



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Curso de Graduación: Análisis y Diseño Estructural Avanzado

Análisis de Sensibilidad de los Costos de un Pavimento
Rígido en función de la Resistencia del Concreto.

Tutor:

Ing. Jaime Bojorque. PhD

Proyecto de graduación previo a
la obtención del Título de
Ingeniero Civil

Autora:

Andrea Sanmartín Garate.

Cuenca, Ecuador

Octubre, 2010

DEDICATORIA

A Julio, mi padre, por enseñarme una vida de fe

A Diana, mi madre, por su amor y abrigo

A Elvia, Diana y Daniela, mis hermanas, por
apoyarme en los momentos difíciles

A Milton, por el cariño que me brinda día tras día

Y al Ángel que siempre me cuidará en donde se
encuentre

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de Cuenca, la Escuela de Ingeniería Civil, por la formación profesional.

Un reconocimiento especial al Ingeniero Jaime Bojorque, Tutor de Monografía, por su apoyo, dedicación y profesionalismo para la elaboración del presente trabajo.

Al Ministerio de Transporte y Obras Públicas en la persona del Ingeniero Roberto Tinoco, por su colaboración en la presente investigación.

Y a todas las personas que de una u otra manera colaboraron para el éxito de éste trabajo.

INDICE DE CONTENIDOS

1.1	INTRODUCCION.....	9
1.2	OBJETIVOS.....	10
	Objetivo General.....	10
	Objetivos Específicos	10
1.3	JUSTIFICACION.....	11
1.4	METODOLOGIA.....	11
1.5	ESTRUCTURA DE LA MONOGRAFIA	11
2.1	DEFINICIONES GENERALES	13
2.2	CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES	14
2.2.1	Materiales para la elaboración del hormigón.....	14
	Cemento Portland	14
	Agregados utilizados para la elaboración del hormigón	15
	Agua.....	16
2.2.2	Base de Agregados.....	16
2.3	FUNDAMENTOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	20
2.3.1	Introducción.....	20
	Rendimiento del Pavimento	22
	Confiabilidad	22
2.3.2	Diseño del Espesor del Pavimento	23
	Caracterización del Tráfico.....	25
	Error estándar combinado (S_0).....	32
	Desviación normal estándar (Z_R).....	32
	Coeficiente de Drenaje (C_d).....	35
	Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c)	38

Módulo de Rotura del Hormigón (S'c)	39
Coeficiente de transmisión de Cargas en las juntas (J)	39
Módulo de resiliencia (M_R)	40
Factor de Perdida de Soporte	41
Módulo de reacción de las capas de soporte (k).....	41
2.3.3 Juntas de Construcción.....	47
Elementos de la Junta.....	47
Clases de Juntas.....	49
2.4 DISEÑO DE HORMIGONES COMPACTADOS CON RODILLOS	
(HCR) 51	
2.4.1 Definición	51
2.4.2 Características generales.....	52
2.4.3 Análisis de Propiedades.....	52
Resistencia Mecánica	52
Propiedades Elásticas.....	52
Consistencia.....	53
Tiempo de puesta en obra	53
Fluencia y capacidad de deformación.....	53
Retracción	54
Durabilidad	54
Permeabilidad	54
2.4.4 Metodología de Diseño	54
CAPITULO III	
3.1 DISEÑO DEL ESPESOR DE PAVIMENTOS EN FUNCION DE LA	
RESISTENCIA DEL CONCRETO.....	57
3.2 DISEÑO DEL HORMIGON COMPACTADO CON RODILLO EN	
FUNCION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.....	58

CAPITULO IV

PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS DE ESPESORES DE PAVIMENTOS EN FUNCION DE LA RESISTENCIA.....	60
--	----

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFIA.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para una base Clase 1, MTOP [6] Tabla 404.1.1	18
Tabla 2: Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para una base Clase 2, MTOP [6] Tabla 404.1.2	18
Tabla 3: Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para una base Clase 3, MTOP [6] Tabla 404.1.3.	19
Tabla 4: Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para una base Clase 4 MTOP [6] Tabla 404.1.4	20
Tabla 5: Factor de crecimiento del tráfico para el cálculo del número de ESALs, AASHTO [3].....	30
Tabla 6: Factor de distribución por carril para camiones, AASHTO [3]..	31
Tabla 7: Desviación Normal Estándar en función de la Confiabilidad, AASHTO [3].....	33
Tabla 8: Niveles de Confiabilidad en función del tipo de carretera, AASHTO [3].....	33
Tabla 9: Calidad de drenaje en función del porcentaje de saturación, AASHTO [3].....	37
Tabla 10: Calidad de drenaje en función del porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, AASHTO [3].....	37

Tabla 11: Coeficiente de transmisión de Cargas en las juntas en función del tipo de pavimento, AASHTO [3].....	40
Tabla 12: Factor de pérdida de soporte en función del tipo de material, AASHTO [4].....	42
Tabla 13: Cuadro de resumen de los valores de coeficientes adoptados para el diseño de espesores de pavimento del presente trabajo.	46
Tabla 14: Cuadro de resumen de las propiedades de los materiales que conforman la estructura del pavimento del presente trabajo.....	47
Tabla 15: Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga en función del espesor del pavimento [10].	49
Tabla 16: Recomendaciones para la selección de las barras de anclaje en función del espesor del pavimento [10].	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de un pavimento de hormigón hidráulico.	13
Figura 2: Abaco para determinar el espesor de pavimento AASHTO [3]26	
Figura 3: Abaco para determinar el módulo de reacción de las capas de soporte, suponiendo una profundidad infinita, AASHTO [3].	43
Figura 4: Abaco para corregir el valor de k por la presencia de una capa rígida (estrato de roca a menos de 3 metros de profundidad) AASHTO [3].	44
Figura 5: Abaco para determinar el deterioro relativo U_r , AASHTO [3].	45
Figura 6: Esquema para corregir el módulo de reacción de las capas de soporte debido a la pérdida de soporte de la base, AASHTO [3].....	46
Figura 7: Esquema de la consistencia de un hormigón compactado con rodillo [11].....	51
Figura 8: Resistencia del concreto versus relación agua/cemento.	55
Figura 9: Influencia de las capas de soporte en el diseño de espesor de pavimentos.	¡Error! Marcador no definido.

Figura 10: Influencia del tráfico en el diseño de espesor de pavimentos.
.....**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 11: Influencia de la resistencia del concreto en el diseño de
espesor de pavimentos.**¡Error! Marcador no definido.**

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

En la actualidad, la necesidad de estructuras viales duraderas en zonas urbanas y rurales impulsa el empleo de pavimentos de concreto hidráulico, por lo que el diseño, construcción y valoración económica de estas estructuras se ha convertido en una actividad habitual dentro de la Ingeniería Civil, aspecto que originó el desarrollo de la presente monografía.

Un pavimento de concreto hidráulico o pavimento rígido consiste básicamente en losas de concreto de tipo simple o reforzado, apoyadas sobre una capa base o sub-base [1]. La losa de concreto de alta resistencia a la flexión y al desgaste, funciona simultáneamente como supercarpeta y base. Por su alta rigidez y alto módulo elástico tiene un comportamiento similar al de una viga, por lo que absorbe prácticamente toda la carga, consecuentemente un pavimento hidráulico es sinónimo de servicio y durabilidad [2].

El método de diseño empleado en la presente investigación es el que rige por la normativa AASHTO [3], el mismo que está basado en el estudio del comportamiento de estructuras de pavimento en función de su serviciabilidad tanto inicial como final, tráfico, transferencia de cargas, resistencia del concreto, resistencia de la subrasante, drenaje y confiabilidad. A partir de lo mencionado se evaluará la resistencia del concreto como factor primordial para el análisis del presente estudio, debido a que de éste dependerá la capacidad que tiene el pavimento para oponerse a esfuerzos que se manifiestan por solicitaciones a compresión, tracción, flexión, flexo tracción y corte.

En la presente trabajo se emplea el diseño de hormigones compactados con rodillo, debido a que su mayor densificación y menor relación agua/cemento ofrece mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa económica para la construcción de pavimentos rígidos.

Una sección estructural adecuada de pavimento puede lograrse con varias combinaciones de materiales. Al seleccionar el diseño apropiado, se debe considerar tanto en costo inicial como en costos de mantenimiento futuros, de ahí que la economía debe ser consideración primaria, es decir, se busca proporcionar estructuras de pavimentos eficaces y sobre todo seguros con presupuestos cada vez más restringidos [4].

Por consiguiente, las variables que intervienen en el desarrollo de este trabajo serán la resistencia del hormigón que conforma la estructura del pavimento y sus costos.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo General

Investigar la sensibilidad de los costos de un Pavimento Rígido en función de la resistencia del concreto para valorar, de la manera más segura y económica.

Objetivos Específicos

- ❖ Conocer la función y utilidad de los pavimentos rígidos compactados con rodillo.
- ❖ Evaluar los factores que intervienen en el diseño de los Pavimentos Rígidos.
- ❖ Investigar las técnicas para incrementar la resistencia de los concretos hidráulicos.
- ❖ Realizar el diseño del espesor de pavimentos.
- ❖ Realizar el diseño de hormigones compactados con rodillo en función de su resistencia.
- ❖ Realizar los costos económicos del diseño de pavimentos rígidos en función de la resistencia a compresión del concreto.

1.3 JUSTIFICACION

Mediante el presente estudio se pretende establecer una relación entre los costos y resistencia de un Pavimento Rígido debido a la importancia que éste tema genera en la Ingeniería Civil, pues a partir de esta valoración se podrá adquirir una visión óptima al momento de establecer los parámetros que rigen el diseño de una estructura de un pavimento hidráulico.

Además, esta investigación proporcionará conocimientos útiles, óptimos y necesarios para un pleno desenvolvimiento en el futuro ejercicio laboral.

1.4 METODOLOGIA

- ❖ Recopilación de información bibliográfica.
- ❖ Obtención de datos necesarios para el diseño de pavimentos MTOP [5].
- ❖ Estudio de la Guía AASHTO como técnica de diseño de Pavimentos Rígidos.
- ❖ Estudio de las técnicas de diseño de hormigones compactados con rodillo.
- ❖ Análisis económico en función de la resistencia a compresión del concreto.
- ❖ Aporte de conclusiones y recomendaciones.

Para la recopilación bibliográfica se selecciona temas referentes al diseño de hormigones compactados con rodillo, además la normativa AASHTO [3] y las Especificaciones MTOP [6].

1.5 ESTRUCTURA DE LA MONOGRAFIA

Esta monografía tiene como objetivo realizar la comparación económica de un pavimento rígido compactado con rodillo y de un pavimento rígido común, basándose en el concepto de que al aumentar la resistencia del hormigón disminuye el espesor de la estructura y de esa forma el costo.

En el Capítulo I se presenta la justificación de efectuar la presente investigación para futuras aplicaciones de pavimentos rígidos compactados con rodillo.

Para conocer los términos utilizados, los métodos de diseño, las características que deben tener los materiales para los diferentes tipos de hormigones y la normativa aplicada, se desarrolla el estado del arte en el Capítulo II.

Una vez conseguidos los fundamentos teóricos para el avance del tema, en el Capítulo III se realiza los diseños prácticos en función de la resistencia a compresión del concreto.

En el Capítulo IV se analiza la comparación económica de los espesores versus la resistencia de la estructura de pavimento.

Para concluir se presentan las conclusiones y recomendaciones en el Capítulo V.

CAPITULO II ESTADO DEL ARTE

2.1 DEFINICIONES GENERALES

Un pavimento de hormigón hidráulico o pavimento rígido consiste básicamente en losas de hormigón simple o armado, apoyadas directamente sobre una base o sub-base, como se muestra en la Figura 1.

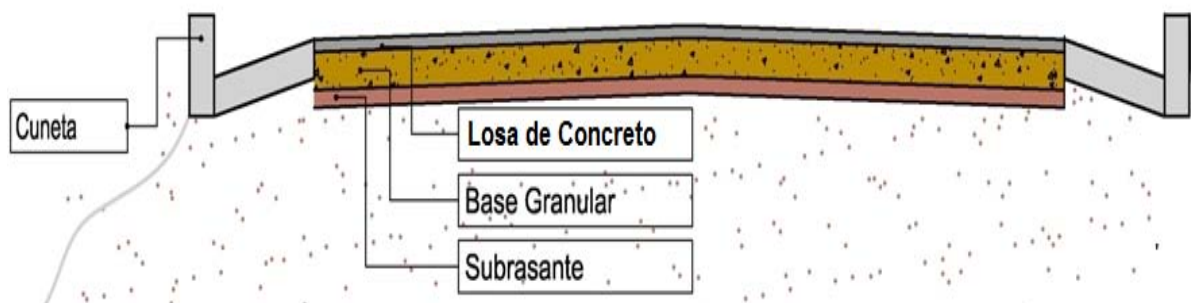


Figura 1: Esquema de un pavimento de hormigón hidráulico.

En un pavimento de hormigón hidráulico debido a la rigidez y módulo de elasticidad de la losa de hormigón, se produce una buena distribución de las cargas de rueda dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante [7].

Existen tres tipos de pavimento rígido:

Hormigón simple: Este tipo de pavimento no contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas se encuentra en un rango entre 3,7 a 9,1 metros [7].

Hormigón armado con juntas: Contiene armadura distribuida en la losa con el fin de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción. El espaciamiento entre juntas se encuentra en rangos mayores, es decir, entre 6,1 a 36,6 metros [7].

Hormigón Armado Continuo: Tiene armadura continua longitudinal en gran cantidad, con el objeto de mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras procurando que las mismas se mantengan cerradas; no contiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. Además la armadura transversal es opcional en este caso [7].

2.2 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

2.2.1 Materiales para la elaboración del hormigón

El hormigón es un material formado por materiales granulares embebidos en pasta de cemento que hace de ligante.

Cemento Portland

Cemento Portland es el producto que se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual está constituido esencialmente por silicatos de calcio hidratado, adicionado con agua o sulfato de calcio o los dos materiales, en proporciones tales que cumplan los requisitos químicos relativos a las cantidades máximas de anhídrido sulfúrico y pérdidas por calcinación.

El cemento Portland se clasifica en 5 tipos [6]:

- ❖ TIPO I: Cemento de uso general, al que no se exigen propiedades especiales.
- ❖ TIPO II: Para uso en construcciones de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos o cuando se requiere de moderado calor de hidratación.
- ❖ TIPO III: Para usarse en construcciones de hormigón, cuando se requiere de alta resistencia inicial.
- ❖ TIPO IV: Para usarse en construcciones de hormigón, cuando se requiere bajo calor de hidratación.
- ❖ TIPO V: Para usarse en construcciones de hormigón, cuando se requiere de alta resistencia a la acción de los sulfatos.

Los cementos de los Tipo IV y V no se hallan comúnmente en el mercado, por lo que su fabricación será sobre pedido, con la debida anticipación [6].

Los cementos Tipo I, II y III pueden utilizarse con incorporadores de aire [6].

Sí en los planos o documentos contractuales no se indicare el tipo de cemento a usarse en una obra, se entenderá que debe emplearse el cemento Portland del Tipo I [6].

En cualquier estructura o pavimento se utilizará un solo tipo de cemento, si de otro modo no se indica en los planos.

Los cementos más apropiados para la elaboración de hormigones compactados con rodillo son aquellos con un bajo calor de hidratación, poca retracción y elevadas resistencias a largo plazo. Por ello lo más usualmente empleado para este tipo de hormigón será el Cemento Portland Tipo II.

