



Aplicación práctica del método AASHTO-93 para el diseño de pavimento rígido

Practical application of the AASHTO-93 method for rigid floor design

Aplicação prática do método AASHTO-93 para o projeto de pavimento rígido

María Gabriela Castro-Vásquez ^I
gcastrova@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1662-4788>

Luis Alberto Castro-Vásquez ^{II}
lucava23@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1672-1542>

Prissila Germania Castro-Vásquez ^{III}
prisicastro@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3297-6134>

Correspondencia: gcastrova@hotmail.com

Ciencias económicas y administrativas
Artículo de investigación

***Recibido:** 05 de julio de 2020 ***Aceptado:** 20 de agosto 2020 * **Publicado:** 07 de septiembre de 2020

- I. Ingeniero Civil, Maestrante en Geografía, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial, Universidad de la Habana, Habana, Cuba.
- II. Ingeniero Civil, Maestrante en Energías Renovables, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- III. Economista, Magíster en Administración de Empresas, Universidad Católica de Cuenca sede Azogues. Azogues, Ecuador

Resumen

Introducción. En este artículo se presenta la aplicación del método AASTHO-93 para realizar un diseño estructural de las capas de un pavimento rígido. Se ha seleccionado este método porque a diferencia de otros, incorpora el concepto de serviciabilidad en el diseño. **Metodología.** Se realizará la descripción y aplicación paso a paso de este método con todos los elementos necesarios para su correcta aplicación. La obtención de la muestra de suelo para empezar con el desarrollo del método, fue tomada y analizada bajo todas las exigencias para este tipo de procedimiento. Para el análisis de tránsito se utilizó una videocámara por 7 días, colocada estratégicamente en la vía a pavimentar, permitiendo realizar correctamente el conteo, análisis e identificación de las características del tráfico que circula en el tramo. **Conclusiones.** Con la aplicación de este método se logrará diseñar correctamente cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento rígido, obteniendo los niveles de seguridad, comodidad y serviciabilidad adecuados para los volúmenes de tránsito actuales y futuros, garantizando su funcionalidad mientras cumple su vida útil; proporcionando un confort a los usuarios, así como también influirá en un mejor desarrollo económico y social para el sector en donde sea implementada la estructura del pavimento.

Palabras Claves: Pavimentos rígido; serviciabilidad; tránsito; Método AASTHO-93.

Abstract

Introduction. This article presents the application of the AASTHO-93 method to realize a structural design of the layers of a rigid floor. This method has been selected because it differentiates it from others, it incorporates the concept of serviceability in design. **Methodology.** The description and application will be carried out step by step using this method with all the necessary elements for its correct application. The obtaining of the material sample to use with the development of the method, was taken and analyzed under all the requirements for this type of procedure. For the traffic analysis, a video camera is used for 7 days, strategically placed on the road to be paved, allowing to correctly carry out the content, analysis and identification of the characteristics of the traffic that circulates on the stretch. **Conclusions.** With the application of this method, it will be possible to correctly design each layer that conforms to the structure of the rigid floor, obtaining the levels of security, convenience and serviceability adapted to the current and future traffic volumes, guaranteeing its usefulness in addition to its useful life. ; providing a comfort to users, as well as will also influence a better economic and social development for the sector where the structure of the pavement is

implemented.

Keywords: Rigid floors; serviceability; Traffic; AASHTO-93 method.

Resumo

Introducción. Neste artigo se apresenta a aplicação do método AASTHO-93 para realizar um projeto estrutural das capas de um pavimento rígido. Se ha seleccionado este método porque a diferença de outros, incorpora o conceito de serviciabilidad no diseño. Metodología. Se realizar a descrição e aplicação paso a paso de este método con todos los elementos necesarios para su correcta aplicación. A obtenção da muestra de suelo para empegar com o desarrollo del método, fue tomada y analizada bajo all las demandencias for this type of processimiento. Para que a análise de transição se utilize um videocassete por 7 dias, posicionada estrategicamente na via a pavimentar, permitindo realizar corretamente o conteúdo, análise e identificação das características do tráfico que circula no trânsito. Conclusiones. Com a aplicação de este método se logrará diseñar cada corretamente uma das capas que conforma a estructura do pavimento de vida rígido, obteniendo los niveles de segurança, comodidad y serviciabilidad adecuados para los volúmenes de transito atuais y futuros, garantindo sua funcionabilidade mientras cumple suprema útil ; Proporcionando um conforto aos usuários, como también influirá em um mejor desarrollo econômico y social para el setor en donde sea implementada la estructura del pavimento.

Palavras-chave: Pavimentos rígidos; serviciabilidad; tránsito; Método AASHTO-93.

Introducción

Desde el principio de la existencia del ser humano se ha observado como una de sus principales necesidades es el comunicarse, razón por la cual se fueron desarrollando varios métodos y formas para poder lograr ello, siendo una de la más transcendentales la construcción de caminos, desde los caminos de herradura, los caminos a base de piedra, hasta llegar a nuestra época con métodos perfeccionados basándose siempre en la experiencia que han tenido los antepasados, esto conlleva a que en la actualidad tengamos grandes autopistas, que han servido para lograr un mejor y mayor desarrollo, tanto económico y social como así se ve reflejado en el progreso y desarrollo de nuestro País.

Este estudio describirá brevemente las definiciones de pavimentos, así como también explicará sistemáticamente el diseño estructural de las capas del pavimento rígido; los espesores de cada

una de estas capas serán calculados gracias al método AASHTO, el cual considera entre otras cosas que la estructura debe ser resistente a las acciones de cargas producidas por el tránsito.

El estudio de las muestras de suelo para empezar con el diseño fue realizado bajo las normas vigentes para este procedimiento.

