



Asistencia técnica en la ejecución de proyectos de pavimentación de vías urbanas con la empresa Consicor S.A.S en el departamento de Antioquia

Jhonathan Ferney Marín Morales

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Asesor interno: Carlos Alberto Vega Posada, Ph.D.

Asesor externo: Jefry Zea Buriticá, Esp

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	(Marín Morales, 2022)
Referencia	Marín Morales, J., (2022). <i>Asistencia técnica en la ejecución de proyectos de pavimentación de vías urbanas con la empresa Consicor S.A.S en el departamento de Antioquia</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Claudia Helena Muñoz Hoyos

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
Objetivos	11
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
Marco teórico	12
Pavimento	12
Subrasante	12
Subbase	13
Losa	13
Diseño de pavimento	13
Parámetros de diseño	14
Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (EALF)	14
Número total de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (W_{82} o ESAL)	15
Confiabilidad	16
Desviación normal estándar (Z_r)	16
Error estándar combinado (S_o)	17
Índice de servicio final P_t y variación $\Delta\psi$ en el índice de servicio	17
Módulo de rotura (M_r)	17
Coeficiente de drenaje (C_d)	18
Coeficiente de transmisión de cargas (J)	18
Módulo de elasticidad del concreto (E_c)	19
Módulo de reacción de la subrasante (k)	19

CBR	19
Tasa de crecimiento del tráfico	19
Periodo de diseño	20
Factor de distribución direccional	20
Factor de carril	20
Metodología	21
Etapa de diseño	21
Recolección de datos	21
Definición de parámetros de diseño	21
Cálculo de ejes equivalentes de 8.2 Ton	21
Diseño de pavimento	21
Etapa constructiva	22
Resultados	23
Localización del proyecto	23
Contrato de obra publica	24
Parámetros de diseño	24
Confiabilidad	24
Desviación normal estándar (Z_r)	24
Error estándar combinado (S_o)	25
Índice de servicio final P_t y variación Δpsi en el índice de servicio	25
Módulo de rotura (M_r)	25
Coeficiente de drenaje (C_d)	25
Coeficiente de transmisión de cargas (J)	26
Módulo de elasticidad del concreto (E_c)	26
Módulo de reacción de la subrasante (k)	26

CBR	26
Tasa de crecimiento del tráfico	26
Periodo de diseño	26
Factor de distribución direccional	26
Factor de carril	27
Estudio de tránsito	27
Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton	27
Diseño de pavimento rígido	28
Etapa constructiva	30
Registro fotográfico	32
Conclusiones	35
Referencias	36

Lista de tablas

Tabla 1. Niveles de confiabilidad en función del tipo de vía	16
Tabla 2. Valores de Z_R en función de la confiabilidad.....	16
Tabla 3. Valores de error estándar combinado, S_o	17
Tabla 4. Coeficiente de drenaje.....	18
Tabla 5. Coeficiente de transmisión de cargas.....	18
Tabla 6. Periodo de diseño.....	20
Tabla 7. Factor de distribución direccional.....	20
Tabla 8. Factor de carril.....	20
Tabla 9. Información del contrato de obra.....	24
Tabla 10. Estudio de tránsito.....	27
Tabla 11. Factores equivalentes de ejes.....	29
Tabla 12. Diseño de pavimento.....	30
Tabla 13. Actividades realizadas en la construcción del pavimento.....	30

Lista de figuras

Ilustración 1. Ubicación del proyecto	24
Ilustración 2. Probabilidad de lluvia en Angelópolis.....	25
Ilustración 3. Corte de pavimento.....	32
Ilustración 4. Instalación de subbase granular.....	32
Ilustración 5. Dovelas, refuerzo de acero en losas y pasadores de carga	33
Ilustración 6. Acabado y texturizado de pavimento	33
Ilustración 7. Toma de muestras de concreto	34
Ilustración 8. Demarcación vial.....	34
Ilustración 9. Comparación antes y después del proyecto.....	35

Resumen

En el presente informe se describe el proceso de construcción y la revisión del diseño del pavimento rígido de una vía ubicada en el municipio de Angelópolis Antioquia, en el marco de las prácticas empresariales desarrolladas por el autor con la empresa Consicor S.A.S entre el 01 de diciembre de 2021 y el 30 de abril de 2022.