Agregados utilizados para la elaboración del hormigón

El árido ideal para hormigón compactado debería consistir en un cierto tipo de materiales machacados o rodados que cumpliera las siguientes características generales [8]:

- ❖ Que resista lo suficiente como para no triturarse bajo la acción de compactado por rodillos vibratorios.
- ❖ Que no superen un máximo de contenido de arcilla que daría como resultado un hormigón poco resistente.
- ❖ Como árido fino debería emplearse arenas naturales o productos finos de machaqueo con una granulometría continua.
- ❖ En cuanto al árido grueso, debe cuidarse el tamaño máximo del mismo. La mayoría de las normas recomiendan que el tamaño máximo sea de 20mm, e incluso de 16mm.
- ❖ Las proporciones óptimas de uno y otro, dependerán de la graduación del árido fino, y serán el resultado de los ensayos previos definidos por distintas normas para cada tipo de obra.
- ❖ Si el hormigón presenta signos de segregación debería incrementarse el contenido de los finos.

- ❖ La granulometría ideal para la demanda mínima de mortero será la que proporcione la máxima densidad del material seco compactado, con la mínima área superficial.

Árido Grueso: Los agregados gruesos para el hormigón de cemento Portland estarán formados por grava, roca triturada o una mezcla de éstas [9]. Los agregados se compondrán de partículas o fragmentos resistentes y duros, libres de material vegetal, arcilla u otro material inconveniente, sin exceso de partículas alargadas o planas.

Árido Fino: Los agregados finos para hormigón de cemento Portland estarán formados por arena natural, arena de trituración o una mezcla de ambas.

Los agregados finos se compondrán de partículas resistentes y duras, libres de material vegetal u otro material inconveniente.

Los agregados finos provenientes de diferentes minas o fuentes de origen no podrán ser almacenados conjuntamente; se los colocará en depósitos separados, a distancias suficientes, para evitar posibles mezclas entre los materiales de diferentes depósitos [6].

Agua

El agua que se emplea en hormigones deberá ser limpia, libre de impurezas, y carecerá de aceites, álcalis, ácidos, sales, azúcar y materia orgánica.

El agua potable será considerada satisfactoria para emplearla en la fabricación de morteros y hormigones.

2.2.2 Base de Agregados

Consiste en la construcción de capas de base compuestas por agregados triturados total o parcialmente o cribados, estabilizados con agregado fino procedente de la trituración, o suelos finos seleccionados, o ambos. La capa de

base se colocará sobre una sub-base terminada y aprobada, o en casos especiales sobre una subrasante previamente preparada y aprobada [6].

Los agregados serán elementos limpios, sólidos y resistentes, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas; y además deberán presentar las siguientes características:

1. No presentarán un porcentaje de desgaste mayor a 40 en el ensayo de abrasión, con 500 vueltas de la máquina de Los Ángeles, ni arrojarán una pérdida de peso mayor al 12% en el ensayo de durabilidad, luego de 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio [6].
2. La porción del agregado que pase el tamiz N° 40, incluyendo el relleno mineral, deberá carecer de plasticidad o tener un límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor de 6, al ensayarse de acuerdo a los métodos establecidos en las [6].

Las bases de agregados podrán ser de las clases indicadas a continuación, de acuerdo con el tipo de materiales por emplearse. [6].

Clase 1: Son bases constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados para los Tipos A y B en la Tabla 1.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50.8 mm.)	100	---
1 ½" (38,1mm.)	70 – 100	100
1" (25.4 mm.)	55 – 85	70 – 100
¾"(19.0 mm.)	50 – 80	60 – 90
3/8"(9.5 mm.)	35 – 60	45 – 75
Nº 4 (4.76 mm.)	25 – 50	30 – 60



Nº 10 (2.00 mm.)	20 – 40	20 – 50
Nº 40 (0.425 mm.)	10 – 25	10 – 25
Nº 200 (0.075 mm.)	2 – 12	2 – 12

Tabla 1: Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para una base Clase 1, MTOP [6] Tabla 404.1.1

Clase 2: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 50% en peso.

Estas bases deberán hallarse graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 2.

Clase 3: Son bases constituidas por fragmentos de roca o grava trituradas, cuya fracción de agregado grueso será triturada al menos el 25% en peso.

Estas bases deberán hallarse graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 3.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm.)	100
3/4"(19.0 mm.)	70 – 100
3/8"(9.5 mm.)	50 – 80
Nº 4 (4.76 mm.)	35 – 65
Nº 10 (2.00 mm.)	25 – 50
Nº 40 (0.425 mm.)	15 – 30
Nº 200 (0.075 mm.)	3 – 15

Tabla 2: Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para una base Clase 2, MTOP [6] Tabla 404.1.2



TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4"(19.0 mm.)	100
Nº 4 (4.76 mm.)	45 – 80
Nº 10 (2.00 mm.)	30 – 60
Nº 40 (0.425 mm.)	20 – 35
Nº 200 (0.075 mm.)	3 – 15

Tabla 3: Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para una base Clase 3, MTOP [6] Tabla 404.1.3.

Si hace falta relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación, se podrá completar con material procedente de trituración adicional, o con arena fina, que podrán ser mezclados en planta o en el camino.

Clase 4: Cuando se haya especificado el empleo de este tipo de agregados, los materiales se obtendrán por trituración o cribado de grava natural, para obtener fragmentos limpios, resistentes y durables, que no presenten partículas alargadas o planas en exceso. Estarán exentos de material vegetal, grumos de arcilla u otro material objetable.

Los agregados empleados en la construcción de capas de Base Clase 4 deberán graduarse uniformemente de grueso a fino, y cumplirán las exigencias de granulometría que se indican en la Tabla 4, lo cual será comprobado mediante ensayos granulométricos [6], luego de que el material ha sido mezclado en planta o colocado en el camino.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50.8 mm.)	100	--

1 1/2" (38,1mm.)	70 – 100	100
1" (25.4 mm.)	55 – 85	70
3/4"(19.0 mm.)	50 – 80	60
3/8"(9.5 mm.)	35 – 60	45 - 75
Nº 4 (4.76 mm.)	25 – 50	30 - 60
Nº 10 (2.00 mm.)	20 – 40	20 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	10 – 25	10 - 25
Nº 200 (0.075 mm.)	2 – 12	2 - 12

Tabla 4: Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para una base Clase 4 MTOP [6] Tabla 404.1.4

En la presente investigación se emplea una base granular Clase 2, con un módulo de elasticidad de 3.835psi, este valor fue tomado del informe “Estudios de factibilidad y diseño de la carretera Cuenca – Molleturo – Empalme” a través del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

2.3 FUNDAMENTOS UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

2.3.1 Introducción

El diseño de pavimentos busca contar con una estructura sostenible y económica que permita la circulación de los vehículos de una manera cómoda y segura, durante un periodo fijado por las condiciones de desarrollo.

El método de diseño de espesores de pavimentos rígidos está basado en:

1. Los conceptos de diseño por fatiga mecánica: Como fatiga se entiende al número de repeticiones o ciclos de carga y descarga que se dan sobre un elemento. Al establecer la vida útil de diseño se está tratando de estimar el número de repeticiones de carga a las que se someterá el pavimento.

2. De los resultados obtenidos de la prueba de carreteras concebida y promovida por la organización AASHTO.

Las pruebas consistían en determinar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de pavimento y las cargas aplicadas sobre ellas, o bien para determinar las relaciones significativas entre un número de repeticiones de ejes con cargas, de diferente magnitud y disposición, y el comportamiento de diferentes espesores de pavimentos, conformados con bases y sub-bases, colocados en suelos de características conocidas.

Estas pruebas se realizaron con el objeto de estudiar el comportamiento de estructuras de pavimento a través de la obtención de espesores, bajo cargas móviles de magnitudes y frecuencias conocidas y bajo el efecto del medio ambiente en secciones conocidas de pavimentos rígidos y flexibles.

De este modo, existe una probabilidad del 50 por ciento que el tráfico actual al fin de la vida útil podría ser mayor o menor de lo previsto. Con el fin de disminuir el riesgo de deterioro prematuro por debajo de niveles aceptables de durabilidad, un factor de confiabilidad está incluido en el proceso de diseño. Además el diseñador debe tomar en cuenta el usar los valores medios de factores tales como el apoyo del suelo, el tráfico, los coeficientes de capa, los coeficientes de drenaje, etc. Mayor confiabilidad se obtendrá por los ajustes que se basan en la incertidumbre en cada uno de las variables de diseño así como del tráfico.

La estrategia para que un espesor de pavimento sea óptimo está en determinar qué tanto se aproxima el método AASHTO a las realidades muy particulares de países y regiones en las cuales la naturaleza de los suelos o materiales térreos de fundación no pueden ser generalizados [9]. De igual forma las técnicas de trabajo y la tecnología empleada en la construcción no son muchas veces homologables. Es por ello la importancia de definir correctamente los parámetros que se interponen en el diseño para que de esta manera el mismo se aproxime a la realidad.

Rendimiento del Pavimento

El comportamiento estructural de un pavimento se refiere a su condición física, es decir, la aparición de grietas, fallas, o cualquier otra condición que pudiera afectar negativamente a la capacidad de carga de la estructura del pavimento o que requieren mantenimiento.

El concepto de “rendimiento de serviciabilidad” se basa en cinco premisas fundamentales, que se resume de la siguiente manera:

1. Las carreteras son para el confort y la comodidad de los viajeros.
2. Confort, o la calidad al rodar, es una cuestión de respuesta subjetiva o la opinión del usuario.
3. La serviciabilidad puede ser expresado por la media de las calificaciones otorgadas por los usuarios de la autopista y se llama índice de serviciabilidad.
4. Hay características físicas de un pavimento que pueden ser medidas de manera objetiva y que puede estar relacionado con evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
5. El rendimiento puede ser representado por la historia de serviciabilidad de un pavimento.

Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones que tiene lugar en ese lapso [7].

La incertidumbre siempre se considera a través del uso de coeficientes de seguridad sugeridos en base a la experiencia, los mismos que pueden hacer que el pavimento resulte sobre o subdimensionado, dependiendo de nuestra interpretación y criterio.

Además, la variabilidad es uno de los conceptos que más se debe tener en cuenta para la elaboración de estructuras de pavimento referidas a su diseño, construcción, rendimiento, mantenimiento y rehabilitación.

En el método AASHTO se utilizan variables que pueden cambiar, cada una de ellas en un amplio rango, es por esto, que se debe conocer los conceptos estadísticos más elementales para poder manejar estas variables de la mejor manera.

2.3.2 Diseño del Espesor del Pavimento

El diseño de espesores para pavimentos de hormigón convencional se basa en mantener, dentro de límites aceptables, los esfuerzos de tracción por flexión y los daños por fatiga causados por las cargas del tráfico.

La ubicación de las cargas de tráfico sobre el pavimento, tienen una gran influencia sobre los esfuerzos y daños por fatiga en su estructura, que son máximos cuando dichas cargas están ubicadas en los bordes y juntas, y menores cuando están localizadas en el interior del pavimento.

La normativa AASHTO determina el espesor del pavimento en base a la Ecuación 1o el ábaco de la

Figura 2, buscando incorporar el mayor número posible de variables en el diseño.

$$\begin{aligned}
 \log_{10}(W_{18}) = & Z_R * S_0 + 7,35 * \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right]}{1 + \frac{1,624*10^7}{(D+1)^{8,65}}} \\
 & + (4,22 - 0,32 * P_t) * \log_{10} \left[\frac{S'_C * C_d * (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 * J * \left(D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_C/k)^{0,25}} \right)} \right]
 \end{aligned}$$

Ecuación 1

Donde,

W_{18} = el número pronosticado de ejes equivalentes de 18kip, a lo largo del periodo de diseño.

Z_R = desviación normal estándar,

S_0 = error estándar combinado de la predicción del tráfico y la predicción del rendimiento,

D = espesor de pavimento losa,

ΔPSI = diferencia entre el índice de capacidad de servicio, P_o , y la terminal de diseño de índices de servicio, P_t .

S'_c = módulo de ruptura para el cemento Portland de concreto (psi).

J = coeficiente de transferencia de carga en las juntas

C_d = coeficiente de drenaje,

E_c = módulo de elasticidad para hormigón de cemento Portland, (psi)

k = módulo de reacción de las capas de soporte (pci)

En la metodología de cálculo se emplean procesos iterativos una vez establecidos los parámetros que intervienen en la Ecuación 1, de esta manera se obtiene el espesor de la losa tomando en cuenta que éste valor debe ser redondeado al centímetro más próximo.

Si bien es cierto, la variable que gobierna el diseño de pavimentos es el espesor, pero la misma depende de los diferentes coeficientes y que se encuentran inmersos en el cálculo, por esta razón es importante adquirir un conjunto de criterios para cada uno de ellos.

A continuación se definen dichos coeficientes y criterios necesarios para la aplicación de la Ecuación 1.

Caracterización del Tráfico

El tránsito es una variable fundamental en la ingeniería vial, pues constituye un antecedente básico para:

- ❖ La categorización de una carretera
- ❖ El diseño geométrico de la calzada principal e intersecciones.
- ❖ El diseño de pavimentos.