Se presentará también un estudio de tráfico de 7 días consecutivos desde el martes hasta el lunes (24 hora diarias), los cuales fueron realizados a través de una cámara de video y posteriormente procesados en una hoja de cálculo. Este estudio nos permite analizar el tráfico existente, el mismo que servirá para conocer la intensidad y densidad del tráfico; para clasificarlo según categorías de vehículos, como por ejemplo Livianos, Pesados y Buses; los resultados que se obtengan servirán para que el diseño de pavimento sea el adecuado para soportar las cargas externas de tráfico que generan esfuerzos y deformaciones internas en las capas que lo componen.

Objetivo General: Plantear el diseño estructural de las capas del pavimento rígido, mediante la utilización del método AASHTO-93, explicando detalladamente todos sus pasos para proporcionar una correcta comprensión del método.

Objetivos Específicos:

- Realizar un correcto análisis de la muestra de suelo.
- Aplicación del método AASHTO para el dimensionamiento de las capas del pavimento rígido.
- Determinar el flujo vehicular en la vía e identificar las características del tráfico.
- Lograr un diseño de pavimento rígido que proporcione comodidad y seguridad a los usuarios.

Pavimento: Está compuesto por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas descansan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas reiteradas del tránsito le transmiten durante el periodo de vida para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

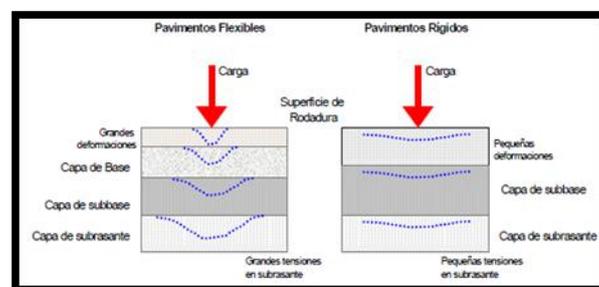
Características de un Pavimento: Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas aplicadas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.

- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades de diseño de la vía, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permite una apropiada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser duradero.
- Debe disponer de condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe tener el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

Diseño Estructural: En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: pavimento flexible y pavimento rígido; pueden existir soluciones intermedias a las cuales se les ha llamado pavimentos combinados o Semirrígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como se observa en la figura 1.

Figura. 1. Esquema del comportamiento de pavimentos.



Fuente: Manual Centroamericano de Diseño de pavimentos. Capítulo 5, pag.1.

Es común que emerja la pregunta de qué opción es la mejor entre un pavimento rígido y uno flexible. No existe, de una manera generalizada, una respuesta a esta incógnita. Se deben de tener en cuenta las variables que intervienen en la elección del tipo de pavimento, para las cuales una alternativa puede resultar mejor que otra bajo las mismas circunstancias. En la práctica común, no es inaudito ver que se opte por la solución de menor coste, pero únicamente considerando la variable de construcción, sin evaluar una serie de alternativas como por ejemplo el mantenimiento, la vida útil, el tipo de vía y estudio económico, es decir el tiempo de recuperación de la inversión de ser el caso.

Al momento de escoger el tipo de capa de rodadura a implementarse en una vía es necesario tener en cuenta que los pavimentos rígidos tienen mayor durabilidad que los flexibles. Las capas flexibles son nobles, ya que permiten la construcción en espesores menores que los rígidos, lo cual lleva a los constructores a abusar de esta característica para disminuir los costos de construcción y que la obra resulte “económica” dejando de lado los costos que se generaran por conservación y por operación. En el caso de las losas de hormigón, los espesores de construcción mínimos son mayores que los de las capas flexibles, debido a esto es que llevan una ventaja por sí mismos sobre los pavimentos flexibles.

En el caso de tener zonas de fallas geológicas lo recomendable técnicamente es colocar sobre estas superficies, pavimento flexible, ya que este tiene un mayor rango de elasticidad, con esto evitamos fisuras constantes en estas zonas. Mientras que la tolerancia a deformaciones del pavimento rígido es menor, por lo mismo tiende a fisurarse en este tipo de zonas con mayor facilidad. Una solución óptima para estos casos es reponer el suelo desde la raíz de la falla a través de un estudio geotécnico, con esto quedara abierta la opción de usar un pavimento rígido con seguridad.

Diseño de Pavimento Rígido: Los pavimentos rígidos son aquellos que fundamentalmente están compuestos por una losa de concreto hidráulico. Por su mayor rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losas y juntas sin pasa juntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son inapreciables.

Las losas se apoyarán en la capa subrasante, si ésta es de buena calidad y el tránsito es ligero, o bien, sobre una capa de material seleccionado, llamada sub-base. Esta capa no tiene funciones estructurales, empleándose como una superficie de apoyo, capa drenante, plataforma de trabajo, etc. Y formada por materiales granulares o bien estabilizada con cemento Portland, o inclusive por concreto pobre.

Metodología

Este documento se basa en una investigación descriptiva, presentando las características de los pavimentos rígidos y la aplicación detallada del método AASHTO para el diseño de las capas estructurales del pavimento. Para el estudio y análisis de las muestras de suelo necesarias para clasificar el mismo, y partir con el diseño, se realizaron en un laboratorio que cumple con todas las normas técnicas de calidad en los procesos aplicados en las muestras. Para la recolección de la información del tráfico se realizó un análisis riguroso del mismo mediante un coteo a

través de una hoja de cálculo y un software instalado junto con a una videocámara mediante la cual se pudo definir la cantidad, tipo y características del mismo.