La vía objeto de este informe es uno de los 4 tramos de vías urbanas del proyecto denominado Mejoramiento de Vías Urbanas en el Municipio de Angelópolis Antioquia. La revisión del diseño del pavimento se realizó siguiendo la metodología AASHTO, usando 3 diferentes espesores de subbase granular con el mismo módulo de reacción, de donde se concluye que el espesor del pavimento utilizado en el proyecto (20 cm) es adecuado para las cargas de tránsito esperadas a lo largo de los 20 años del periodo de diseño.

Asimismo, se presenta registro fotográfico del proceso de construcción de la vía, proceso al cual se le hizo un acompañamiento diario durante todo el tiempo de ejecución del proyecto y del que se obtuvo un pavimento en óptimas condiciones, capaz de brindar un adecuado servicio a la comunidad.

Palabras clave: diseño de pavimento, AASHTO, pavimento rígido

Abstract

This report describes the construction process and the review of the design of the rigid pavement of a road located in the municipality of Angelópolis Antioquia, as part of the author's practices with the company Consicor S.A.S. between December 1, 2021 and April 30, 2022.

The road, subject of this report, is one of the 4 urban road sections of the project called "Mejoramiento de Vías Urbanas en el Municipio de Angelópolis Antioquia". The pavement design review was carried out following the AASHTO methodology, using 3 different thicknesses of granular subbase with the same modulus of reaction, from which it is concluded that the pavement thickness used in the project (20 cm) is adequate for the expected traffic loads over the 20-year design period.

Likewise, a photographic record of the road construction process showed, a process that were monitored daily during the entire project execution period, resulting in a pavement in optimum conditions, able to provide an adequate service to the community.

Keywords: pavement design, AASHTO, rigid pavement

Introducción

Las vías urbanas son de vital importancia en el desarrollo económico de cualquier municipio, su correcto funcionamiento asegura el abastecimiento de las mercancías que requiere la población, además mejora la calidad de vida de los ciudadanos a partir de la reducción en los tiempos de viaje, el fomento del turismo y la llegada de nuevas empresas y marcas que generen más empleo.

Debido a la presencia de alto flujo vehicular y peatonal que se da en la cabecera de cualquier municipio, las vías urbanas tienden a deteriorarse rápidamente, esto es propiciado también por otros factores como lo son el clima, la hidrología, la topografía y el tipo de pavimento que tenga la misma. Cuando no es posible extender la vida útil de una vía a partir del mantenimiento o cuando este es demasiado costoso, es necesario plantear un proyecto que permita el mejoramiento del pavimento.

Para la realización de un proyecto de pavimentación es necesario tener conocimiento del tráfico vehicular a través de un estudio de tránsito el cual es esencial en el proceso de diseño del pavimento, además se debe tener en cuenta la geología, la topografía y las condiciones climáticas e hidrológicas de la zona; a partir de estos datos se realiza un proceso de diseño siguiendo las diferentes metodologías (AASHTO e INVIAS) que lleva después a una etapa de viabilidad económica y finalmente a la fase de ejecución del proyecto.

Lo que se busca con el desarrollo de esta práctica académica es fortalecer y enriquecer los conocimientos teóricos, técnicos y prácticos adquiridos en la universidad, aplicándolos en la etapa constructiva de proyectos realizados por la empresa Consicor S.A.S. Además, se pretende revisar el diseño del pavimento rígido a partir de los estudios de tránsito realizados en la fase previa a la ejecución.

Objetivos

Objetivo general

Asistir la etapa constructiva de los proyectos de mejoramiento de vías urbanas de la empresa Consicor S.A.S

Objetivos específicos

- Revisar el diseño del pavimento rígido del proyecto de mejoramiento de vías urbanas en el municipio de Angelópolis por la empresa Consicor S.A.S a partir de los estudios de tránsito y demás datos obtenidos en la etapa de diseño.
- Acompañar el proceso de pavimentación de vías urbanas.
- Realizar los informes de obra requeridos por la empresa durante la ejecución del proyecto.

Marco teórico

A la hora de construir un pavimento, el tipo de pavimento más usado en el país es el flexible, formado por una capa bituminosa apoyada sobre una base y una subbase (Giraldo et al, 2012), los otros dos sistemas más comunes en Colombia son el sistema de pavimento rígido el cual consiste en construir losas de concreto que soporten las cargas del tráfico y el sistema de placa huella que se usa en vías de bajos volúmenes de tráfico. La elección de uno u otro depende de diferentes variables que incluyen factores económicos, el acceso a los materiales y la maquinaria, la mano de obra, el clima, las características del suelo, los costos de mantenimiento, entre otros.