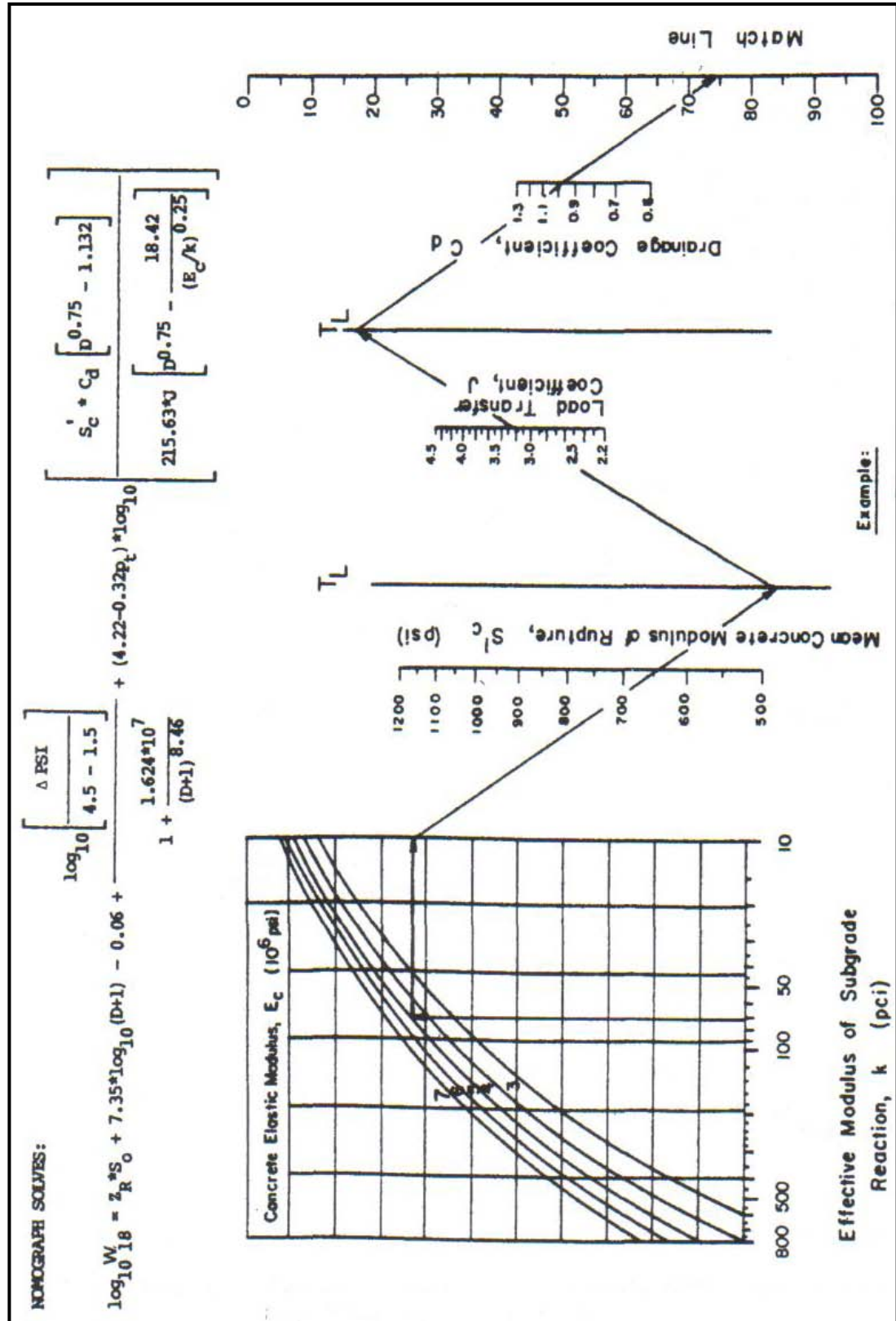
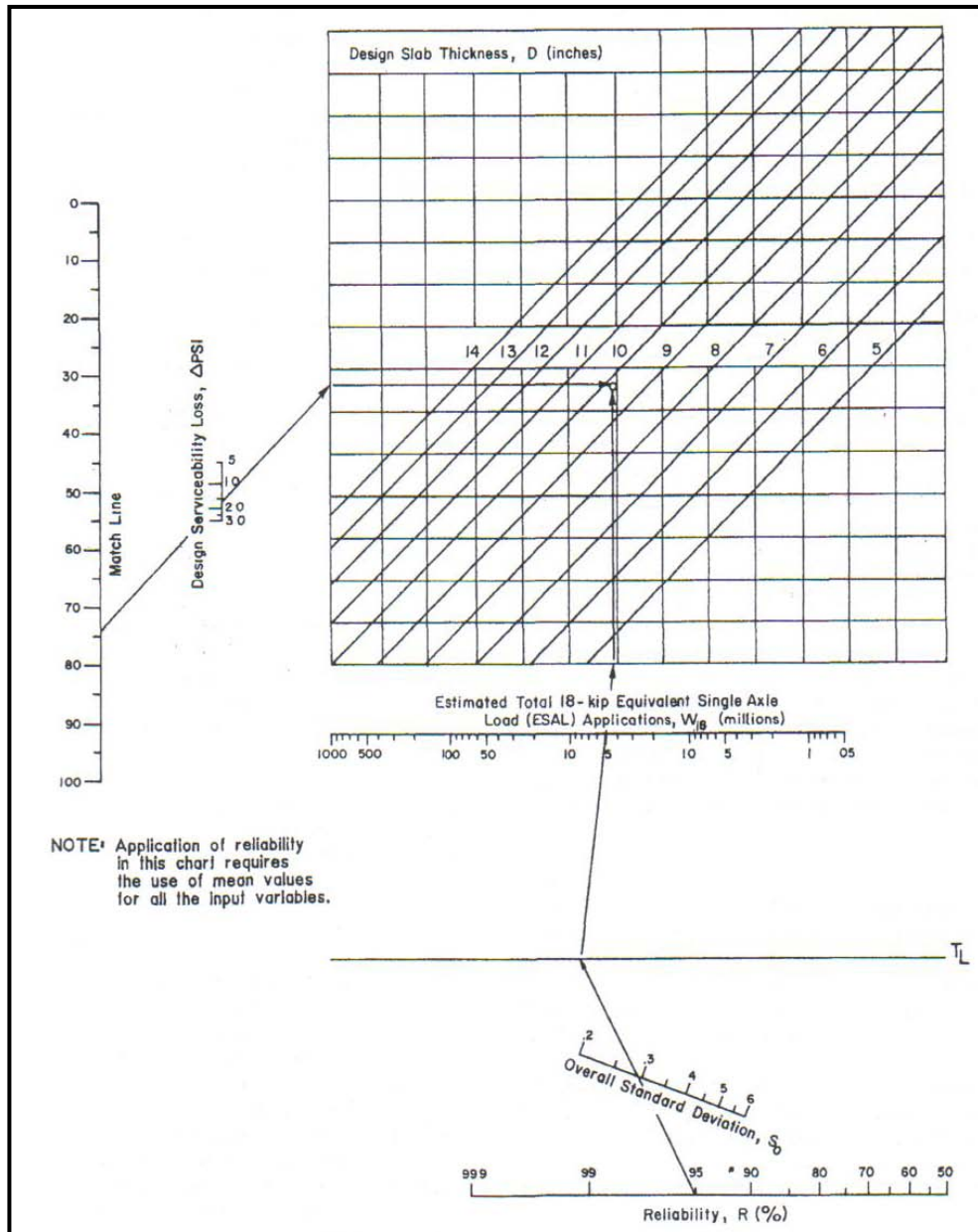


Figura 2: Abaco para determinar el espesor de pavimento AASHTO

[3]



Continuación de la Figura 2: Abaco para determinar el espesor de pavimento.

Por los caminos circulan vehículos muy diversos, en cuanto a sus tipos, dimensiones, pesos y composición de ruedas; y para efectos de cálculo se los transforma, en un número equivalente de ejes tipo de 80kN o 18kips, al que la normativa AASHTO denomina “Carga del Eje Simple Equivalente” o ESAL.

La transformación del número equivalente de ejes de distinta naturaleza y peso en ESALs es una tarea muy compleja, pues se presentan muchas variantes al momento de su determinación, y los resultados difícilmente se repiten, como por ejemplo:

- ❖ Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo, por tanto presentan diferentes tipos de fallas en el pavimento.
- ❖ Los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden de diferente manera a una carga.

El método AASHTO presenta diferentes maneras de realizar la conversión de tránsito en ESALs:

Factores Equivalentes de Carga (LEF): La normativa AASTHO realizó ensayos en donde se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas para analizar el daño producido, este factor representa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una carga dada de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 80kN en el mismo eje.

$$LEF = \frac{N^{\circ} \text{ de ESALs de } 80\text{kN que produce una pérdida de serviciabilidad}}{N^{\circ} \text{ de ejes de } x\text{kN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Ecuación 2

Factor de Camión (TF) o Número de ESALs por vehículo: Expresa el daño en términos del deterioro producido por un vehículo en particular, es decir, los daños producidos por cada eje de un vehículo son sumados para dar el daño producido por ese vehículo.

$$TF = \frac{N^{\circ} \text{ ESALs}}{N^{\circ} \text{ de camiones}}$$

Ecuación 3

Procedimiento Simplificado: Realiza una rápida estimación del número de ESALs, el mismo tiene el nombre de simplificado porque usa un factor de

camión promedio en lugar de factores de camión para cada tipo de camión. El resultado no es muy exacto, y se lo calcula con la Ecuación 4.

$$ESAL = TPDA * TKS * GF * DD * LD * TF * 365$$

Ecuación 4

Donde,

TPDA: Transito promedio diario anual, es el indicador que define el total vehículos que circula como promedio diario en un año. Si del TPDA se resta el tránsito liviano, quedan solo los camiones y buses, que son los que interesan para el diseño de los pavimentos. El tránsito pesado medio diario anual, TMDAC, es el indicador adecuado para calcular las solicitudes de diseño.

TKS: Porcentaje de camiones pesados

GF: Factor de crecimiento, el cálculo de las solicitudes para diseño debe considerar que habitualmente el TPDA varia año a año, por lo que se debe contar con un estudio previo que determine las tasas de variación del volumen de tránsito, normalmente diferentes para cada tipo de vehículo. La normativa AASHTO propone encontrar este factor mediante la Tabla 5, para luego utilizar la Ecuación 5 y Ecuación 6.

$$GF = \frac{[(1 + g)^n]}{g}$$

Ecuación 5

$$g = \frac{\text{tasa de crecimiento}}{100}$$

Ecuación 6

Donde, n representa el período de análisis en años.

DD: Factor de distribución direccional para camiones, por lo general este valor es considerado como el 50%, pues supone que de un total de 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.

Periodo de análisis (años)	Factor crec. *	Tasa de crecimiento anual (%)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	20.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	133.24	172.32	271.02

Tabla 5: Factor de crecimiento del tráfico para el cálculo del número de ESALs, AASHTO [3].

LD: Factor de distribución por carril para camiones, el carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESALs. Para caminos con varios números de carriles, el carril de diseño será el más externo, dado que los camiones y por lo tanto la mayor parte de los ESALs, usan ese carril. En este caso el valor de LD puede variar entre 1 y 0,5 como se muestra en la Tabla 6.

TF: Factor de camiones

Procedimiento de cálculo riguroso: Se refiere al uso del factor de camión para cada clase individual de camiones. Se lo puede determinar mediante el siguiente procedimiento:



Número de carriles en cada dirección	LD
1	1
2	0,8 - 1,0
3	0,6 - 0,8
4 o más	0,5 - 0,75

Tabla 6: Factor de distribución por carril para camiones, AASHTO

[3].

1. Calculamos el tránsito de diseño por la expresión mostrada en la Ecuación 7.

$$C = A * B$$

Ecuación 7

Donde,

A = Volumen diario contado para cada vehiculo tipo

B = Factor de crecimiento para cada tipo de vehiculo (tabla N°5)

Si a este valor de C multiplicamos por 365 días nos dará como resultado la cantidad acumulada de vehículos de cada tipo en el periodo de análisis.

2. Obtención del factor de ESAL para cada tipo de camión mediante la siguiente expresión, despejada de la Ecuación 3.

$$N^{\circ} ESALs = TF * N^{\circ} de camiones$$

3. El número de ESALs a usar en el diseño será el producto de la cantidad acumulada de vehículos de cada tipo en el periodo de análisis por el factor de ESALs. Por ende, el número total de ESALs resultará de la suma del número de ESALs para cada tipo de vehículo.
4. Al número total de ESALs se le debe afectar por el factor de distribución direccional por carril.

Para la elaboración del presente trabajo se empleó los siguientes valores:

- ❖ Vía Cuenca – Molleturo - Empalme: Considerada como tráfico medio, con un valor de 4.006.093 número de ESALs.
- ❖ Vía Cuenca – Azogues: Considerada como tráfico pesado, con un valor de 15.166.232 número de ESALs.

Error estándar combinado (S_0)

Representa la desviación estándar conjunta que conjuga el tránsito en el periodo de diseño con el comportamiento del pavimento[10].

Se recomienda para pavimentos rígidos, valores de desviación estándar entre los límites [10]:

$$0,30 \leq S_0 \leq 0,40$$

El valor del error estándar combinado depende de la cantidad y calidad de información de tráfico obtenida y de su interpretación. La normativa AASHTO recomienda que en caso de que la proyección de tráfico sufra una variación futura diferente a la supuesta en el diseño se asigne un valor de S_0 igual a 0,39, caso contrario S_0 toma el valor de 0,34.

En la presente investigación, debido a la incertidumbre de los datos S_0 será igual a 0,39

Desviación normal estándar (Z_R)

La desviación normal estándar está asociado a un nivel de confiabilidad R , de tal forma que haya una probabilidad igual a $1 - R/100$ de que el tránsito realmente soportado sea inferior a un factor de confiabilidad $Z_R \cdot S_0$.

El periodo de diseño sigue una ley de distribución normal como se muestra en la Tabla 8.



Confiabilidad R (%)	Desviación Normal Estándar (Zr)
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282

Tabla 7: Desviación Normal Estándar en función de la Confiabilidad, AASHTO [3].

Además, la normativa sugiere niveles de confiabilidad R indicados en la Tabla 8 en función del tipo de carretera que se trate.

Tipo de carretera	Niveles de Confiabilidad	
	Urbana	Rural
Autopistas y Carreteras importantes	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Tabla 8: Niveles de Confiabilidad en función del tipo de carretera, AASHTO [3].

Para el presente diseño se considera que el tipo de carretera es Autopista como es el caso de la Vía Cuenca–Azogues y por otra parte se considera Carretera Importante como es el caso de la Vía Cuenca–Molleturo–Empalme, por consiguiente, se asume el 85% de confiabilidad con un valor de -1,037 de la desviación normal, como se señala en la Tabla 7 y Tabla 8.

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de

serviciabilidad presente PSI (Present Serviciability Index) mediante el cual el pavimento está calificado en un rango de 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto).

Para un diseño es necesario elegir la serviciabilidad tanto inicial como final:

P_0 : Esta en función del diseño del pavimento y de la calidad de construcción.

P_t : Esta en función de la categoría del camino, es decir, está basado en el índice más bajo que puede tolerar un pavimento antes de una rehabilitación.

La guía AASHTO recomiendalos siguientes valores del Índice de Serviciabilidad.

❖ Serviciabilidad Inicial

$$P_0 = 4,5$$

❖ Serviciabilidad Final

$$P_t = 2,5 \text{ Para caminos muy importantes}$$

$$P_t = 2,0 \text{ Para caminos de menor tránsito}$$

Las vías consideradas en el presente diseño, son caminos de menor importancia con relación a la magnitud de vías que considera la normativa AASHTO, por tanto se adopta un valor para el índice de servicio final igual a 2 y un índice de servicio inicial igual a 4,5.

Además de los coeficientes ya descritos, la normativa AASHTO toma en cuenta la variación del índice de servicio, pues la misma está orientada a medir el confort que brinda el camino al usuario. Se han desarrollado originalmente para su determinación la combinación de distintos parámetros de deterioro, tal y como se muestra en la Ecuación 8.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

Ecuación 8

Coeficiente de Drenaje (Cd)

El drenaje de agua de pavimentos ha sido siempre una consideración importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinada con el volumen de tráfico en aumento, y por ende, aumento de las cargas; a menudo conduce a la angustia del deterioro temprano de la estructura de pavimento debido a que la humedad tiene gran influencia sobre las propiedades de los materiales que conforman dicha estructura.

El agua presente en los pavimentos puede provocar estos daños:

- ❖ Migración de partículas de suelo, creando problemas de erosión.
- ❖ Fallas producidas por un escurrimiento incontrolado que llevan a la saturación, exceso de subpresión o excesos de fuerzas de filtración.
- ❖ Reblandecimiento de la subrasante cuando ésta se satura y permanece saturada durante un amplio periodo.
- ❖ Degradación de la calidad de material del pavimento por acción de la humedad.

Consideraciones generales de diseño

Los métodos para el tratamiento de agua en los pavimentos en general son:

- ❖ Prevenir que el agua entre al pavimento,
- ❖ Proveer de drenaje para eliminar el exceso de agua rápidamente, y
- ❖ Construcción de la acera lo suficientemente fuerte como para resistir el efecto combinado de la carga y el agua.

Cuando todas las posibles fuentes de agua son considerados, la protección del pavimento de la sección estructural de la entrada de agua requiere la interceptación de las aguas subterráneas, así como el sellado de la superficie del pavimento, se ha dado una atención considerable generalmente a interceptar las aguas subterráneas, mientras que menos atención se ha dado a la superficie de sellado. Como resultado, una cantidad considerable de agua

a menudo entra en la subestructura del pavimento, dando lugar a una necesidad de algún tipo de drenaje.

Para obtener el drenaje adecuado del pavimento, el diseñador debe considerar proporcionar dos tipos de sistemas de drenaje:

- ❖ El drenaje superficial
- ❖ El drenaje de las aguas subterráneas, y
- ❖ El drenaje para agua libre.