Estudios de suelos

Muestra de Suelo: La muestra de suelo obtenida para la realización de los ensayos se extrajo tomando en cuenta que el comportamiento de la estructura del pavimento, está relacionada con las propiedades físicas y la resistencia de los suelos del lecho de las vías (subrasante natural), para obtener la información geotécnica básica donde se pretenda implantar la estructura de pavimento rígido, se recomienda realizar una exploración del subsuelo mediante una excavación cuadrada de 1.00*1.00m y profundidad de 1.50m como mínimo, en lo que respecta al número de muestras, esto está en función de la longitud de la vía a ser pavimentada y de acuerdo a las recomendaciones que constan en el Manual del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, sin embargo queda a criterio del diseñador el aumentar la cantidad de muestras dependiendo de las necesidades por simple inspección visual. Para el presente estudio se ha procedido a la excavación de tres pozos a cielo abierto, con una profundidad aproximada de 1.70m.

Con las diferentes muestras obtenidas se han realizado ensayos con fines clasificatorios, cuya finalidad ha sido la de permitir la identificación de los diferentes tipos de suelos presentes en las zonas del proyecto, dichos ensayos se detallan a continuación:

1. Análisis granulométrico: Procedimiento aplicado: NORMAS: ASTM D-422, AASHTO T-88 INEN
2. Limite liquido: Procedimiento aplicado: NORMAS: ASTM D-423 AASHTO T-89.
3. Limite Plástico: Procedimiento aplicado: NORMAS: ASTM D-424 AASHTO T-90

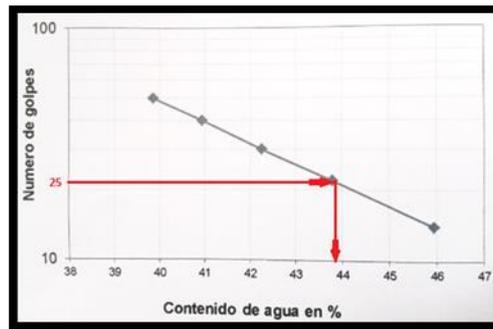
Resultados obtenidos

Tabla 1. Análisis granulométrico, fracción gruesa-fina.

FRACCION GRUESA			FRACCION FINA		
PESO INICIAL:	100		PESO INICAL HUMEDO:	500	
PESO FINAL:	100		PESO INICIAL SECO:	425.3	
ERROR:	0				
TAMIZ No	PESO RET ACUMULADO	% QUE PASA	TAMIZ No	PESO RET ACUMULADO	% QUE PASA
2"	0	100	No. 10	9	97.88
1 1/2"	0	100	No. 40	24.7	94.19
1"	0	100	No. 200	84.4	80.16
3/4"	0	100	PASA No. 200	340.9	
3/8"	0	100			
No. 4	0	100			
PASA No. 4	100				

Fuente: Los Autores.

Figura 2. Grafica valores límite líquido.



Fuente: Los Autores.

Tabla 2. Cálculo del límite líquido.

LIMITE LIQUIDO	NUMERO DE GOLPES	PESO HUM + REC	PESO SECO + REC	PESO RECIPIENTE	CONTENIDO DE AGUA
NORMAS: ASTM D-423 AASHTO T-89	50	35.13	30.15	17.65	39.84
	40	35.24	30.39	18.54	40.93
	30	35.37	30.33	18.4	42.25
	22	35.45	30.3	18.54	43.79
	14	35.57	30.09	18.16	45.93
LIMITE LIQUIDO					43.57

Fuente: Los Autores

Tabla 3. Cálculo del límite plástico.

LIMITE PLASTICO	PESO HUM + REC	PESO SECO + REC	PESO RECIPIENTE	CONTENIDO DE AGUA
NORMAS: ASTM D-424 AASHTO T-90	15.67	14.4	8.03	19.94
	15.87	14.93	10.22	19.96
	15.77	14.53	8.07	19.2
	15.62	14.39	8.1	19.55
	LIMITE PLASTICO			

Fuente: Los Autores.

Tabla 4. Resultados finales.

RESULTADOS FINALES			
LL=	44	GRAVA =	0
LP=	20	ARENA =	19.84
IP=	24	FINOS =	80.16

Fuente: Los Autores.

Clasificación de los Suelos: Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación son usados, el Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS.

Para tener mayor seguridad del tipo de suelo con el que se va a trabajar, se ha realizado la clasificación del mismo por los dos sistemas antes mencionados.

Clasificación SUCS:

Tabla 5. Clasificación de suelos por el Método SUCS.

División Mayor		Simbolo	Nombres típicos	Criterio de clasificación en laboratorio		
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla No. 200	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 200.	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.	Coeficiente de uniformidad C_u : mayor de 4. Coeficiente de curvatura C_c : entre 1 y 3.		
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos.	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.		
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y fino.	Límites debajo de la "Línea A" y con IP mayor que 4.	Arriba de la "Línea A" y con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.	
		GC	Gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla.	Límites arriba de la "Línea A" y con IP mayor que 7.		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 200.	Arena limpia poco o nada de finos.	SW	Arenas bien graduadas, arena con grava, poco o nada de finos.	Coeficiente de uniformidad C_u : mayor de 6. Coeficiente de curvatura C_c : entre 1 y 3.	
			SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, poco o nada de finos.	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW.	
		Arena con finos en cantidad apreciable.	SM	Arenas limosas, mezcla de arena y fino.	Límites debajo de la "Línea A" y con IP mayor que 4.	Arriba de la "Línea A" y con IP entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.	Límites arriba de la "Línea A" y con IP mayor que 7.	
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50%	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	<p>Línea A = $0.73(LL - 20)$ Línea U = $0.00(LL - 8)$</p>		
		CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arenosas o limosas.			
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50%	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos.			
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.			
Suelos altamente orgánicos.	Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

Fuente: Crespo Villalaz. C. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones. México: Limusa S.A. Pag.87

Con la utilización de la tabla 5 se tiene un suelo de tipo: ML

Clasificación AASHTO:

Tabla 6. Clasificación de suelos por el Método de la AASHTO.

