde la Mano de Obra: Con Rendimientos:

Adoquín 80mm	2,226	Hrs/H
Arena asiento	0,22048	Hrs/H
Arena fina de fragua	0,004558	Hrs/H
Base granular comp.	2,047677133	Hrs/H

Aumenta costo en materiales, aumenta costo mano de obra y se ve desminuido por valor del colón/\$

Conc. T1c,CBR 2-4

Variables: Tránsito (T), base granular y CBR 2-4

Concreto f'c210Kg/cm², 15.0cm

Base granular 15cm

Sub rasante mejorada 30cm

514 Colones/\$

Sujeto Conc. T1c,CBR 2-4	Cantidad	Unidad	Costo Unitario Material	Costo Unitario Mano de Obra	Total Material	Total Mano de Obra
Concreto f'c210Kg/cm ²	0,1545	m3	94,84	23,20	14,65	3,58
Base granular comp.	0,192	m3	16,54	6,21	3,18	1,19
Mejoramiento subrasante	1	m ²	0,00	1,30	0,00	1,30
Total por m²					23,91	

Actualización costos \$, del 07/03/2006 al 28/07/2006				%
ITEM Analizado:		Antes \$	Ahora \$	
Asfalto	Asf. T1. S1.	16,04	23,63	47,35
Adoquín	T3, B3	18,23	19,83	8,80
Concreto	T1c, CBR 2-4	22,89	23,91	4,50