El valor del coeficiente de drenaje dependerá de dos parámetros:

La calidad del drenaje, que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento. Es importante considerar para el diseño un buen drenaje, pues aumenta la capacidad portante de la subrasante mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

Y el siguiente parámetro es el porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad aproximándose a la saturación. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje.

La normativa AASHTO recomienda “Tiempos de Drenaje” basados en el tiempo requerido para drenar la capa de base hasta un grado de saturación del 50%. Sin embargo, el criterio del 85% de saturación reduce en forma significativa el tiempo real usado para seleccionar la calidad del drenaje, esto se refleja en la Tabla 9.

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	mucho más de 10 horas

Tabla 9: Calidad de drenaje en función del porcentaje de saturación, AASHTO [3].

Como se indicó anteriormente la calidad de drenaje se expresa a través de los coeficientes de drenaje que afectan a las capas del pavimento y se definen en la Tabla 10.

Calidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25%
Excelente	1,25 - 1,20	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10
Bueno	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00
Regular	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90
Pobre	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Muy pobre	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

Tabla 10: Calidad de drenaje en función del porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, AASHTO [3].

Para un pavimento rígido, el coeficiente de drenaje se considera en un rango de valores entre 0,7 y 1,25, el mismo que es directamente proporcional a la calidad de drenaje.

En la presente investigación se estima un valor de 1,00 para este coeficiente, es decir, se considera la calidad del drenaje como regular y un porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de

humedad próximos a la saturación del 1% al 5%, según como se explica en la Tabla 9 y Tabla 10.

Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c)

El módulo elástico es una medida que relaciona la tensión con la deformación del concreto. Por consiguiente, es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto.

La AASHTO recomienda la siguiente ecuación para el cálculo del módulo de Elasticidad:

$$E_c = 57000(f'c)^{0,5}$$

Ecuación 9

Dónde:

E_c = módulo de elasticidad del hormigón (psi)

$f'c$ = resistencia a la compresión simple del hormigón a los 28 días (psi)

ó en unidades métricas:

$$E_c = 150000(f'c)^{0,5}$$

Ecuación 10

Dónde:

E_c = módulo de elasticidad del hormigón (kPa)

$f'c$ = resistencia a la compresión simple del hormigón a los 28 días (kPa)

La resistencia a la compresión simple es la variable principal en la presente investigación a la cual se le asigna tres valores, por ende, se obtienen tres valores de módulo de elasticidad del concreto.

Módulo de Rotura del Hormigón (S'_c)

Es la resistencia a la tracción por flexión del hormigón, la misma que se determina con el ensayo a flexión con carga al tercio de la luz y está relacionado con f'_c a través de la siguiente ecuación:

$$S'_c = K(f'_c)^{0,5}$$

Ecuación 11

Dónde:

S'_c = resistencia a la tracción por flexión del hormigón (psi)

K = constante que varía entre 7 y 12

f'_c = resistencia a la compresión simple del hormigón a los 28 días (psi)

Coefficiente de transmisión de Cargas en las juntas (J)

Este factor se introduce para tener en cuenta la capacidad de la estructura del pavimento para transferir cargas a través de discontinuidades juntas y fisuras.

Su valor dependerá de los siguientes parámetros:

- ❖ El tipo de Pavimento: Concreto o Asfalto.
- ❖ El tipo de Berma: De concreto o unida al pavimento o de asfalto.
- ❖ La existencia o no de dispositivos de transferencia de carga.

En función de estos parámetros, la Tabla 11 muestra rangos de coeficientes J:

BERMA	ASFALTO		CONCRETO	
<i>Dispositivos de transmisión de cargas</i>	<i>SI</i>	<i>NO</i>	<i>SI</i>	<i>NO</i>
<i>Tipo de Pavimento</i>				
Hormigón simple o armado con juntas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 – 3,1	3,6 - 4,2
Hormigón armado continuo	2,9 - 3,2	-	2,3 - 2,9	-

Tabla 11: Coeficiente de transmisión de Cargas en las juntas en función del tipo de pavimento, AASHTO [3].

Se establecerá un coeficiente de transmisión de cargas de 3,1 tomando en cuenta que el tipo de berma es de hormigón simple y en el pavimento se utilizan pasadores.

Módulo de resiliencia (M_R)

El Módulo de Resiliencia es un ensayo que estudia la resistencia de la subrasante, describiendo mejor el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de rueda, por esta razón influye en la determinación del módulo de reacción de las capas de soporte.

Una rueda que se mueve imparte un pulso dinámico a todas las capas del pavimento y a la subrasante. Como respuesta a este pulso dinámico, cada capa de pavimento sufre una deflexión. El pulso de solicitaciones varía desde un valor muy bajo hasta un máximo en un breve periodo, función de la velocidad del vehículo.

Es muy difícil asignar valores típicos de módulo resiliente para cada tipo de suelo. El valor está afectado por valores de construcción, tipo de suelo, granulometría, contenido de humedad. Cada repartición vial debe investigar los suelos de su zona para encontrar correlaciones con el módulo resiliente que sirvan para futuros proyectos.

El método AASHTO recomienda usar valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio, dado que las incertidumbres son tomadas en cuenta en la confiabilidad (R)

Cuando es de esperar que la subrasante tenga contenidos de humedad variables a lo largo del año, es necesario hacer un estudio de la variación de M_R con la humedad para determinar un M_R medio de diseño.

Se considera tres valores para el módulo de resiliencia en la presente investigación, los mismos que fueron obtenidos del proyecto de la Vía Cuenca-Molleturo-Empalme, según datos proporcionados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Factor de Perdida de Soporte

Este parámetro indica la pérdida de soporte que tiene lugar por efecto de erosión de la base o por movimientos diferenciales verticales del suelo. A pesar de que este factor no se muestra en la formulación para el diseño del espesor del pavimento, sí interviene de forma directa en la reducción del módulo de reacción de las capas de soporte. La normativa AASHTO recomienda para éste parámetro la Tabla 12.

El valor correspondiente de la pérdida de soporte para la elaboración del presente trabajo será de 1, debido a que es una base granular no tratada.

Módulo de reacción de las capas de soporte (k)

Un factor de gran importancia en el diseño del espesor de un pavimento de hormigón es la calidad de la capa de soporte. El objetivo de éste parámetro es determinar las posibles variaciones en la capacidad de soporte, dando como resultado una reacción de las capas de material que intervienen en la estructura del pavimento.

Tipo de Material	Pérdida de soporte
Base Granular tratada con cemento E=1.000.000 a 2.000.000 (psi)	0,0 - 1,0
Mezclas de agregados con cemento E=500.000 a 1.000.000 (psi)	0,0 - 1,0
Base tratada con asfalto E=350.000 a 1.000.000 (psi)	0,0 - 1,0
Mezclas bituminosas estabilizadas E=40.000 a 300.000 (psi)	0,0 - 1,0
Estabilizado con cal E=20.000 a 70.000 (psi)	1,0 - 3,0
Base Granular no tratada E=15.000 a 45.000 (psi)	1,0 - 3,0
Materiales naturales de subrasante E=3.000 a 40.000 (psi)	2,0 - 3,0

Tabla 12: Factor de pérdida de soporte en función del tipo de material, AASHTO [4].

Utilizando la Figura 3 en el que intervienen como variables de entrada el módulo de resiliencia de la subrasante, el espesor de la base y el coeficiente de elasticidad de la misma, se obtiene el denominado módulo de reacción compuesto de la subrasante.

En el caso de que bajo la subrasante haya un estrato de roca a una profundidad menor o igual a tres metros, el módulo de reacción compuesto obtenido en el paso anterior se corrige utilizando las curvas de la Figura 4.

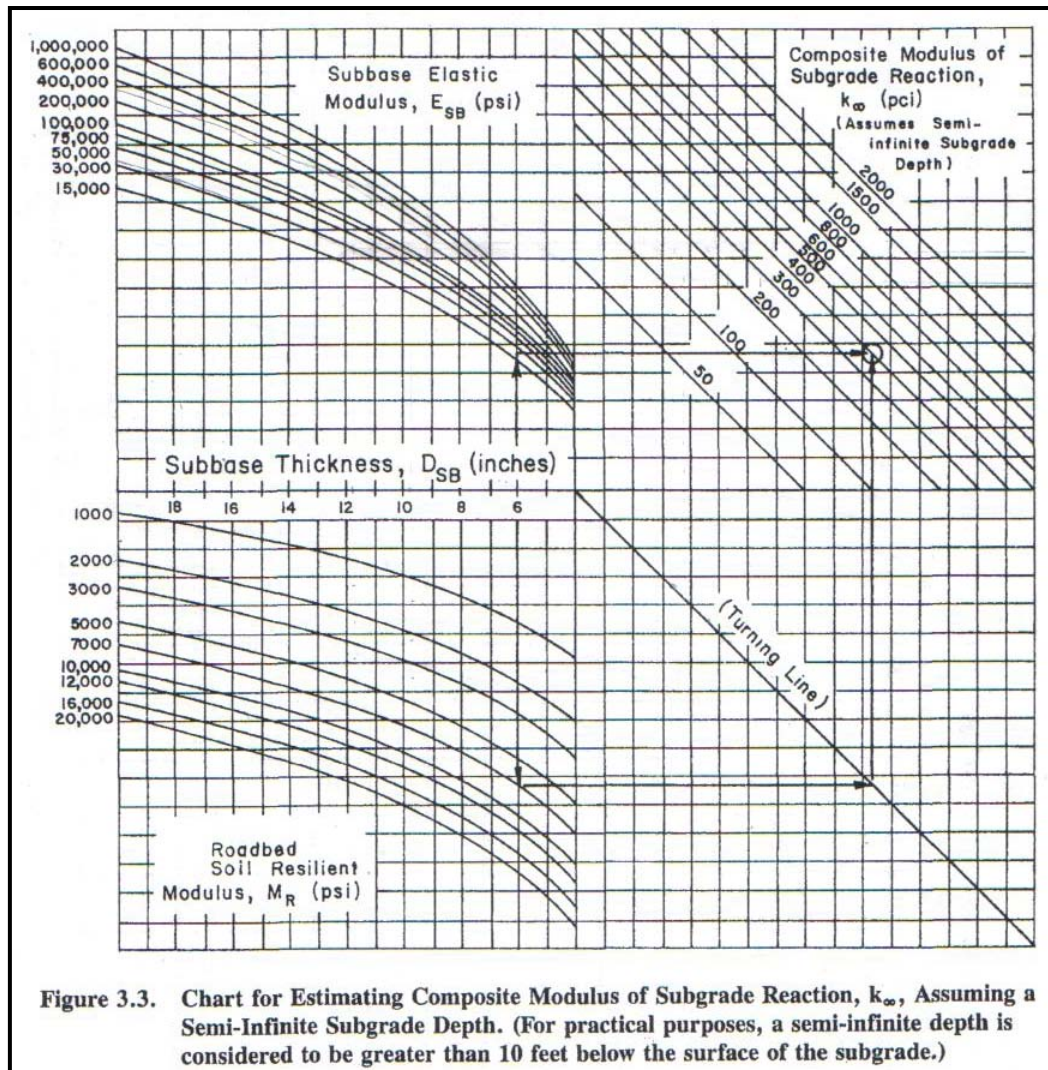


Figura 3: Abaco para determinar el módulo de reacción de las capas de soporte, suponiendo una profundidad infinita, AASHTO [3].

Para un análisis más profundo se puede determinar el valor de k para cada cierto tiempo, por lo general, se lo determina para cada mes, además se estima un valor inicial arbitrario para el espesor de la losa y con la ayuda del nomograma de la Figura 5 se obtiene lo que se denomina “Factor de Deterioro Relativo (U_r)” para el espesor de la losa supuesta y los distintos valores de k , definida anteriormente.

Se calcula el promedio de los diferentes valores U_r , y entrando de nuevo en la Figura 2 se obtiene el valor medio del coeficiente k para el mismo espesor.

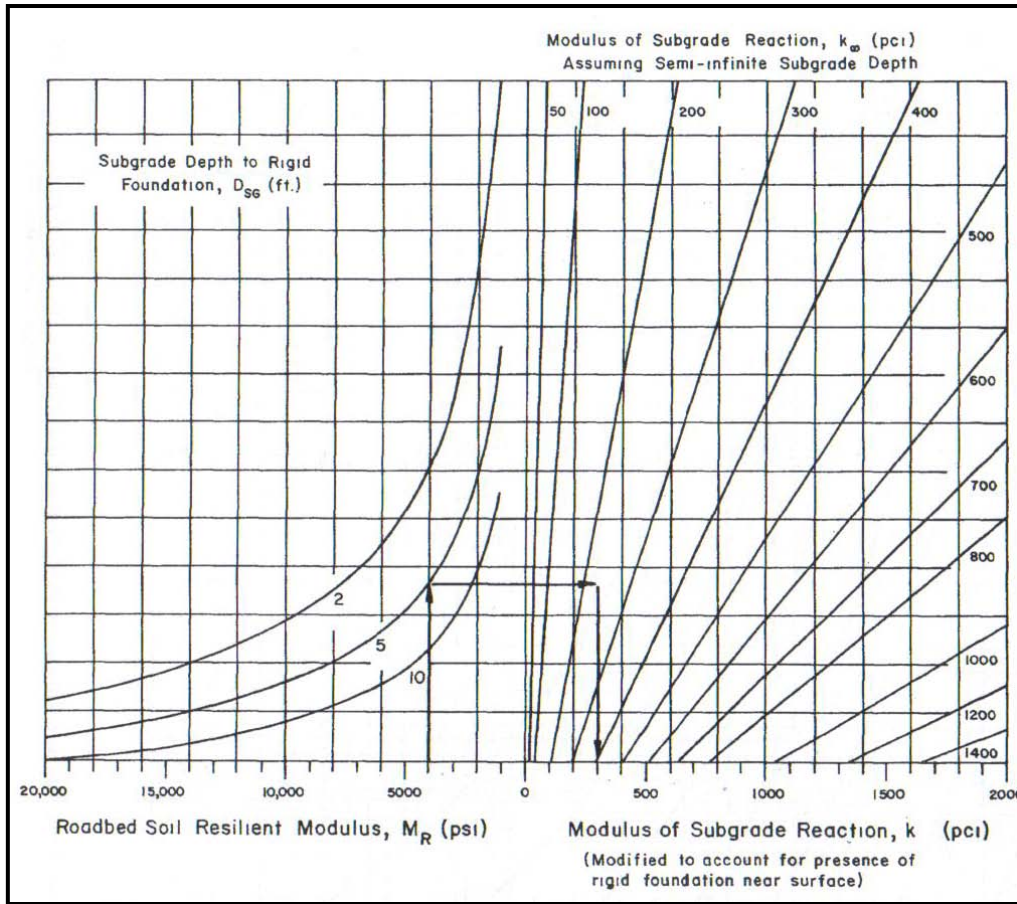


Figura 4: Abaco para corregir el valor de k por la presencia de una capa rígida (estrato de roca a menos de 3 metros de profundidad) AASHTO [3].

Finalmente se corrige el valor de k en función de la pérdida de soporte LS de la base, con ayuda de la Figura 6.

Parámetros y coeficientes utilizados para el presente diseño

En la Tabla 13 y Tabla 14 se muestran cuadros de resumen de los valores de coeficientes y de las propiedades de los materiales utilizados para el diseño de espesor de pavimentos del presente trabajo.