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupo	A-1-a	A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-7-5	A-7-6		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)										
Serie ASTM	#10	≤ 50								
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51						
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)										
Limite líquido			≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	> 41
Índice de plasticidad	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20		
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos	
CAUDAL	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA			

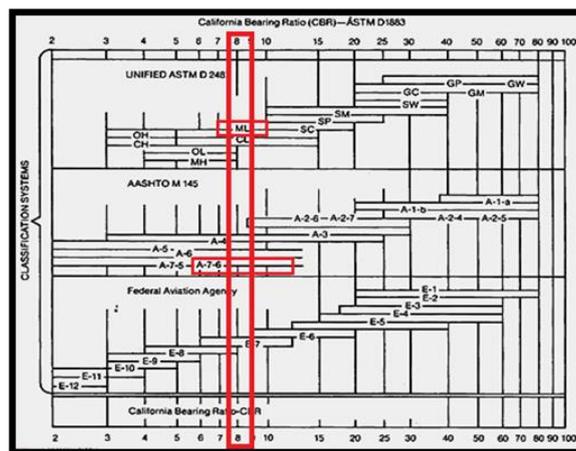
Fuente: Braja M. Das. (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Sacramento-California, Estados Unidos: Editorial Thomson. Pag. 35

Con la utilización de la tabla 6 se tiene un suelo de tipo: A-7-6

Determinación del Valor relativo de soporte C.B.R. (Relación Californiana de Soporte):

El ensayo de C.B.R mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. Con los resultados finales de los ensayos anteriores se estima el valor de CBR en relación a su tipo de suelo, tal como se muestra en la tabla 7:

Tabla 7. Valores de C.B.R, en función del tipo de suelo.



Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93. Pag.60

Con la utilización de la tabla 7 se tiene: CBR = 8 %

Conteo de tráfico: El principal resultado de los conteos vehiculares será la obtención del Tráfico Promedio Diario Anual, TPDA, junto con este se tendrá la composición del tráfico que circula en el tramo en estudio.

Tabla 8. Calculo del TPDA. Fuente: Los Autores

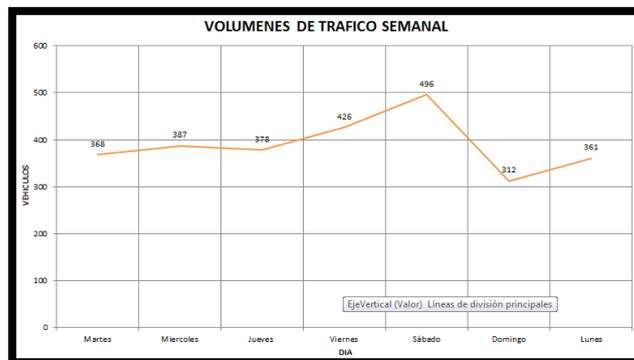
VOLUMEN SEMANAL Y ANUAL											
Días	TD	TS	TPDS	FORMULAS	K	S	σ	TPDA			
Martes	368	2728	389,000	$S = \frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n-1}$ $\sigma = \frac{S}{n} \times \left(\frac{N-n}{N-1} \right)$ $TPDA = TPDS \pm K \sigma$	1,64	57,87	21,42	353,87	$\geq TPDA \geq$	424,13	
Miercoles	387										
Jueves	378										
Viernes	426										
Sábado	496										
Domingo	312										
Lunes	361										
								389,00			
								TF = TA (1 + i)ⁿ	852,35	853	Veh mix/ día

Tabla 9. Composición Vehicular. (peso bruto vehicular permitidas según MTOP)

Días	COMPOSICIÓN VEHICULAR								Total
	Livianos		Bus Liviano		2DA		3A		
	Vehiculos	%	Vehiculos	%	Vehiculos	%	Vehiculos	%	
Martes	215	58.42%	144	39.13%	9	2.45%	0	0.00%	368
Miercoles	232	59.95%	146	37.73%	7	1.81%	2	0.52%	387
Jueves	226	59.79%	142	37.57%	10	2.65%	0	0.00%	378
Viernes	265	62.21%	148	34.74%	13	3.05%	0	0.00%	426
Sábado	323	65.12%	152	30.65%	16	3.23%	5	1.01%	496
Domingo	246	78.85%	62	19.87%	4	1.28%	0	0.00%	312
Lunes	211	58.45%	144	39.89%	6	1.66%	0	0.00%	361
Total	1718	62.98%	938	34.38%	65	2.38%	7	0.26%	2728

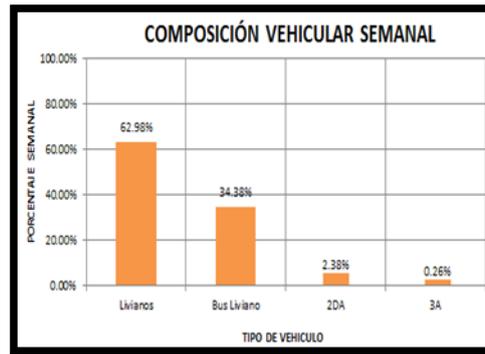
Fuente: Los Autores

Figura 3. Volúmenes de Tráfico Semanal.



Fuente: Los Autores

Figura 4. Composición Vehicular Semanal



Fuente: Los Autores.

Procedimiento de diseño: Método AASHTO-93:

Para el diseño del pavimento del proyecto se utilizará un Hormigón de cemento Portland de 300Kg/cm²; el cual es una mezcla de agregados, agua y cemento; con una considerable resistencia a la compresión; debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera principalmente la resistencia del concreto trabajando a flexión, con la resistencia del hormigón de 300 Kg/cm² se considera su valor de módulo de rotura necesario para el tipo de vía a ser pavimentada, siendo este de 42 Kg/cm²

- **S'c = módulo de ruptura, en libras por pulgadas cuadradas (psi), para el concreto de cemento Pórtland o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.**

Viene dado por la fórmula mostrada: $S_c = 8a10\sqrt{f_c}$ La resistencia a la compresión que se adopta para el diseño es de 300 Kg/cm² que equivale a 4300 psi. Por lo tanto, aplicando la fórmula: S'c= 590.17 psi.