El proyecto de mejoramiento de vías urbanas del municipio de Angelópolis, Antioquia incluye la construcción de 4 tramos de vía en pavimento rígido, con concreto de resistencia a la compresión de 24 MPa, un módulo de rotura (MR) de 4 MPa y un espesor de 20 cm.

Pavimento

De acuerdo con el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS, 2013), un pavimento es un conjunto de capas de materiales seleccionados (subbase, base y carpeta de rodadura), apoyadas sobre la subrasante de la vía que, deben resistir adecuadamente los esfuerzos inducidos por las cargas de tránsito para las que fue diseñado y el efecto desgastante del clima.

Subrasante

La subrasante es el suelo natural de la vía, la capa encargada de soportar las cargas que son transmitidas por el pavimento y darle soporte a este. Se extiende hasta una profundidad tal que no afecte a la carga de diseño obtenida a través del estudio de tránsito. (Instituto de Desarrollo Urbano [IDU] 2013).

El espesor de la losa de pavimento depende en gran medida de la calidad de la subrasante, esta debe cumplir con requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos del agua. A esta capa se le considera la cimentación del pavimento por lo que, si su resistencia es baja, se requiere espesores de pavimento mayores que puedan soportar las cargas de diseño (Arroyo & Francia, 2012).

Los tipos de subrasante usados en la norma colombiana se clasifican a través de la Relación de Soporte de California del suelo (CBR), cuyos resultados se pueden correlacionar con el módulo de reacción de la subrasante, el cual es necesario en el proceso de diseño (INVÍAS, 2013).

Subbase

Es una capa del pavimento, compuesta de material granular seleccionado, ubicada entre la subrasante y la losa de pavimento y destinada a soportar, transmitir y distribuir las cargas generadas en el pavimento. Al ser de material granular, ayuda como capa de drenaje y evitando el ascenso del agua por capilaridad, cuyo efecto puede provocar daños en la estructura del pavimento (Arroyo & Francia (2012)).

Losa

Es la capa superior del pavimento, la carpeta de rodadura, construida con concreto hidráulico y destinada a recibir el tráfico. Debido a su capacidad alta, no se hace necesario la instalación de una capa base de agregado (Arroyo & Francia (2012)).

Diseño de pavimento

Las normativas implementadas en Colombia para el diseño de pavimento rígido están basadas en los códigos americanos, las más usadas son la de la Portland Cement Association (PCA) versión 1984 y la de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) versión 1993. En este informe se usará la normativa de la AASHTO para verificar el diseño del pavimento. El método de la AASHTO -93 se basa en el uso de la Ecuación 1 para realizar el diseño del pavimento.

Ecuación 1. Ecuación de diseño del método AASHTO-93

$$\begin{aligned} \log_{10} W_{82} = & Z_r S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^9}{(D + 25.4)^{8.46}}} \\ & + (4.22 - 0.33 P_t) \log_{10} \left[\frac{M_R C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 J \left(0.09 x D^{0.75} - \frac{7.38}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right] \end{aligned}$$

Donde:

W_{82} : Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 Ton (18 kip o 82 kN), a lo largo del periodo de diseño.

Z_r : Desviación normal estándar.

S_o : Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D : Espesor del pavimento de concreto (mm).

ΔPSI : Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t : Índice de servicio final.

MR : Modulo de rotura del concreto usado en el proyecto (MPa).

C_d : Coeficiente de drenaje.

J : Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

E_c : Módulo de elasticidad del concreto (MPa).

K : Modulo de reacción de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento (MPa/m).

Parámetros de diseño

Con el objetivo de asegurar que se cumpla el propósito de brindar el servicio para el que se idea un pavimento, es necesario conocer diferentes factores que influyen en el proceso de diseño, algunos de los más importantes son la capacidad de soporte del suelo, el tráfico que se espera circule por la vía, las condiciones ambientales, especialmente las climáticas y las características de los materiales que se usaran en la construcción. La metodología de la AASHTO se basa en ensayos de laboratorio de los que surge la Ecuación 1.

Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (EALF)

Se deben calcular el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (18 kip o 82 kN) que transitaran por el carril de diseño durante el tiempo para el que será diseñado el pavimento. Las fórmulas que permiten convertir el número de ejes de pesos normales a ejes equivalentes dependen del espesor del pavimento, de la carga del eje, del tipo de eje y de la serviciabilidad final que pretendemos para el pavimento (Higuera, 2011).

$$Fc = \frac{N_{18}}{N_x} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\log\left(\frac{N_x}{N_{18}}\right) = 4.62\log(18 + 1) - 4.62\log(L_x + L_2) + 3.28\log(L_2) + \frac{\beta_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$G_t = \log\left(\frac{4.5 - P_t}{4.5 - 1.5}\right) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\beta_x = \frac{3.63x(L_x + L_2)^2}{(D+1)^{8.46}xL_2^{3.52}} \quad \text{Ecuación 5}$$

F_c : Factor de camión o factor de daño.

N_x : número de aplicaciones de carga definida al final del tiempo t.

N_{18} : número de aplicaciones de carga equivalente al final del tiempo t.

L_2 : código de eje cargado:

$L_2=1$ Para eje sencillo

$L_2=2$ Para eje tándem

$L_2=3$ Para eje trídem

Número total de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (W_{82} o ESAL)

Para calcular el total de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que se esperan transiten por la vía durante todo el periodo de diseño, se sigue la ecuación 5, propuesta por la AASHTO.

$$ESAL = \left(\sum_{i=1}^m p_i F_i P\right) 365 \times (TDP)(FC)F_d F_c \quad \text{Ecuación 6}$$

p_i : Porcentaje del total de repeticiones para el i-ésimo grupo de vehículos o cargas.

F_i : Factor de equivalencia de carga por eje, del i-ésimo grupo de vehículos o cargas.

P : Promedio de ejes por camión.

TDP : Tránsito promedio diario.

FC : Factor de crecimiento para el periodo de diseño.

F_d : Factor direccional.

F_c : Factor de distribución por carril.

Confiabilidad

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que el desempeño del pavimento construido sea satisfactorio respecto a las condiciones ambientales y de tráfico para el que fue diseñado (AASHTO, 1993).

Tabla 1. Niveles de confiabilidad en función del tipo de vía

Tipo de vía	Nivel de confiabilidad	
	Urbana	Rural
Autopistas y carreteras importantes	85-99.9	80-99.9
Arterías principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Desviación normal estándar (Z_R)

Es función de los niveles de confiabilidad (R%). En el conjunto de variables de un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un determinado período de diseño, sigue una ley de distribución normal (Higuera, 2011).

Tabla 2. Valores de Z_R en función de la confiabilidad

Confiabilidad, R (%)	Desviación estándar, Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Error estándar combinado (So)

Es un valor que corrige las incertidumbres inducidas por los parámetros de entrada y por las propias ecuaciones de diseño (Higuera, 2011).

Tabla 3. Valores de error estándar combinado, S_o

Pavimentos rígidos	0.30-0.40
Construcción nueva	0.35
Sobrecapas	0.40
Pavimentos flexibles	0.40-0.50
Construcción nueva	0.45
Sobrecapas	0.50

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Índice de servicio final P_t y variación $\Delta\psi$ en el índice de servicio

La serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía. La medida primaria de la serviciabilidad es el índice de serviciabilidad presente. El procedimiento de diseño AASHTO predice el porcentaje de pérdida de serviciabilidad ($\Delta\psi = P_i - P_t$) para varios niveles de tráfico y cargas de ejes. Como el índice de serviciabilidad final de un pavimento es el valor más bajo de deterioro a que puede llegar el mismo, se sugiere que para vías de primer orden (de mayor tránsito) este valor sea de 2,5 y para vías de menor importancia (menor tráfico) sea de 2,0 (CORASCO, 2008).

Módulo de rotura (M_r)

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto que da información acerca de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) (ASTM, 2022) o ASTM C293 (cargada en el punto medio) (ASTM, 2008).

La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión (en kg/cm^2).

$$M_R = 2.65\sqrt{f'_c}$$

Ecuación 7

Coeficiente de drenaje (Cd)

Depende de dos parámetros: la calidad de drenaje, que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento y 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 (Higuera, 2011).