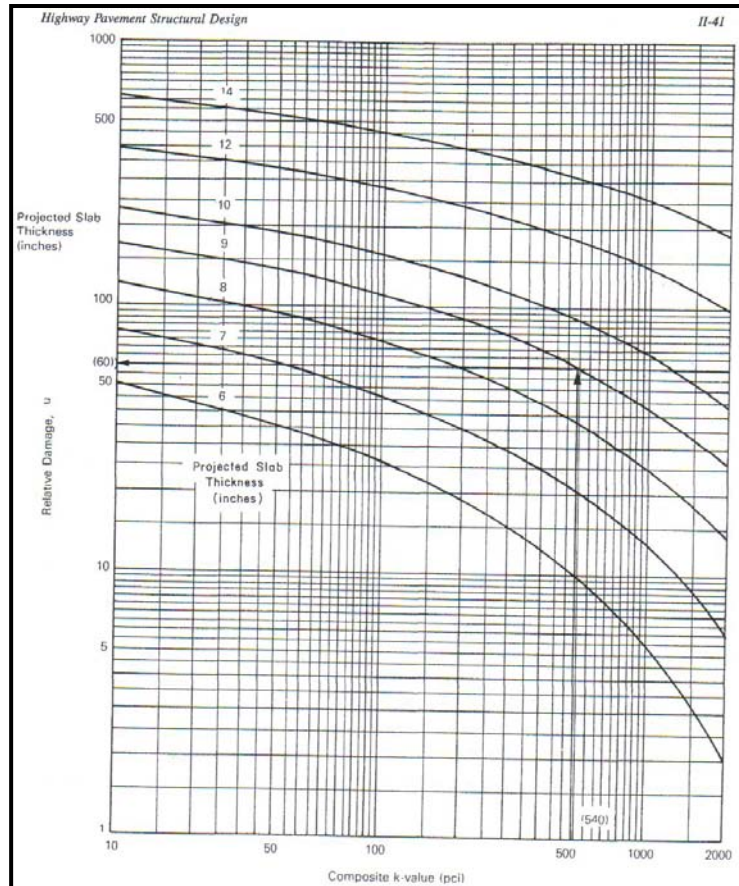


Figura 5: Abaco para determinar el deterioro relativo U_r , AASHTO [3].

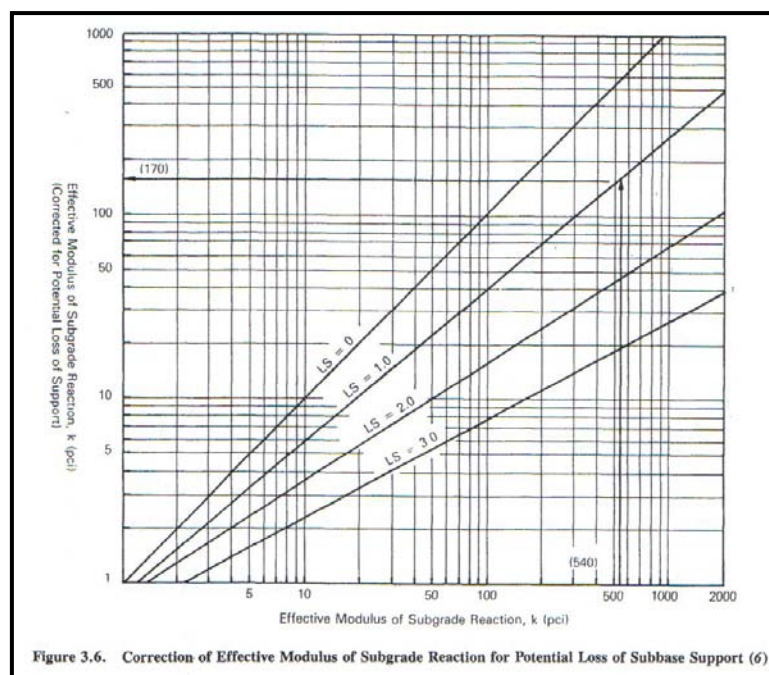


Figure 3.6. Correction of Effective Modulus of Subgrade Reaction for Potential Loss of Subbase Support (6)



Figura 6: Esquema para corregir el módulo de reacción de las capas de soporte debido a la pérdida de soporte de la base, AASHTO [3]

Variable	Coeficiente	Valor
Trafico	Número de ejes equivalentes para tráfico medio (W18)MEDIO	4006093
	Número de ejes equivalentes para tráfico pesado (W18)MEDIO	15166232
Confiabilidad	Porcentaje de Confiabilidad (R)	85%
	Desviación normal estándar (ZR)	-1,037
	Error estándar combinado (S0)	0,39
Serviciabilidad	Serviciabilidad inicial (P0)	4,5
	Serviciabilidad final (Pt)	2
Drenaje	Coeficiente de drenaje (Cd)	1
Transferencia de cargas	Coeficiente de transferencia de cargas en las juntas (J)	3,1
Pérdida de soporte	Pérdida de soporte (LS)	1

Tabla 13: Cuadro de resumen de los valores de coeficientes adoptados para el diseño de espesores de pavimento del presente trabajo.



Material	Propiedades			
Hormigón compactado con rodillo	Resistencia a compresión a los 28 días		Módulo de Elasticidad (psi)	Módulo de Rotura (psi)
	kg/cm ²	Psi		
	280	3982	4732993	600
	350	4978	5291647	670
	450	6400	6000164	760
Base	Tipo	Espesor (mm)	Módulo de Elasticidad	
	Base Clase 2	250	kg/cm ²	psi
		500	2700	38402
Subrasante	Módulo de Resiliencia			
	kg/cm ²		psi	
	95		1351	
	148		2105	
	271		3854	

Tabla 14: Cuadro de resumen de las propiedades de los materiales que conforman la estructura del pavimento del presente trabajo.

2.3.3 Juntas de Construcción

La forma más común de construir los pavimentos rígidos es por carriles, generándose juntas longitudinales, con una separación determinada mediante un diseño realizado con criterios técnicos.

Además de las juntas longitudinales, existen también las juntas transversales, construidas cuando se suspenden las labores de colocación del concreto o por cualquier interrupción común en una obra. Dichas interrupciones deben ser tan largas como para que el concreto ya colocado haya alcanzado su fraguado final.

Elementos de la Junta

Las características que debe cumplir una junta son:

1. Localización adecuada, para tener un control eficaz del agrietamiento potencial causado por factores de contracción y dilatación.

2. Transmisión adecuada de las cargas a la losa adyacente, con el fin de evitar fallas por deformaciones excesivas o pérdidas en la calidad del rodamiento. Los mayores esfuerzos en losas de hormigón, debido a la circulación de los vehículos, se presentan en las esquinas; pero los más frecuentes y los que controlan el diseño del espesor son los de borde. Esto obliga a dotar a las juntas, especialmente a las transversales, de mecanismos que transmitan las cargas, de una losa a otra, para que se desarrollen esfuerzos de similar magnitud a los generados por las cargas colocadas en el centro de las losas. La transferencia de carga se la puede realizar mediante diferentes mecanismos como son: Pasadores y trabazón de agregados [10].

Pasadores: Se utiliza este mecanismo para vías con tráfico pesado y/o clima severo, pues es necesario mejorar la eficiencia de la trabazón de agregados mediante el empleo de barras de acero liso, a los que se les denomina pasadores, que conectan entre sí las losas separadas por juntas. Este mecanismo transmite fuerzas de cizalladura y momento flector, pero debe permitir el libre movimiento horizontal de las losas, por lo cual por lo menos la mitad del pasador debe engrasarse, a fin de evitar su adherencia con el concreto que lo rodea. De la misma manera, estos movimientos horizontales exigen que los pasadores de una junta sean todos paralelos al eje de la calzada [10].

En la Tabla 15 se muestran recomendaciones para la selección de los pasadores de carga según el espesor del pavimento:

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud Total	Separación entre centros
	(mm)	(pulg.)		
0 – 100	13	½	250	300
110 – 130	16	5/8	300	300
140 – 150	19	¾	350	300
160 – 180	22	7/8	350	300
190 – 200	25	1	350	300
210 – 230	29	1 1/8	400	300
240 – 250	32	1 1/4	450	300
260 – 280	35	1 3/8	450	300
290 – 300	38	1 1/2	500	300

Tabla 15: Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga en función del espesor del pavimento [10].

Trabazón de agregados: Cuando se produce la ruptura de la sección del pavimento se presenta transmisión de cargas entre los tramos de losa a las losas vecinas debido a la trabazón de agregados, para el caso en donde la trabazón es causada por fisuración ésta no debe ser mayor a un milímetro [10].

3. Protección adecuada de la subrasante contra el agua. La junta debe ser impermeable, de tal manera que el agua no pueda infiltrarse a través de ella.

Clases de Juntas

Juntas Longitudinales: Se construyen con la finalidad de controlar las fisuras que pueden presentarse en pavimentos con anchos inferiores a cinco metros. Por lo general el pavimento se construye por carriles con un ancho aproximado de 3,65m. La transmisión de cargas se hace por medio de trabazón de agregados y es usual colocar barras de anclaje que mantengan unidas las caras de las juntas y garanticen su eficiencia.

Las barras de anclaje resisten la fuerza de tracción generada por la fricción entre la losa del pavimento y la subrasante. Así mismo, la longitud de éstas barras debe ser tal que el esfuerzo de adherencia a cada lado de la junta iguale el esfuerzo de trabajo del acero [10]. La aplicación de estos conceptos ha permitido presentar recomendaciones para la selección de las barras de anclaje, tal y como se muestra en la Tabla 16.

Juntas Transversales: Se realiza con el fin de controlar la fisuración del concreto por contracción y alabeo; por lo tanto, el espaciamiento entre ellas debe ser menor a seis metros. Se ha demostrado que cuando la separación se aproxima a 4,5m; se puede controlar prácticamente todas las fisuras y el comportamiento del pavimento a lo largo de su vida útil de servicio es mejor [10].

Espesor de Losa (cm)	Barras de $\phi 9,5\text{mm}$ o $3/8''$				Barras de $12,7\text{mm}$ o $1/2''$				Barras de $15,9\text{mm}$ o $5/8''$			
	Longitud (cm)	Separación entre barras según el carril (cm)			Longitud (cm)	Separación entre barras según el carril (cm)			Longitud (cm)	Separación entre barras según el carril (cm)		
		3,05m	3,35m	3,65m		3,05m	3,3m	3,65m		3,05m	3,35m	3,65m
Acero de $f_y=1.875 \text{ kg/cm}^2$												
15	45	80	75	65	60	120	120	120	70	120	120	120
17,5		70	60	55		120	110	100		120	120	120
20		60	55	50		105	100	90		120	120	120
22,5		55	50	45		55	85	80		120	120	120
25		45	45	40		85	80	70		120	120	120
Acero de $f_y=2.800 \text{ kg/cm}^2$												
15	65	120	110	100	85	120	120	120	100	120	120	120
17,5		105	95	85		120	120	120		120	120	120
20		90	80	75		120	120	120		120	120	120
22,5		80	75	65		120	120	120		120	120	120
25		70	65	60		120	115	110		120	120	120
Nota: Cuando se empleen barras de acero liso, las longitudes en la tabla se multiplicaran por 1,5												

Tabla 16: Recomendaciones para la selección de las barras de anclaje en función del espesor del pavimento [10].

2.4 DISEÑO DE HORMIGONES COMPACTADOS CON RODILLOS (HCR)

2.4.1 Definición

Los hormigones compactados con rodillo están constituidos por los mismos componentes de los hormigones convencionales, empleando áridos cuya granulometría permite reducir a un mínimo el volumen de huecos. Por consiguiente, son hormigones con mayor densificación y menor relación agua/cemento, el mismo que ofrece mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa económica para la construcción de pavimentos rígidos [11].

En la Figura 7 se ilustra la consistencia adecuada de la mezcla de hormigón, la misma que permita soportar al hormigón el peso del equipo de compactación y alcanzar su total consolidación por acción de los vibrocompactadores.



Figura 7: Esquema de la consistencia de un hormigón compactado con rodillo [11].

2.4.2 Características generales

- ❖ Menor calor total originado por las reacciones del aglomerante, y además el calor se desarrolla lentamente en un período largo: De esta manera se reducen los riesgos de fisuración.
- ❖ Alto índice de capacidad de soporte, lo que permite que sea puesto bajo circulación nada más finalizar su compactación en obra.
- ❖ Porcentaje de aglomerante lo más bajo posible.
- ❖ Porcentaje de agua lo más bajo posible.
- ❖ En lo relativo a gravas-cemento, al disminuir la relación agua/cemento la retracción hidráulica es más baja, con lo que la separación entre fisuras es bastante menor que de la habitual.
- ❖ La colocación del hormigón con elevadas consistencias minimiza las pérdidas de resistencia que tienen lugar como consecuencia de la adición de agua en hormigón convencional debido a las exigencias de una mínima trabajabilidad.

2.4.3 Análisis de Propiedades

Resistencia Mecánica

La resistencia mecánica del hormigón totalmente consolidado viene influida principalmente por la relación agua/conglomerante. Aún con los bajos contenidos de agua usados en este tipo de hormigones, la ganancia de resistencia al bajar el agua, indica que este componente siempre es suficiente para asegurar una hidratación continuada.

Propiedades Elásticas

Los principales factores que afectan a las propiedades elásticas del hormigón son la edad, el tipo de árido y la relación agua/cemento o calidad de la pasta. El módulo elástico aumenta con la edad y con el contenido de cemento.

Consistencia

El hormigón adecuado para compactación con rodillo difiere notablemente en apariencia del hormigón normal de asentamiento medible con los procedimientos habituales.

La consistencia del hormigón fresco se mide a través el consistómetro VEBE, que es el número de segundos que se requieren para consolidar o compactar el volumen de hormigón en un cono de Abrams en un recipiente de 241,3mm de diámetro [8].

Tiempo de puesta en obra

Se entiende por tiempo de puesta en obra de un hormigón compactado, su facultad de conservar durante un período de tiempo su aptitud para la compactación.

A medida que se desarrolla el fraguado del material el hormigón compactado pierde progresivamente su trabajabilidad. El agua libre se combina con el conglomerante, perdiendo su papel de lubricante; mientras que los enlace conglomerante-árido que empiezan desarrollarse rigidizan de forma paulatina el material.

El tiempo de puesta en obra es el intervalo contado a partir de la mezcla de los componentes, durante el cual al no haber comenzado o ser muy débil el fraguado del conglomerante, se puede proceder al extendido y compactación del material.

Fluencia y capacidad de deformación

La magnitud de fluencia es directamente proporcional al volumen de pasta contenido en una unidad de volumen de hormigón. Las mezclas con huecos debido a inadecuados volúmenes de pasta presentarán de la misma que pueden contribuir a un incremento de la fluencia bajo carga. La capacidad de deformación del HCR no debería, por tanto, diferir de la de hormigón convencional.

Retracción

El cambio de volumen potencial debido a la pérdida de humedad o retracción de secado, es significativamente bajo en el HCR debido a su menor contenido en agua de mezclado frente al de un hormigón convencional. La superficie está sujeta a la desecación, como sucede en todos los hormigones, pero hay también menos pasta en superficie y el mayor volumen de árido restringe más el cambio de volumen.

Durabilidad

La durabilidad del hormigón se estima por su resistencia a la meteorización por ciclos de hielo-deshielo, el ataque químico y la erosión o desgaste. Por esto, es necesaria una adecuada elección de los áridos para garantizar durabilidad en lo que a meteorización respecta.

Por otra parte, experiencias demuestran que la resistencia a la erosión se mejora con el empleo de tamaño de árido más pequeño y texturas superficiales suaves.

Permeabilidad

La permeabilidad de una masa de hormigón depende en gran medida del aire atrapado en el sistema de huecos. Como la cantidad de pasta es suficiente para minimizar el sistema de huecos, y el grado de compactación, consolida completamente la masa, el HCR es tanto o más impermeable que el hormigón convencional.