Este valor puede ser comprobado utilizando la tabla 10, de acuerdo al tipo de vía a pavimentar.

Tabla 10. Valores del Módulo de Rotura de acuerdo a la clasificación funcional del camino.

Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	Kg/cm ²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Vías Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93.

Adoptando el valor recomendado se tiene: S'c= 597.4 psi

- k = Módulo de reacción de la subrasante. Es el valor de la capacidad de soporte del suelo, la cual depende del Módulo de resiliencia de la subrasante y subbase y del Módulo de elasticidad de la subbase. El cálculo de k se realiza mediante la utilización de nomogramas, para lo cual es necesario conocer los siguientes datos:
 - DSB= es el espesor de la sub-base, se recomienda 8pulg, como mínimo. Para el diseño se adoptará el mínimo recomendado:

$$\text{DSB} = 8\text{pulg}$$

- ESB= Módulo Elástico del material de sub-base, se obtiene normalmente por relación gráfica con el CBR. Para el caso de la vía en diseño se ha determinado un valor de

$$\text{ESB} = 20000 \text{ psi.}$$

- El módulo de resiliencia MR obtenido en los cálculos referentes al pavimento flexible están en función del valor del CBR = 8% lo cual nos da un valor:

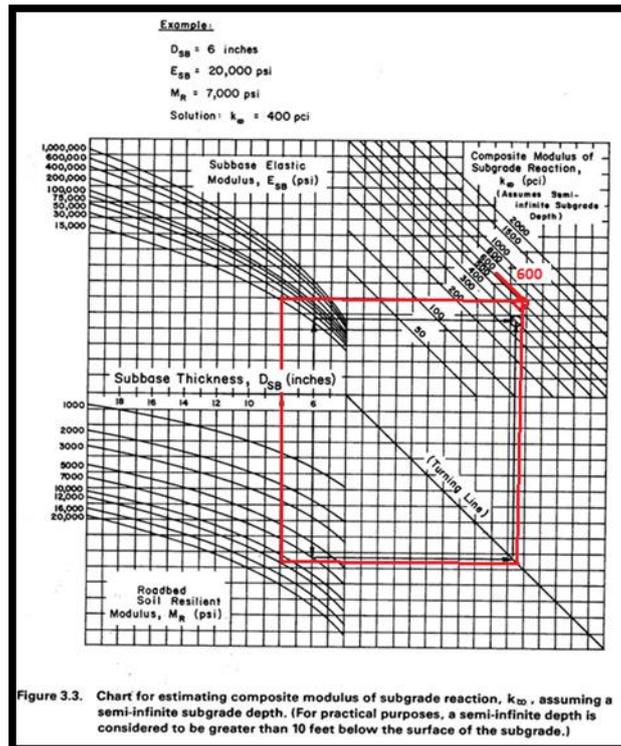
$$\text{MR} = 1500 * \text{CBR} = 1500 * 8 = 12000 \text{ psi.}$$

- Es necesario también analizar en el estudio geotécnico, la presencia o la ausencia de un estrato rígido (duro), específicamente a que profundidad se ubica este estrato con respecto al nivel de la subrasante; la cual denotaremos DSG. Por lo tanto, en nuestra vía de diseño se tiene un valor de:

$$\text{DSG} = 1.7 \text{ m} = 5.57\text{ft} = 6\text{ft (adoptado)}$$

El diseño se realizará partiendo de que el estrato rígido se encuentra a una profundidad mayor a 10 ft, con esta consideración y los datos establecidos anteriormente se utilizará la figura 5 expuesta a continuación; luego de esto se realizará una corrección del valor de K debido a que en nuestro caso se tiene un valor de DSG menor a 10ft.

Figura 5. Carta para estimar el módulo compuesto de reacción del subgrado, k_{∞}

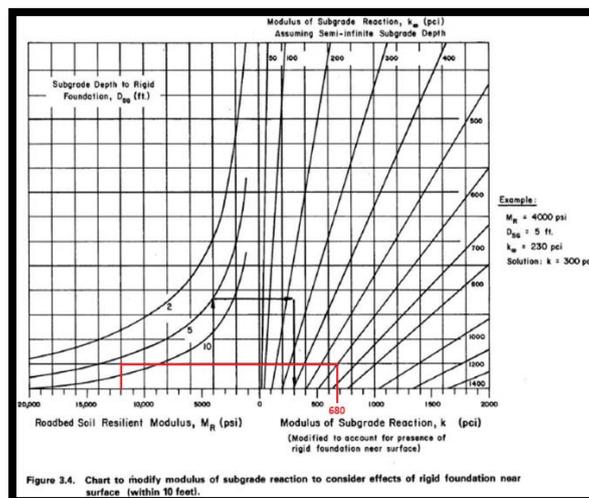


Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93. Pag.75

Se obtiene un valor de: $k_{\infty} = 600$ pci

En nuestro caso DSG resulta menor de 10 ft, se deberá considerar la influencia del estrato rígido en el valor k_{∞} obtenido en el paso anterior. Para tal efecto se utilizará la figura 6.

Figura 6. “Carta para modificar el módulo de reacción del subgrado a fin de considerar los efectos de la proximidad superficial de un estrato rígido”.



Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93. Pag.76

Se obtiene un valor de: $k = 680$ pci

Después se considerará la pérdida de soporte, a través del factor LS, utilizado para corregir el valor efectivo k. considerando la erosión potencial del material de la capa sub-base. Se utilizará la tabla 10. En la tabla E es el módulo de resiliencia del material.