Tabla 4. *Coeficiente de drenaje*

Características del drenaje	Agua evacuada en	Porcentaje de tiempo en el año que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación						
		Menos de 1%	1-5%	1-25%	5-25%	Mas de 25%		
Excelente	2 horas	1.20	1.25-	1.15	1.20-	1.10	1.15-	1.10
Bueno	1 día	1.15	1.20-	1.10	1.15-	1.00	1.10-	1.00
Regular	1 semana	1.10	1.15-	1.00	1.10-	0.90	1.00-	0.90
Pobre	1 mes	1.00	1.10-	0.90	1.00-	0.80	0.90-	0.80
Muy pobre	Nunca dreña	0.90	1.00-	0.80	0.90-	0.70	0.80-	0.70

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Coeficiente de transmisión de cargas (J)

Este factor tiene en la cuenta la capacidad del pavimento de concreto para transmitir las cargas a través de las discontinuidades (juntas o grietas). Su valor depende de varios factores. El tipo de pavimento (en masa, reforzado con juntas, con armadura continua). El tipo de berma (de concreto unida al pavimento o de asfalto) (Higuera, 2011).

Tabla 5. *Coeficiente de transmisión de cargas*

Berma	De asfalto		De concreto	
	Si	No	Si	No
Dispositivos de transmisión de cargas				
Tipo de pavimento				
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8-	3.1	3.6-
Reforzado continuo	2.9-	-	2.3-	-
	3.2		2.9	

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Se denomina módulo de elasticidad del concreto a la tracción a la capacidad que obedece la ley de Hooke, es decir, la relación de la tensión unitaria a la deformación unitaria. Se determina por la Norma ASTM C469. Sin embargo, en caso de no disponer de los ensayos experimentales para su cálculo existen varios criterios con los que pueda estimarse ya sea a partir del Módulo de rotura, o de la resistencia a la compresión a la que será diseñada la mezcla del concreto (Higuera, 2011). Una de estas correlaciones está dada por la ecuación

$$E = 12500\sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación 8}$$

Módulo de reacción de la subrasante (k)

Es una medida de la capacidad de soporte de la subrasante y depende del módulo de rotura y de elasticidad de la subrasante. Para obtener este valor se realiza el ensayo de la prueba de placa que se realiza siguiendo la Norma ASTM D1994. Debido al alto costo de esta prueba, se pueden usar correlaciones de otros ensayos como el de CBR (CORASCO, 2008).

CBR

El CBR es un parámetro del suelo que se emplea para evaluar la capacidad portante de suelos de terrenos compactados (Flores, 2015). Este se puede medir en campo usando el ensayo del PDC (norma INV-E 172) o en laboratorio a partir de muestras de suelo (norma INV-E 148).

Tasa de crecimiento del tráfico

Es un factor que considera la cantidad de vehículos que transitaran por la vía de acuerdo con el estudio de tránsito más una cantidad adicional debido al aumento de vehículos en un futuro. El INVÍAS plantea que para vías con bajos volúmenes de tránsito, la tasa de crecimiento es de entre 2% y 3% dependiendo del número de ejes equivalentes de 82 kN durante el periodo de diseño en el carril de diseño (INVÍAS, 2007).

Periodo de diseño

Esto se refiere al tiempo para el cual el análisis y diseño del pavimento se hará y es equivalente a la vida útil que se espera de la vía construida (AASHTO, 1993).

Tabla 6. *Periodo de diseño*

Tipo de vía	Periodo de diseño, años
Urbana de tránsito elevado	30-50
Interurbana de tránsito elevado	20-50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15-25
Pavimentación de grava de baja intensidad de tránsito	10-20

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Factor de distribución direccional

Indica que cantidad del volumen total del tráfico va en cada sentido de circulación.

Tabla 7. *Factor de distribución direccional*

Ancho de la calzada	Factor de distribución
Menos de 5m	100%
Igual o mayor a 5m y menor a 6m	75%
Igual o mayor a 6m	50%

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, 2007

Factor de carril

Es necesario conocer la cantidad del volumen total de tráfico que transita en cada carril en el sentido de tránsito, esto depende del número de carriles que tenga la vía.

Tabla 8. *Factor de carril*

Número de carriles en cada dirección	Factor de carril
1	1
2	0.8-1
3	0.6-0.8
4	0.5-0.75

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993

Metodología

La metodología de este informe consta de dos partes, una primera parte que abarca todo lo relacionado a la etapa de diseño de la vía en cuestión desde el estudio de tránsito hasta la obtención del espesor del pavimento y otra que se refiere a las actividades desarrolladas presencialmente en el sitio de la obra, que implican la descripción de los procesos constructivos de una vía en pavimento rígido.