2.4.4 Metodología de Diseño

A continuación se describe el procedimiento empleado para la dosificación de hormigones compactados con rodillo [11]:

1. Selección de la relación agua/cemento en función de la resistencia, a partir de la Figura 8.

2. Determinación del mínimo contenido de pasta denominado P_T como un por ciento del volumen total de mortero.

Como una alternativa, la relación P_v entre el volumen de pasta libre de aire al volumen de mortero libre de aire, se selecciona en el rango 0.38 a 0.46.

$$P_v = \frac{V_{\text{pasta sin aire}}}{V_{\text{mortero sin aire}}}$$

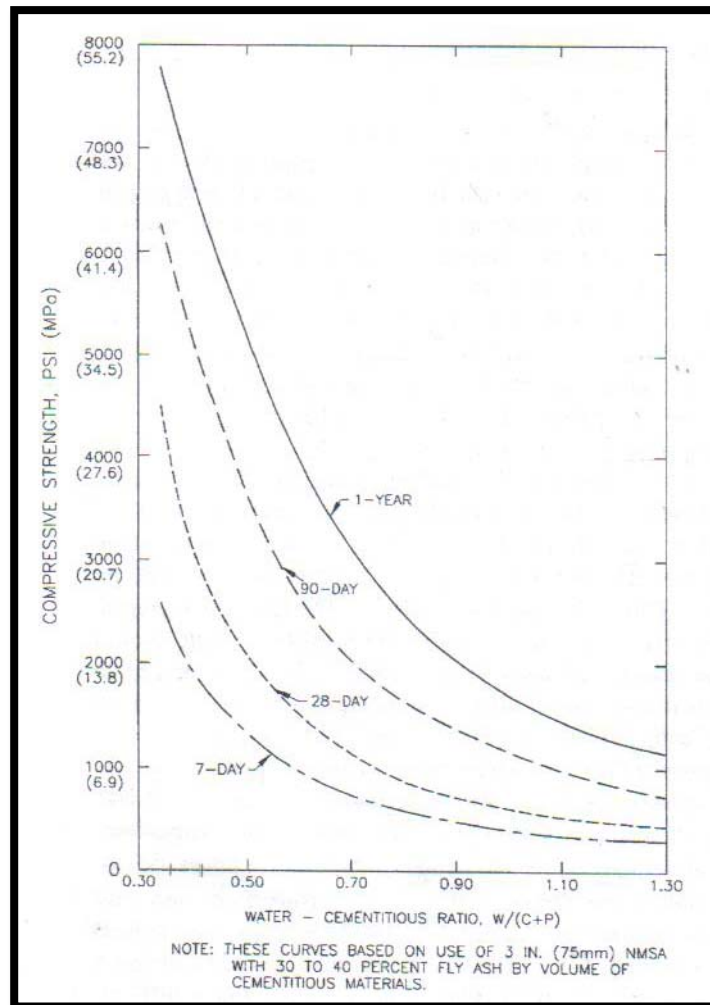


Figura 8: Resistencia del concreto versus relación agua/cemento [12].

3. Determinación del volumen de árido grueso, para esto se plantea el cálculo de 1m^3 de hormigón, es decir, 1000dm^3 de hormigón. Por ejemplo, si se desea que la mezcla contenga un 60% de árido

grueso, la misma debe contener 600dm^3 de dicho material para un volumen total de 1000dm^3 de hormigón.

4. Determinación del Volumen de aire: Se asume el contenido de aire como 1% ó 2 % del volumen total del hormigón, es decir, el volumen de aire para $1\text{m}^3_{\text{HORMIGON}} = 10 \times \% \text{ de aire}$.

5. Cálculo del volumen de pasta sin aire (V_{pasta}):

$$V_{\text{pasta}} = \left(\frac{P_t}{100} \right) * (V_{\text{mortero}} - V_{\text{aire}})$$

$$V_{\text{mortero}} = 1000\text{dm}^3_{\text{HORMIGON}} - (V_{\text{arido grueso}})$$

Utilizando P_v de la etapa 2

$$V_{\text{pasta}} = (V_{\text{mortero sin aire}}) * P_v$$

$$V_{\text{mortero}} = 1000\text{dm}^3_{\text{HORMIGON}} - (V_{\text{arido grueso}} + V_{\text{aire}})$$

6. Determinación del volumen de árido fino.

$$V_{\text{arena}} = 1000\text{dm}^3_{\text{HORMIGON}} - V_{\text{arido grueso}} - V_{\text{pasta}} - V_{\text{aire}}$$

Alternativamente,

$$V_{\text{arena}} = V_{\text{mortero}} * (1 - P_v)$$

7. Determinación del volumen de agua.

$$V_{\text{agua}} = V_{\text{pasta}} * \frac{\frac{a}{c}}{1 + \left(\frac{a}{c} \right)}$$

a/c es la relación agua/material aglomerante en volumen absoluto

8. Determinación del volumen de cemento.

$$V_c = \frac{V_{\text{agua}}}{\frac{a}{c}}$$

9. Cálculo de los pesos de cada material multiplicando su volumen absoluto por su peso específico corriente (seco).
10. Ensayo de consistencia: Se debe realizar un ensayo de consistencia empleando el VEBE modificado, a una mezcla de prueba con la dosificación obtenida a partir de la metodología de cálculo, con vista a determinar si cumple con el grado VEBE deseado o para determinar el tiempo mínimo requerido para obtener el peso unitario compactado máximo.

Después de haber definido los volúmenes de árido, la normativa ACI [12] recomienda que se diseñe dos mezclas adicionales, una, con mayor a/c a la calculada y la otra menor. Dibuje un gráfico de resistencia a compresión vs a/c para determinar las proporciones de la mezcla definitiva.

CAPITULO III

3.1 DETERMINACION DEL ESPESOR DE UN PAVIMENTO RIGIDO

PARAMETROS FIJOS		CONVERSION DE UNIDADES			NOMENCLATURA		Abreviatura
Z _R	-1,037	Conversion	psi	(kg/cm²)	Resistencia a compresión del concreto		f'c
S ₀	0,39		14,223	1	Módulo de rotura del concreto		S'c
ΔPSI	2,5	f'c	3982	280	Módulo de Elasticidad del concreto		Ec
Pt	2		4978	350	Módulo de resilencia de la subrasante		MR
Cd	1		6400	450	Módulo de reacción de las capas de soporte		kr
J	3,1	MR	1351	95	Módulo de elasticidad de base		Ec Base
Ec Base	38402,1		2105	148	Número de ejes equivalente		W18
			3854	271	Desviación normal estándar		Z _R
		Ec Base	38402	2700	Error estándar combinado		S ₀
					Índice de capacidad de servicio		ΔPSI
					Serviciabilidad Final		Pt
					Coeficiente de drenaje		Cd
					Coeficiente de transferencia de cargas		J

Alter nativa	VARIABLES							SOLUCION DE ECUACION			ESPESOR DE PAVIMENTO			
	f'c psi	W18		S'c psi	Ec psi	Mr psi	Espesor de base (mm)	kr	Ecuacion	Log ₁₀ (W18)	Log ₁₀ (W18)- Ecuacion	Espesor pulg.	Espesor cm.	Espesor adoptado cm
1	3982,44	Tráfico medio	4006093	600	4732993	1351	250	170	6,6027	6,6027	-0,000009	8,4979	21,6	22
2			4006093				500	210	6,6027	6,6027	-0,000008	8,3886	21,3	22
3			4006093			2105	250	215	6,6027	6,6027	-0,000008	8,3758	21,3	22
4			4006093				500	300	6,6027	6,6027	-0,000007	8,1781	20,8	21
5			4006093			3854	250	340	6,6027	6,6027	-0,000006	8,0950	20,6	21
6			4006093				500	410	6,6027	6,6027	-0,000005	7,9596	20,2	21
7			15166232			1351	250	170	7,1809	7,1809	-0,000012	10,4845	26,6	27
8			15166232				500	210	7,1809	7,1809	-0,000011	10,3809	26,4	27
9			15166232			2105	250	215	7,1809	7,1809	-0,000011	10,3689	26,3	27
10			15166232				500	300	7,1809	7,1809	-0,000011	10,1849	25,9	26
11			15166232			3854	250	340	7,1809	7,1809	-0,000010	10,1088	25,7	26
12			15166232				500	410	7,1809	7,1809	-0,000010	9,9868	25,4	26
13	4978,05	Tráfico medio	4006093	670	5291647	1351	250	170	6,6027	6,6027	-0,000008	8,0167	20,4	21
14			4006093				500	210	6,6027	6,6027	-0,000008	7,9102	20,1	21
15			4006093			2105	250	215	6,6027	6,6027	-0,000008	7,8977	20,1	21
16			4006093				500	300	6,6027	6,6027	-0,000006	7,7043	19,6	20
17			4006093			3854	250	340	6,6027	6,6027	-0,000006	7,6228	19,4	20
18			4006093				500	410	6,6027	6,6027	-0,000005	7,4897	19,0	20
19			15166232			1351	250	170	7,1809	7,1809	-0,000012	9,9050	25,2	26
20			15166232				500	210	7,1809	7,1809	-0,000011	9,8047	24,9	25
21			15166232			2105	250	215	7,1809	7,1809	-0,000011	9,7930	24,9	25
22			15166232				500	300	7,1809	7,1809	-0,000010	9,6146	24,4	25
23			15166232			3854	250	340	7,1809	7,1809	-0,000010	9,5408	24,2	25
24			15166232				500	410	7,1809	7,1809	-0,000009	9,4222	23,9	24
25	6400,35	Tráfico medio	4006093	760	6000164	1351	250	170	6,6027	6,6027	-0,000008	7,5030	19,1	20
26			4006093				500	210	6,6027	6,6027	-0,000007	7,3992	18,8	19
27			4006093			2105	250	215	6,6027	6,6027	-0,000007	7,3870	18,8	19
28			4006093				500	300	6,6027	6,6027	-0,000006	7,1981	18,3	19
29			4006093			3854	250	340	6,6027	6,6027	-0,000006	7,1181	18,1	19
30			4006093				500	410	6,6027	6,6027	-0,000005	6,9873	17,7	18
31			15166232			1351	250	170	7,1809	7,1809	-0,000011	9,2887	23,6	24
32			15166232				500	210	7,1809	7,1809	-0,000010	9,1919	23,3	24
33			15166232			2105	250	215	7,1809	7,1809	-0,000010	9,1806	23,3	24
34			15166232				500	300	7,1809	7,1809	-0,000009	9,0081	22,9	23
35			15166232			3854	250	340	7,1809	7,1809	-0,000009	8,9365	22,7	23
36			15166232				500	410	7,1809	7,1809	-0,000008	8,8215	22,4	23

3.2.1 Diseño de hormigón compactado con rodillo para $f'c=350\text{kg/cm}^2$

1. Relación agua/cemento 0,4
Relación puzolana/cemento 0

2. $P_v = \frac{w}{w + \left(\frac{w}{f'c} \right) \left(\frac{1}{\gamma_w} - 1 \right)}$ 0,4

3. Volumen de árido grueso 65,00%
V_{40mm} con 45% 292,5 dm³
V_{20mm} con 30% 195 dm³
V₁₀ con 25% 162,5 dm³
Total 650 dm³

4. Volumen de aire (1%) 10 dm³

5. Volumen de mortero sin aire P_v 340 dm³

$$V_m = 1000 \left(\frac{1}{\gamma_c} - P_v \right) \left(\frac{1}{\gamma_w} - 1 \right)$$

- Volumen de pasta sin aire P_v 136 dm³

$$V_p = (V_m / 100) * \left(\frac{1}{\gamma_c} - 1 \right)$$

6. Volumen de arena 204 dm³

$$V_a = 1000 \left(\frac{1}{\gamma_c} - P_v \right) - V_m - V_p$$

7. Volumen de agua 39 dm³

$$V_w = \frac{V_m}{(1 + \frac{w}{f'c})} * \left(\frac{1}{\gamma_w} - 1 \right)$$

8. Volumen de cemento 97 dm³

$$V_c = \frac{V_m}{(1 + \frac{w}{f'c})}$$

9. Volumen de puzolana 0 dm³

10. Peso de cada material para 1m³ de hormigón

Material	Peso (kg)
P _{40mm}	775,1
P _{20mm}	516,8
P _{10mm}	430,6
P _{arena}	530,4
P _{cemento}	291,4
P _{agua}	38,9
Total	2583,2

3.2.2 Diseño de hormigón compactado con rodillo para $f'c=450\text{kg/cm}^2$

1. Relación agua/cemento 0,35
Relación puzolana/cemento 0
2. Pv: $P_v = V_{(pasta\ sin\ aire)} / V_{(mortero)}$ 0,45
3. Volumen de árido grueso 65,00%
 $V_{40\text{mm con } 45\%}$ 292,5 dm³
 $V_{20\text{mm con } 30\%}$ 195 dm³
 $V_{10\text{ con } 25\%}$ 162,5 dm³
 Total 650 dm³
4. **Volumen de aire (1%)** 10 dm³
5. **Volumen de mortero sin aire Pv** 340 dm³
 $V_{mortero} = 1000 \text{ [dm}^3\text{]}_{(HORMIGON)} - (V_{aire})$
Volumen de pasta sin aire Pv 153 dm³
 $V_{pasta} = (P_t/100) * (V_{(arido\ grueso)})$
6. **Volumen de arena** 187 dm³
 $V_{arena} = 1000 \text{ [dm}^3\text{]}_{HORMIGON} - V_{(arido\ grueso)} - V_{puzolana}$
7. **Volumen de agua** 40 dm³
 $V_{agua} = V_{pasta} * (a/c) / (1 + a/c)$
8. **Volumen de cemento** 113 dm³
 $V_c = V_{agua} / (a/c)$
9. Volumen de puzolana 0 dm³
10. **Peso de cada material para 1m³ de hormigón**

Material	Peso (kg)
P40mm	775,1
P20mm	516,8
P10mm	430,6
Paarena	486,2
Pcemento	340,0
Pagua	39,7
Total	2588,4

CAPITULO 4

PRESUPUESTO DE OBRA

PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS EN FUNCION DE LA RESISTENCIA.

En las hojas de cálculo posteriores se presenta los costos de las alternativas de cada estructura de pavimento dependientes de los diferentes parámetros establecidos como son; resistencia a compresión del concreto, tráfico, módulo de resiliencia de la subrasante, además del módulo de elasticidad y espesor de base.

Las cantidades de obra se asumen para 1,00 m de largo, 3,65 m de ancho y el espesor es dependiente de cada alternativa.

Por otra parte, además del presupuesto se presenta los precios unitarios de cada rubro.

CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO REFERENCIAL

Alternativa 1					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m³	0,91	25,22	23,02
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 280 kg/cm², e=22cm	m³	0,80	80,69	64,79
TOTAL \$					87,81
IVA 12% \$					10,54
TOTAL MAS IVA \$					98,35

Alternativa 2					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m³	1,83	25,22	46,16
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 280 kg/cm², e=22cm	m³	0,80	80,69	64,79
TOTAL \$					110,95
IVA 12% \$					13,31
TOTAL MAS IVA \$					124,27

Alternativa 3					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m³	0,91	25,22	23,02
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 280 kg/cm², e=22cm	m³	0,80	80,69	64,79
TOTAL \$					87,81
IVA 12% \$					10,54
TOTAL MAS IVA \$					98,35

Alternativa 4					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m³	1,83	25,22	46,16
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 280 kg/cm², e=21cm	m³	0,00	80,69	0,00
TOTAL \$					46,16
IVA 12% \$					5,54
TOTAL MAS IVA \$					51,70

Alternativa 5					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m³	0,91	25,22	23,02
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 280 kg/cm², e=21cm	m³	0,77	80,69	61,85
TOTAL \$					84,86
IVA 12% \$					10,18
TOTAL MAS IVA \$					95,05

Alternativa 6					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m³	1,83	25,22	46,16
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 280 kg/cm², e=20cm	m³	0,73	80,69	58,90
TOTAL \$					105,06
IVA 12% \$					12,61
TOTAL MAS IVA \$					117,67

Alternativa 7					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m ³	0,91	25,22	23,02
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f ^c = 280 kg/cm ² , e=27cm	m ³	0,99	80,69	79,52
TOTAL \$					102,53
IVA 12% \$					12,30
TOTAL MAS IVA \$					114,84

Alternativa 8					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m ³	1,83	25,22	46,16
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f ^c = 280 kg/cm ² , e=27cm	m ³	0,99	80,69	79,52
TOTAL \$					125,68
IVA 12% \$					15,08
TOTAL MAS IVA \$					140,76

Alternativa 9					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m ³	0,91	25,22	23,02
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f ^c = 280 kg/cm ² , e=27cm	m ³	0,99	80,69	79,52
TOTAL \$					102,53
IVA 12% \$					12,30
TOTAL MAS IVA \$					114,84

Alternativa 10					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m ³	1,83	25,22	46,16
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f ^c = 280 kg/cm ² , e=26cm	m ³	0,95	80,69	76,57
TOTAL \$					122,73
IVA 12% \$					14,73
TOTAL MAS IVA \$					137,46

Alternativa 11					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m ³	0,91	25,22	23,02
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f ^c = 280 kg/cm ² , e=26cm	m ³	0,95	80,69	76,57
TOTAL \$					99,59
IVA 12% \$					11,95
TOTAL MAS IVA \$					111,54

Alternativa 12					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m ³	1,83	25,22	46,16
2	Hormigón de cemento Portland clase B, f ^c = 280 kg/cm ² , e=26cm	m ³	0,95	80,69	76,57
TOTAL \$					122,73
IVA 12% \$					14,73
TOTAL MAS IVA \$					137,46

Alternativa 13					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m³	0,91	25,22	23,02
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm², e=21cm	m³	0,77	85,77	65,74
TOTAL \$					88,76
IVA 12% \$					10,65
TOTAL MAS IVA \$					99,41

Alternativa 14					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m³	1,83	25,22	46,16
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm², e=21cm	m³	0,77	85,77	65,74
TOTAL \$					111,90
IVA 12% \$					13,43
TOTAL MAS IVA \$					125,33

Alternativa 15					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m³	0,91	25,22	23,02
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm², e=21cm	m³	0,77	85,77	65,74
TOTAL \$					88,76
IVA 12% \$					10,65
TOTAL MAS IVA \$					99,41

Alternativa 16					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m³	1,83	25,22	46,16
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm², e=20cm	m³	0,73	85,77	62,61
TOTAL \$					108,77
IVA 12% \$					13,05
TOTAL MAS IVA \$					121,83

Alternativa 17					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m³	0,91	25,22	23,02
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm², e=20cm	m³	0,73	85,77	62,61
TOTAL \$					85,63
IVA 12% \$					10,28
TOTAL MAS IVA \$					95,91

Alternativa 18					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m³	1,83	25,22	46,16
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm², e=19cm	m³	0,69	85,77	59,48
TOTAL \$					105,64
IVA 12% \$					12,68
TOTAL MAS IVA \$					118,32

Alternativa 19					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m ³	0,91	25,22	23,02
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm ² , e=26cm	m ³	0,95	85,77	81,40
TOTAL \$					104,41
IVA 12% \$					12,53
TOTAL MAS IVA \$					116,94

Alternativa 20					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m ³	1,83	25,22	46,16
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm ² , e=25cm	m ³	0,91	85,77	78,27
TOTAL \$					124,43
IVA 12% \$					14,93
TOTAL MAS IVA \$					139,36

Alternativa 21					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m ³	0,91	25,22	23,02
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm ² , e=25cm	m ³	0,91	85,77	78,27
TOTAL \$					101,28
IVA 12% \$					12,15
TOTAL MAS IVA \$					113,44

Alternativa 22					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m ³	1,83	25,22	46,16
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm ² , e=25cm	m ³	0,91	85,77	78,27
TOTAL \$					124,43
IVA 12% \$					14,93
TOTAL MAS IVA \$					139,36

Alternativa 23					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m ³	0,91	25,22	23,02
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm ² , e=25cm	m ³	0,91	85,77	78,27
TOTAL \$					101,28
IVA 12% \$					12,15
TOTAL MAS IVA \$					113,44

Alternativa 24					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m ³	1,83	25,22	46,16
3a	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 350 kg/cm ² , e=24cm	m ³	0,88	85,77	75,14
TOTAL \$					121,30
IVA 12% \$					14,56
TOTAL MAS IVA \$					135,85

Alternativa 25					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m³	0,91	25,22	23,02
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm², e=20cm	m³	0,73	83,90	61,25
TOTAL \$					84,27
IVA 12% \$					10,11
TOTAL MAS IVA \$					94,38

Alternativa 26					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m³	1,83	25,22	46,16
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm², e=19cm	m³	0,69	83,90	58,19
TOTAL \$					104,35
IVA 12% \$					12,52
TOTAL MAS IVA \$					116,87

Alternativa 27					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m³	0,91	25,22	23,02
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm², e=19cm	m³	0,69	83,90	58,19
TOTAL \$					81,20
IVA 12% \$					9,74
TOTAL MAS IVA \$					90,95

Alternativa 28					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m³	1,83	25,22	46,16
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm², e=19cm	m³	0,69	83,90	58,19
TOTAL \$					104,35
IVA 12% \$					12,52
TOTAL MAS IVA \$					116,87

Alternativa 29					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m³	0,91	25,22	23,02
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm², e=19cm	m³	0,69	83,90	58,19
TOTAL \$					81,20
IVA 12% \$					9,74
TOTAL MAS IVA \$					90,95

Alternativa 30					
Tráfico Medio, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m³	1,83	25,22	46,16
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm², e=18cm	m³	0,66	83,90	55,12
TOTAL \$					101,28
IVA 12% \$					12,15
TOTAL MAS IVA \$					113,44

Alternativa 31					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m ³	0,91	25,22	23,02
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm ² , e=24cm	m ³	0,88	83,90	73,50
TOTAL \$					96,52
IVA 12% \$					11,58
TOTAL MAS IVA \$					108,10

Alternativa 32					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 95kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m ³	1,83	25,22	46,16
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm ² , e=24cm	m ³	0,88	83,90	73,50
TOTAL \$					119,66
IVA 12% \$					14,36
TOTAL MAS IVA \$					134,02

Alternativa 33					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m ³	0,91	25,22	23,02
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm ² , e=24cm	m ³	0,88	83,90	73,50
TOTAL \$					96,52
IVA 12% \$					11,58
TOTAL MAS IVA \$					108,10

Alternativa 34					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 148kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, espesor=500mm	m ³	1,83	25,22	46,16
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm ² , e=23cm	m ³	0,84	83,90	70,44
TOTAL \$					116,60
IVA 12% \$					13,99
TOTAL MAS IVA \$					130,59

Alternativa 35					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1a	Base clase 2, espesor=250mm	m ³	0,91	25,22	23,02
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm ² , e=23cm	m ³	0,84	83,90	70,44
TOTAL \$					93,45
IVA 12% \$					11,21
TOTAL MAS IVA \$					104,67

Alternativa 36					
Tráfico Pesado, Ec subrasante = 271kg/m²					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
1b	Base clase 2, (incluido transporte) espesor=500mm	m ³	1,83	25,22	46,03
3b	Hormigón de cemento Portland clase B, f'c= 450 kg/cm ² , e=23cm	m ³	0,84	83,90	70,44
TOTAL \$					116,47
IVA 12% \$					13,98
TOTAL MAS IVA \$					130,45

Precios Unitarios

Proyecto: Análisis de sensibilidad de los costos de un Pavimento Rígido en función de la resistencia del Concreto
Descrip.: Base clase 2
Unidad: m³
Ítem: 1

COSTOS DIRECTOS						
1. EQUIPO & HERRAMIENTA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
1.1	Plancha vibratoria	Hora	1,00	4,50	0,60	2,70
1.2	Herramientas varias	Hora	1,00	0,40	0,60	0,24
Subtotal de Equipo & Herramientas:						2,94
2. MATERIALES						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
1.3	Base Clase II	m ³	1,32	13,50	1,00	17,82
Subtotal de Materiales:						17,82
3. MANO DE OBRA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
1.4	Peón	Hora	1,00	2,13	0,06	0,13
1.5	Albañil	Hora	1,00	2,13	0,06	0,13
Subtotal de Materiales:						0,26
Costo Directo Total:						21,02
COSTOS INDIRECTOS						
					20 %	4,20
Precio Unitario Total						25,22

Precios Unitarios

Proyecto: Análisis de sensibilidad de los costos de un Pavimento Rígido en función de la resistencia del Concreto

Descrip.: Hormigón simple, $f'c=280\text{kg/cm}^2$

Unidad: m^3

Ítem: 2

COSTOS DIRECTOS						
1. EQUIPO & HERRAMIENTA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
2.1	Concretera un saco	Hora	1,00	3,15	0,77	2,43
2.2	Herramientas varias	Hora	5,00	0,40	0,77	1,54
Subtotal de Equipo & Herramientas:						3,97
2. MATERIALES						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
2.3	Cemento Portland Tipo I	kg	410,00	0,08	1,00	34,44
2.4	Arena puesta en obra	m^3	0,65	17,00	1,00	11,05
2.5	Grava puesta en obra	m^3	1,00	15,00	1,00	15,00
2.6	Agua	lt	180,00	0,01	1,00	1,80
Subtotal de Materiales:						62,29
3. MANO DE OBRA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
1.4	Peón	Hora	4,00	2,13	0,08	0,66
1.5	Albañil	Hora	1,00	2,13	0,08	0,16
2.8	Maestro de obra	Hora	1,00	2,13	0,08	0,16
Subtotal de Materiales:						0,98
Costo Directo Total:						67,24
COSTOS INDIRECTOS						
					20,00%	13,45
Precio Unitario Total						80,69

Precios Unitarios

Proyecto: Análisis de sensibilidad de los costos de un Pavimento Rígido en función de la resistencia del Concreto

Descrip.: Hormigón compactado con rodillo, $f'c=350\text{kg/cm}^2$

Unidad: m^3

Ítem: 3(a)

COSTOS DIRECTOS						
1. EQUIPO & HERRAMIENTA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
3.1	Pavimentadora con encofrado deslizante	Hora	1	65	0,050	3,25
3.2	Rodillo Vibratorio	Hora	1	30	0,004	0,12
3.3	Rodillo Neumático	Hora	1	28	0,004	0,11
3.4	Tanque de agua de 6000kg	Hora	1	15,21	0,050	0,76
3.4	Bomba curadora	Hora	1	3	0,050	0,15
3.6	Herramientas varias	Hora	5,00	0,40	0,77	1,54
Subtotal de Equipo & Herramientas:						5,93
2. MATERIALES						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
3a(1)	Hormigón $f'c=350\text{kg/cm}^2$	m^3	1,00	63,92		63,92
Subtotal de Materiales:						63,92
3. MANO DE OBRA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Salario	Rendimiento	Total
2.8	Maestro de obra	Hora	1	2,13	0,08	0,16
3.7	Acabadora pavimento de hormigón	Hora	1	2,146	0,005	0,11
3.8	Operador de rodillo autopropulsado	Hora	2	1,51	0,004	0,01
1.4	Peón	Hora	8,00	2,13	0,08	1,31
3.9	Ayudante de Operador de equipo	Hora	4	1,51	0,004	0,02
Subtotal de Mano de Obra:						1,62
Costo Directo Total:						71,48
COSTOS INDIRECTOS						
						20,00% 14,30
Precio Unitario Total						85,77

Precios Unitarios

Proyecto: Análisis de sensibilidad de los costos de un Pavimento Rígido en función de la resistencia del Concreto

Descrip.: Hormigón estructural, $f'c=350\text{kg/cm}^2$

Unidad: m^3

Ítem: 3a(1)

COSTOS DIRECTOS						
1. EQUIPO & HERRAMIENTA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
4.1	Planta de hormigón	Hora	1	73,3	0,040	2,932
4.2	Silo para cemento, 20ton	Hora	1	2,5	0,040	0,10
4.3	Cargadora frontal CAT 926E	Hora	1	22,13	0,040	0,89
4.4	Sistema de enfriamiento de agua	Hora	0,5	27,5	0,020	0,55
Subtotal de Equipo & Herramientas:						4,47
2. MATERIALES						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
2.7	Cemento Portland Tipo II	kg	291,43	0,13	1,00	37,89
2.4	Arena puesta en obra	m^3	0,20	17,00	1,00	3,47
2.5	Grava puesta en obra	m^3	0,65	15,00	1,00	9,75
2.6	Agua	m^3	0,04	3,00	1,00	0,12
Subtotal de Materiales:						58,74
3. MANO DE OBRA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Salario	Rendimiento	Total
4.5	Planta hormigonera	Hora	1	2,15	0,004	0,09
4.6	Cargadora frontal	Hora	1	2,20	0,005	0,09
4.7	Ayudante de maquinaria	Hora	2	2,07	0,004	0,17
4.8	Operador sistema de enfriamiento	Hora	0,5	2,15	0,004	0,04
1.4	Peón	Hora	2,00	2,13	0,08	0,33
Subtotal de Mano de Obra:						0,71
Costo Directo Total:						63,92
COSTOS INDIRECTOS						
						0,00% 0,00
Precio Unitario Total						63,92

Precios Unitarios

Proyecto: Análisis de sensibilidad de los costos de un Pavimento Rígido en función de la resistencia del Concreto

Descrip.: Hormigón compactado con rodillo, $f'c=450\text{kg/cm}^2$

Unidad: m^3

Ítem: 3(b)

COSTOS DIRECTOS						
1. EQUIPO & HERRAMIENTA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
3.1	Pavimentadora con encofrado deslizante	Hora	1	65	0,050	3,25
3.2	Rodillo Vibratorio	Hora	1	30	0,004	0,12
3.3	Rodillo Neumático	Hora	1	28	0,004	0,11
3.4	Tanque de agua de 6000kg	Hora	1	15,21	0,050	0,76
3.4	Bomba curadora	Hora	1	3	0,050	0,15
3.6	Herramientas varias	Hora	5,00	0,40	0,77	1,54
Subtotal de Equipo & Herramientas:						5,93
2. MATERIALES						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
3b(1)	Hormigón $f'c=450\text{kg/cm}^2$	m^3	1,00	62,43		62,43
Subtotal de Materiales:						62,43
3. MANO DE OBRA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Salario	Rendimiento	Total
2.8	Maestro de obra	Hora	1	2,093	0,004	0,10
3.7	Acabadora pavimento de hormigón	Hora	1	2,146	0,005	0,11
3.8	Operador de rodillo autopropulsado	Hora	2	1,51	0,004	0,01
1.4	Peón	Hora	8,00	2,13	0,08	1,31
3.9	Ayudante de Operador de equipo	Hora	4	1,51	0,004	0,02
Subtotal de Mano de Obra:						1,56
Costo Directo Total:						69,92
COSTOS INDIRECTOS						
						20,00% 13,98
Precio Unitario Total						83,90

Precios Unitarios

Proyecto: Análisis de sensibilidad de los costos de un Pavimento Rígido en función de la resistencia del Concreto

Descrip.: Hormigón estructural, $f'_c=450\text{kg/cm}^2$

Unidad: m^3

Ítem: 3b(1)

COSTOS DIRECTOS						
1. EQUIPO & HERRAMIENTA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
4.1	Planta de hormigón	Hora	1	73,3	0,040	2,932
4.2	Silo para cemento, 20ton	Hora	1	2,5	0,040	0,10
4.3	Cargadora frontal CAT 926E	Hora	1	22,13	0,040	0,89
4.4	Sistema de enfriamiento de agua	Hora	0,5	27,5	0,020	0,55
Subtotal de Equipo & Herramientas:						4,47
2. MATERIALES						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio	Rendimiento	Total
2.7	Cemento Portland Tipo II	kg	340,00	0,13	1,00	44,20
2.4	Arena puesta en obra	m^3	0,19	17,00	1,00	3,18
2.5	Grava puesta en obra	m^3	0,65	15,00	1,00	9,75
2.6	Agua	m^3	0,04	3,00	1,00	0,12
Subtotal de Materiales:						57,25
3. MANO DE OBRA						
Codigo	Descripcion	Unidad	Cantidad	Salario	Rendimiento	Total
4.5	Planta hormigonera	Hora	1	2,15	0,004	0,09
4.6	Cargadora frontal	Hora	1	2,20	0,005	0,09
4.7	Ayudante de maquinaria	Hora	2	2,07	0,004	0,17
4.8	Operador sistema de enfriamiento	Hora	0,5	2,15	0,004	0,04
1.4	Peón	Hora	2,00	2,13	0,08	0,33
Subtotal de Mano de Obra:						0,71
Costo Directo Total:						62,43
COSTOS INDIRECTOS						
						0,00% 0,00
Precio Unitario Total						62,43

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después del estudio bibliográfico realizado, se ha podido obtener una visualización clara del diseño de espesor de pavimentos, además del diseño de hormigones compactados con rodillo.