Tabla 10. Rangos típicos de los factores de pérdida de soporte (LS) para diferentes tipos de materiales.

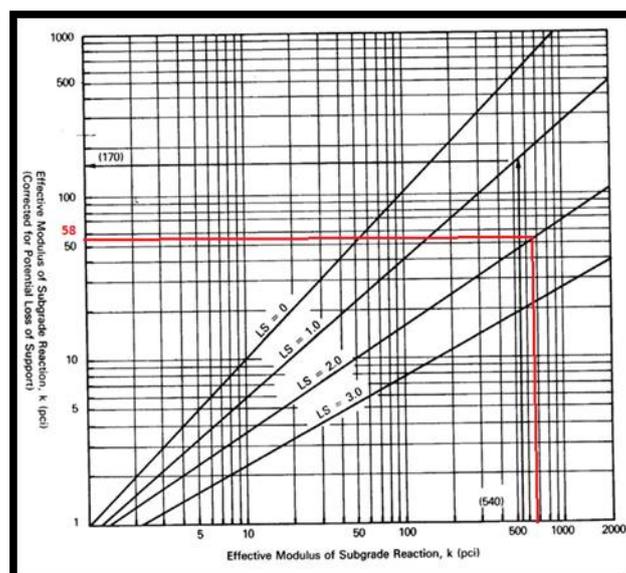
Tipo de material	Pérdida de soporte (LS)
Base granular tratada con cemento (E = 1 000 000 a 2 000 000 psi)	0,0 a 1,0
Mezclas de agregados con cemento (E = 500 000 a 1 000 000 psi)	0,0 a 1,0
Base tratada con asfalto (E = 350 000 a 1 000 000 psi)	0,0 a 1,0
Mezclas estabilizadas con bitumen (E = 40 000 a 300 000 psi)	0,0 a 1,0
Estabilizado con cal (E = 20 000 a 70 000 psi)	1,0 a 3,0
Materiales granulares no ligados (E = 15 000 a 45 000 psi)	1,0 a 3,0
Materiales de subgrado naturales o Suelos de grano fino (E = 3 000 a 40 000 psi)	2,0 a 3,0

Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93.

Para nuestro diseño adoptamos un $LS = 2$, ya que tenemos un material de subgrado natural o suelos de grano fino, considerando esto por la clasificación de suelo presentada anteriormente, en la cual se dijo que se tiene un suelo compuesto por limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas y arcillosas.

Finalmente, con el valor de LS se determina el valor de K con la figura 7.

Figura 7: “Corrección del Módulo Efectivo de Reacción del Subgrado debido a la pérdida potencial de soporte de la sub-base”.



Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93. Pag.78

K= 58 pci

- **Ec = módulo de elasticidad, en psi, del concreto de cemento Pórtland:** Para concretos de peso normal se puede utilizar la siguiente fórmula para la correlación en función de la resistencia a la compresión simple (psi) a los 28 días: $E_c = 57000\sqrt{f_c}$ La resistencia a la compresión que se adopta para el diseño es de 300 Kg/cm² que equivale a 4300 psi. Por lo tanto: $E_c = 3737739.96$ psi.
- **ZR = Desviación Estándar Normal:** Para obtener el valor de ZR, es necesario primero conocer la confiabilidad en el diseño (R) que puede ser definida como la probabilidad de que la estructura tenga un comportamiento real igual o mejor que el previsto durante la vida de diseño adoptada. Para obtener su valor se utiliza la tabla 11.

Tabla 11. Niveles sugeridos de confiabilidad de acuerdo a la clasificación funcional del camino.

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93. Pag.123

Se adopta un: $R = 80 \%$. Con este valor se conseguirá el valor de ZR mediante la tabla 12.

Tabla 12. Valor de la desviación estándar normal ZR, correspondientes a los niveles de confiabilidad R.

Confiabilidad, R, en porcentaje	Desviación estándar normal, Z _R
50	-0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93

Se adopta un: **ZR = -0.841.**

- **So = Desviación normal del error estándar combinado en la estimación de los parámetros de diseño y el comportamiento del pavimento (modelo de deterioro).**

Se analiza el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado índice de serviciabilidad terminal (Pt).

Para pavimentos rígidos: $0,30 < So < 0,40$ Se recomienda usar **0,37 ó 0,38**

Se adoptado para el diseño un: $So = 0.37$

- **D = Espesor, en pulgadas, de la losa de concreto:** Aunque es la incógnita a determinar, se deberá asumir un valor inicial del espesor de losa de concreto; puede considerar 6 in (0,15 m) como mínimo.

Para el diseño se adopta el valor mínimo: $D = 6 \text{ pulg} = 0.15 \text{ m}$

- **ΔPSI = diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial, po, y el índice de serviciabilidad terminal de diseño, pt:** La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía, se mide en una escala del 0 al 5.

$$\Delta PSI = po - pt$$

po = es la máxima calificación lograda en la AASHTO, para pavimento rígido = 4.2 a 4.5

pt = índice más bajo que puede tolerarse antes de realizar una medida de rehabilitación es igual a 2.5 para carreteras con un volumen de tráfico alto o 2.0 para carreteras con un volumen menor.

En el diseño se eligió lo siguiente: $Po = 4.2,$ $Pt = 2.5$

Por lo tanto: $\Delta PSI = 1.7$

- **J = coeficiente de transferencia de carga:** La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento, mientras mejor sea la transferencia de cargas mejor será el comportamiento de las losas del pavimento. El efecto de transferencia de carga se considera en conjunto con el sistema de hombros, a través de un coeficiente J, cuyos valores se indican en la tabla 13.

Tabla 13. Valores del Coeficiente de Transferencia de Carga.