Se evaluaron los factores que intervienen en el diseño de espesor de pavimentos, clasificándolos en parámetros fijos y variables. Dentro de los parámetros fijos interviene el coeficiente de drenaje, confiabilidad, serviciabilidad, transferencia de cargas en juntas y módulo de elasticidad de la capa de base, por otra parte las variables consideradas fueron el tráfico, resistencia a compresión del concreto, módulo de elasticidad del concreto, módulo de rotura del concreto y el módulo de reacción de las capas de soporte.

A continuación se analizan las variables comentadas anteriormente:

El módulo de reacción de las capas de soporte, como se ha mencionado anteriormente, depende del módulo de elasticidad de la capa de base, módulo de resiliencia de la subrasante y del espesor de la base.

Se observa que si el módulo de resiliencia de la capa subrasante es de muy mala calidad no favorece colocar una capa de base de espesor considerable, pues los resultados de los espesores son similares, por lo que se recomienda mejorar el suelo que conforma la subrasante y colocar un espesor de capa base comúnmente utilizada, de ésta forma se logrará obtener mayor valor del módulo de reacción de capas de soporte y por ende disminuirá el espesor de base.

En la alternativas 3 (módulo de resiliencia de subrasante $M_R = 148 \text{ kg/cm}^2$, espesor de base $e = 250 \text{ mm}$) y la alternativa 4 (módulo de resiliencia de subrasante $M_R = 148 \text{ kg/cm}^2$, espesor de base $e = 500 \text{ mm}$) se puede observar que el aumento de espesor de la capa de base no es de gran influencia, incluso

los costos son mayores. La Figura 9 presenta los resultados obtenidos en éste análisis.

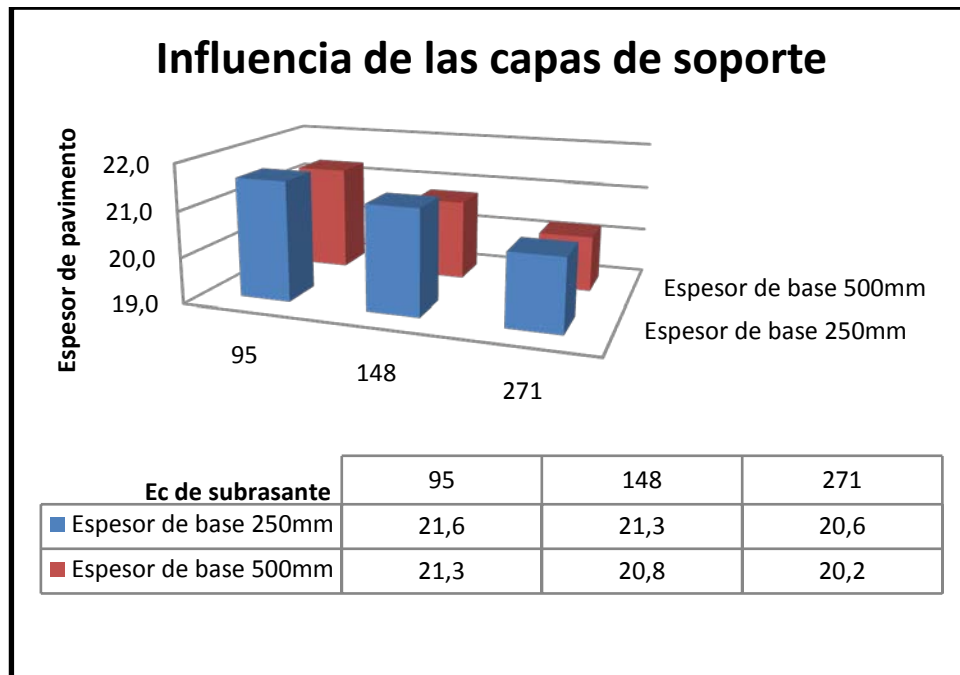


Figura 1: Influencia de las capas de soporte en el diseño de espesor de pavimentos.

Como es lógico, la variable de mayor influencia en el diseño de espesor de pavimentos, es la carga que debe soportar el pavimento, es decir, el tráfico. Se observa que el espesor de pavimento para nuestras consideraciones de número de ejes equivalentes puede aumentar hasta un 25%, tal y como lo muestra la Figura 10.

Por otra parte, para la resistencia a compresión del hormigón; y según los diseños y estudios bibliográficos realizados, se puede ver que al aumentar la resistencia a compresión del concreto, disminuye el espesor del pavimento hasta en un 12%, como se ilustra en la Figura 11. Además de esto, un hormigón de alta resistencia garantiza durabilidad, es decir, mayor vida útil en la estructura de pavimento, por lo tanto menores costos finales.

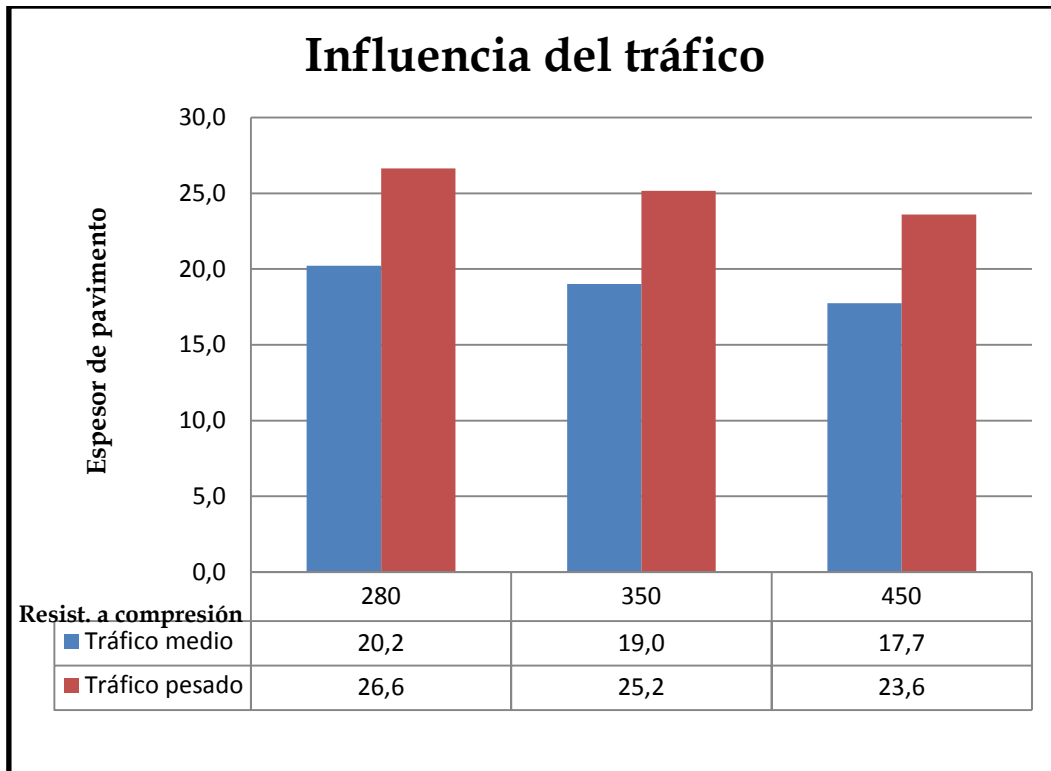


Figura 2: Influencia del tráfico en el diseño de espesor de pavimentos.

La elección de diseñar hormigones compactados con rodillo debido a la baja relación agua/cemento garantiza alta resistencia a la compresión a comparación de un hormigón convencional, además, éstos hormigones especiales aumentan su resistencia hasta en un año.

Igualmente, éste tipo de hormigón ofrece menor retracción, pues debido a la baja cantidad de agua existe un cambio de volumen menor en comparación a un hormigón convencional, por tanto, la pérdida de humedad es menor ya que el agua utilizada es la necesaria para hidratar la mezcla.

La compactación con rodillo garantiza un mínimo de volumen de vacíos por lo que se requiere menor cantidad de mortero, y por consiguiente, menor cantidad de materiales.

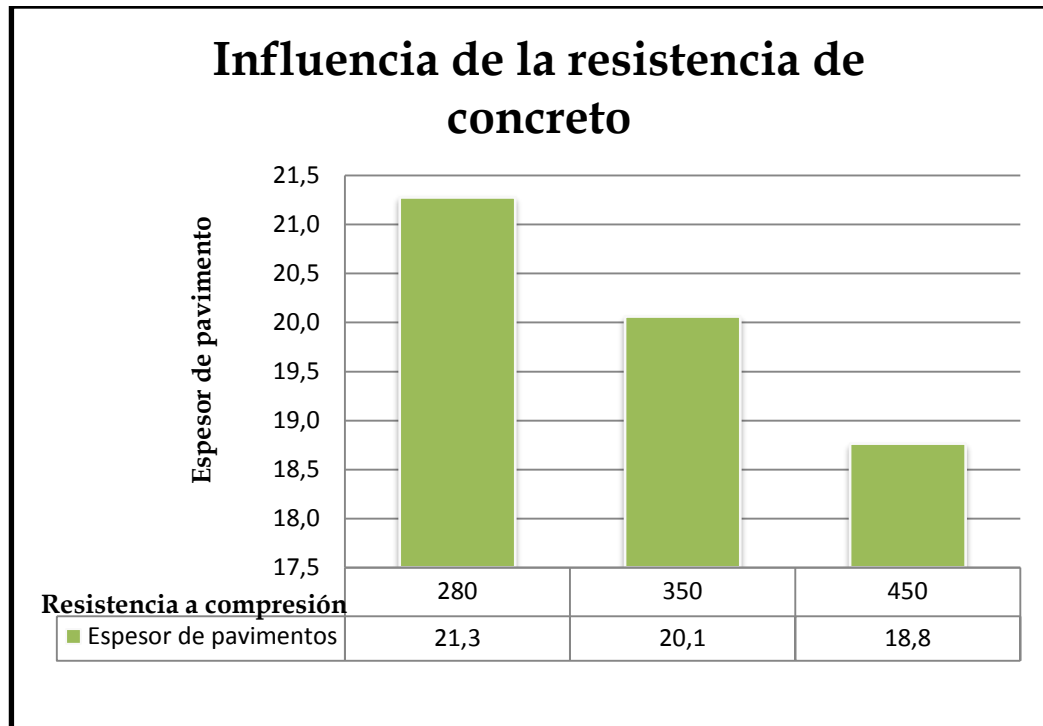


Figura 3: Influencia de la resistencia del concreto en el diseño de espesor de pavimentos.

Después de analizar la sensibilidad de costos de las diferentes resistencias, se concluye que el diseño de hormigones convencional es más costoso que el diseño de hormigones compactados con rodillo, debido a la menor cantidad de materiales empleados.

En conclusión, la mejor alternativa, tanto económica como segura, para el diseño de espesores de pavimentos será con el diseño de hormigón compactado con rodillo, de alta resistencia y capas de soporte con buenas características mecánicas, tal y como muestran la alternativa 29 (Tráfico medio, resistencia a compresión del concreto $f'_c=450 \text{ kg/cm}^2$, módulo de resiliencia de subrasante $M_R=271 \text{ kg/cm}^2$, espesor de base $e=250\text{mm}$) y la alternativa 35 (Tráfico pesado, resistencia a compresión del concreto $f'_c=450 \text{ kg/cm}^2$, módulo de resiliencia de subrasante $M_R=271 \text{ kg/cm}^2$, espesor de base $e=250\text{mm}$) del presente trabajo.

Finalmente, el diseño del espesor de un pavimento depende fundamentalmente del criterio ingenieril, pues éste debe asemejarse a las

realidades muy particulares de la zona y condiciones en donde se pretende construir la estructura de pavimento, garantizando de ésta manera confiabilidad, serviciabilidad y disminución de los costos en el diseño.

BIBLIOGRAFIA

1. ING. JOSÉ R. HARRYS Q. Diseño de Pavimentos Rígidos, LABSA, 1998.
2. CÁTEDRA DEL CEMENTO CEMEX, El mundo del cemento, 2004, http://fians.uat.edu.mx/CetraTec/PAGINA%20WEB%20CETRATET/REVISTA_OCTUBRE.pdf, consultada 3 de Septiembre de 2010.
3. Guía para el Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.
4. ING. HENRY A. VERGARA B. Diseño racional de Pavimentos, 2003, http://expertos.monografias.com/home.asp?tip=usu&id=5&item=pregunta&id_item=149522&idr=116802, consultada 3 de Septiembre de 2010.
5. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Informe de los estudios de factibilidad y diseño definitivos de la carretera Cuenca – Molleturo – Empalme, entrevista con el Ing. Roberto Tinoco.
6. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP 001-F-2000.
7. ING. OSCAR V. CORDO, Curso de actualización de diseño estructural de caminos Método AASHTO, Universidad Nacional de San Juan, 1998.
8. FRANCISCO ORTEGA SANTOS, Hormigón Compactado con Rodillo, revista de obras públicas, Octubre 1988, http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1988/1988_octubre_3273_04.pdf, consultada 3 de Octubre de 2010.
9. Diseño de Pavimentos Rígidos, <http://www.mitecnologico.com/ic/Main/DisenoDePavimentosRigidos>, consultada 26 de Septiembre de 2010.
10. ING. ALFONSO MONTEJO FONSECA, Diseño de espesores de pavimentos rígidos para calles y carreteras, 2002.
11. DR. ING. JORVE ACEVEDO CATA, Hormigones Especiales, clases dictadas en el Curso de Graduación, 2010.
12. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Manual of concrete practice, Roller compact mass concrete, vol. 207-5R.2 a 207-5R.42, 2000.