Hombros	Asfalto		Concreto	
	Si	No	Si	No
Dispositivo de transferencia				
Pavimento con juntas simples y juntas reforzadas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,4	3,6 - 4,2

Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93. Pag.185

Por lo tanto, se adopta un valor de: **J= 3 psi.**

- **Cd = coeficiente de drenaje.** Este coeficiente es función de las condiciones de drenaje predominantes y de la precipitación media anual. Es estimado con la utilización de la tabla 14.

Tabla 14. Valores del Coeficiente de Drenaje.

Calidad del drenaje		Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercana a saturación			
Condición	Tiempo Evacuación	Menor que 1%	1-5%	5-25%	Mayor que 25%
Excelente	2 horas	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1 día	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1 semana	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Malo	1 mes	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy malo	No drena	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93. Pag.136

Por lo tanto, se adopta un valor de: **Cd= 1.**

- **DD= distribución direccional crítica:** Generalmente se adopta un valor de 0.5, es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debería deducirse del censo de tránsito. Para nuestro diseño mediante el análisis del tránsito, se pudo considerar un DD=0.5.
- **DL= factor de distribución por carril.**

Tabla 15. Factor de distribución por carril.

Número de Carriles	Factor de Carril
1	1.00
2	0.80 a 1.00
3	0.60 a 0.80
4	0.50 a 0.75

Fuente: Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Método AASHTO-93. Pag.54

Por lo tanto, como la vía de diseño tendrá un carril por sentido se toma: $DL= 1$.

- **Utilización de la hoja de cálculo.**

Luego de establecer los datos anteriores se programará en una hoja de cálculo con todos los valores antes determinados. Se calculará $ESAL =$ número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes: El método AASHTO utiliza el $ESAL$, es decir, que antes de entrar a las fórmulas general de diseño, debemos transformar los Ejes de Pesos Normales de los vehículos que circularán por el camino, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kips (8.2 Ton).

W18 = Cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente de 18 kips para el periodo analizado.

Tabla 16. Datos para el diseño del pavimento rígido. Fuente: Los Autores

DATOS	
$f'c=$	4300,00 psi
$Z_r=$	-0,84 psi OK
$S_o=$	0,37
$D_{impuesto}=$	6,00 pulg OK
$p_o=$	4,20
$p_t=$	2,50 OK
$\Delta PSI=$	1,7
$S'c=$	597,40 psi
$J=$	3,00 psi
$C_d=$	1,00
$E_c=$	3737739,96 psi
MR (subrasante)=	12000,00 psi
$DSB=$	8,00 pulg
$DSG=$	6,00 ft
$ESB=$	20000,00 psi
$LS=$	2
$k=$	58,00 pci
$g=$ incremento crecimiento del tráfico	1,20%
$t=$	20,00 años
$D_D=$	0,50
$D_L=$	1,00
$TPD=$	389,00 vpd

Tabla. 17. Calculo de w18.

Tipo Vehículo	Ejes de Carga			% Composición	Gt	L2	beta x	beta 18	wtx/w18	Factor Equivalencia	Repeticiones Diarias	Ejes Equivalentes
Liviano	1.70 ton	3.75kips	S	62.98%	-0.1761	1	1.0008	2.1510	487.8505	0.0020	244.978739	0.50216
	2.5 ton	5.51kips	S		-0.1761	1	1.0044	2.1510	113.5880	0.0088	244.978739	2.15673
Bus (Liviano)	3 ton	6.61kips	S	34.38%	-0.1761	1	1.0099	2.1510	55.3781	0.0181	133.7543988	2.41529
	7 ton	15.43kips	S		-0.1761	1	1.5391	2.1510	1.8157	0.5507	133.7543988	73.66394
2DA	3 ton	6.61kips	S	2.38%	-0.1761	1	1.0099	2.1510	55.3781	0.0181	9.268695015	0.16737
	7 ton	15.43kips	S		-0.1761	1	1.5391	2.1510	1.8157	0.5507	9.268695015	5.10464
3A	6 ton	13.23kips	S	0.26%	-0.1761	1	1.2553	2.1510	3.3237	0.3009	0.998167155	0.30032
	20 ton	44.09kips	T		-0.1761	2	11.0347	2.1510	0.1885	5.3056	0.998167155	5.29587
TOTAL				100%							ESALo=	89.61
											w18=	32706.31
											w18=	16353.16
											W18=	367175.16

Fuente: Los Autores

- **Diseño del Espesor D:** Finalmente en la ecuación AASHTO con todos los datos calculados obtenemos un nuevo espesor D calculado mediante iteraciones debido a la complejidad de la ecuación.

Luego comparamos D asumido con D calculado:

- Si la diferencia es menor a 1 in, entonces el proceso finaliza.
- Si la diferencia es mayor a 1 in, entonces se procede iterativamente hasta lograr que D (calculado) = D (asumido).

Tabla 18. Calculo del espesor del pavimento.

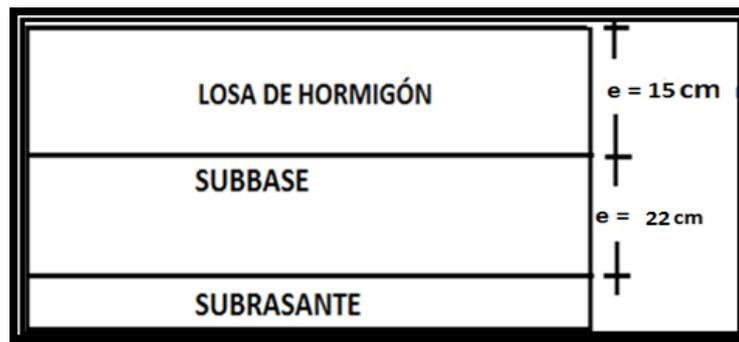
$\log_{10}(W18) = Z_R S_o + 7.351 \log_{10}(D+1) - 0.06 + \left[\frac{\log_{10} \frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \right] + (4.22 - 0.32 p_t) \log_{10} \left[\frac{S'_c C_d [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right]$												
5.5649	=	5.566968										
D calculado=	5.86pulg	14.88cm	Proceso Finalizado									
D calculado=	14.90cm	15cm										
D SB=	20.40cm	22cm										

Fuente: Los Autores

Como resultado de la utilización de la hoja de cálculo se logra diseñar las capas estructurales del pavimento rígido; el espesor de la carpeta de hormigón es 14.90 cm por lo tanto debemos adoptar el espesor mínimo recomendado de 15cm, colocado sobre una capa de Sub-Base de 20.40cm, para los efectos constructivos se adopta 22 cm.

Estos resultados se ilustran en el siguiente gráfico.

Figura 8. Espesores del pavimento rígido diseñado.



Fuente: Los Autores

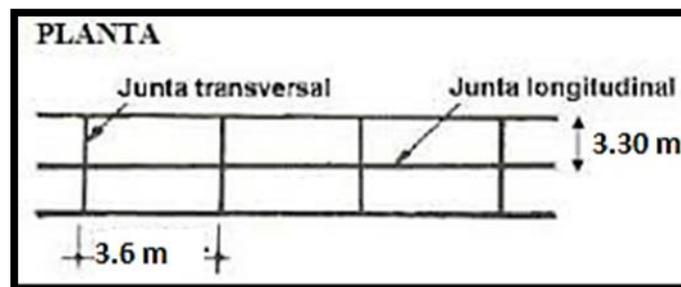
- **Diseño del espaciamiento entre juntas:** Las juntas Son discontinuidades en el pavimento rígido, dispuestas tanto en el sentido longitudinal como en el transversal; tienen por objeto controlar agrietamientos que se producen por efectos de temperatura (retracción, expansión y alabeo) y racionalizar la construcción.

Junta Longitudinal: El espacio entre juntas longitudinales es igual al ancho del carril, es decir: 3.30m

Junta Transversal: El espacio entre junta y junta transversal es igual a:

$$L \leq 24 * h \text{ (espesor de la losa)} \quad L = 24 * 0.15 = 3.6m \quad \text{Se adopta este valor.}$$

Figura 9. Espaciamiento entre juntas longitudinales y trasversales.



Fuente: Los Autores.

Pasadores de Acero en juntas de pavimentos: Los pasadores son barras de acero liso, generalmente de sección circular, que se colocan en las juntas con el objeto de transferir cargas y deformaciones entre losas contiguas.

recomendada. Esto no ocurrirá en todos los casos ya que dependerá del tipo de suelo de la subrasante y de la cantidad, tipo y peso de los vehículos que se estima circularan por la vía.

La intervención a nivel de pavimento implicará un mejoramiento sustancial a las condiciones de vida de los moradores del sector principalmente y a los transeúntes de las vías colectoras que usarán éstas como vías de paso para mejorar sus condiciones de movilidad.

En el pavimento propuesto se deberá dar el respectivo mantenimiento rutinario tanto de la señalización horizontal como vertical, así como también, el adecuado mantenimiento de la capa de rodadura a implantarse en la vía, dicho mantenimiento se deberá realizar como mínimo una vez cada año.

Con todo lo analizado durante la redacción del este documento se puede concluir que el método AASTHO-93 para el diseño de un pavimento rígido es efectivo, didáctico y de fácil entendimiento.

A comunicación, se darán algunas recomendaciones para considerar utilizar un pavimento rígido a la hora de pensar en una obra de pavimentación: deterioro mínimo durante su vida útil, deformación mínima de su superficie, las cargas pesadas no producen roderas, dislocamientos del asfalto o agrietamientos por fatiga, requiere poco mantenimiento, la rapidez de las construcciones con hormigón y el poco mantenimiento necesario minimizan los costos, su periodo de vida útil varía entre 20 y 40 años (con mínimo mantenimiento).

Los pavimentos deben diseñarse para las características de subrasante, escenarios de tráfico y efectos del medio ambiente a los que estará sometido durante su vida en servicio. Las propiedades de los materiales, técnicas de construcción, y políticas de mantenimiento afectan el desempeño del pavimento. Los criterios de desempeño y niveles de tolerancia considerados como aceptables son establecidos por el diseñador en coordinación con la agencia de transportes responsable de la red vial.

Con la implementación de una estructura de pavimento, se evitarán daños en los de vehículos producidos por transitar en vías defectuosas, por otra parte, también se permite que los habitantes que hacen uso de forma habitual o directa de la vía en donde se construirá este tipo de obra, puedan acceder al transporte público de una manera cómoda o que el mismo llegue a estos puntos, ya que en ocasiones no se puede abastecer de este servicio a muchos sectores por las condiciones viales.

Referencias

1. Bañón Blázquez. L., Bevía G. J. (2000) *Manual de Carreteras. Construcción y Mantenimiento. Volumen II*. Alicante, España: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
2. Coronado Iturbide J. (2002). *Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos*. Guatemala, México: Secretaria de Integración Económica Centroamericana.
3. Crespo Villalaz. C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Editorial Limusa S.A.
4. Das Braja M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Sacramento-California, Estados Unidos: Editorial Thomson.
5. Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña – Facultad de Ingeniería. *Curso de Actualización de Diseño Estructural de Caminos Metodo AASHTO-93*. San Juan, Argentina. Editorial Universidad de San Juan de Argentina.
6. Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Ecuador (2013). Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP. Quito, Ecuador: Autor.
7. Montejo Fonseca A. (2002) *Ingeniería de pavimentos para carreteras tomo I*. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Católica de Colombia.
8. The American Association Of State Highway And Transportation Officials. (2001). *AASHTO Guide for desing of pavement structures*. Washington D. C, Estados Unidos: The Association, 1993.