Etapa de diseño

Recolección de datos

A partir de los informes y estudios relacionados con el proyecto, suministrados por Consicor S.A.S, se reunieron datos importantes para el diseño del pavimento. Estos datos son el estudio de tránsito, el valor del CBR, el módulo de reacción de la superficie (k) y el tipo de concreto a usar (M_R).

Definición de parámetros de diseño

Usando las Tablas 1 a la 8, se obtuvieron los diferentes parámetros de diseño, necesarios para implementar las ecuaciones de la metodología de la AASHTO.

Cálculo de ejes equivalentes de 8.2 Ton

Del estudio de tránsito y siguiendo la metodología de la AASHTO, se usó la Ecuación 2 para encontrar el factor de equivalencia de cada uno de los vehículos registrados en el estudio, seguido de esto se usó la ecuación 6 para encontrar el total de ejes equivalente de 8.2 Ton para el periodo de diseño de la vía.

Diseño de pavimento

Usando la ecuación 1, se realizó el diseño del pavimento. Este resultado se comparó con lo que se construyó en obra con el fin de verificar si el espesor que se usó en el proyecto es adecuado o no.

Etapas constructiva

Durante todo el tiempo de duración de las prácticas académicas, se realizó un acompañamiento presencial en el sitio de la obra. Entre las funciones que debí desempeñar se encuentran el registro de personal, la verificación del cumplimiento de los protocolos de bioseguridad, toma de registro fotográfico, redacción de bitácora de obra, redacción de informes mensuales, toma de muestras de concreto para ensayos de laboratorio y dirección de actividades contempladas en el presupuesto de la obra.

La construcción de vías en Colombia está regida por las Especificaciones Generales de Carreteras 2013 del Ministerio de Transporte y del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) de la Republica de Colombia.

La toma de muestras para ensayos de resistencia del concreto se realizó siguiendo los lineamientos de la norma NTC 454.

Resultados

En el proyecto denominado Mejoramiento de Vías Urbanas en el Municipio de Angelópolis Antioquia, se tenían cuatro tramos de vías compuestas por pavimento de adoquines en mal estado que, no cumplían con las condiciones mínimas que pudieran garantizar un tránsito seguro.

Localización del proyecto

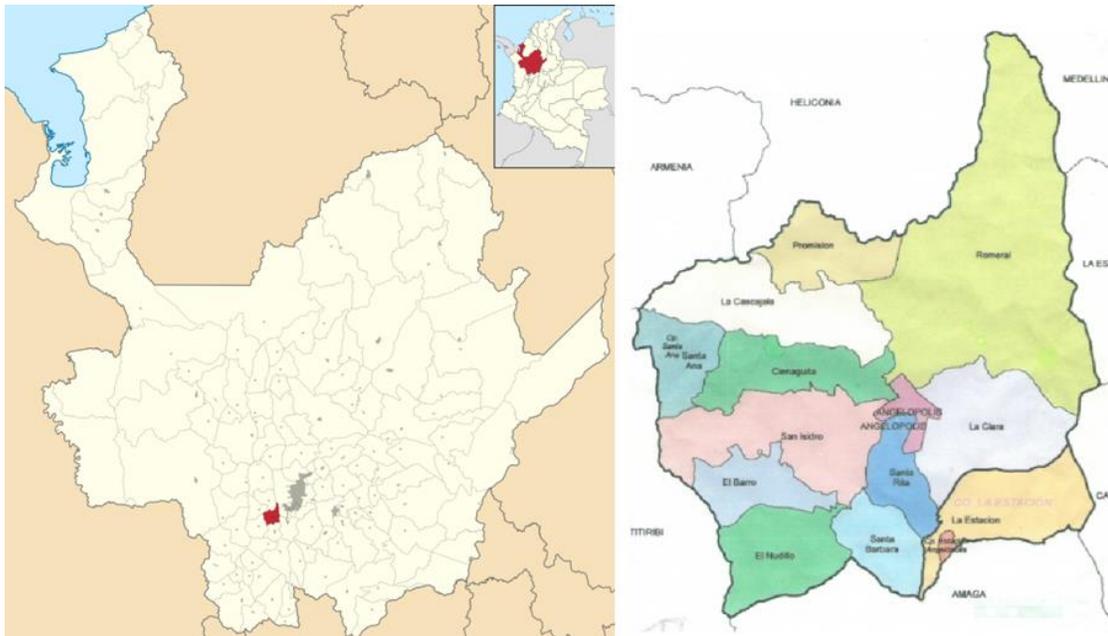
El municipio de Angelópolis limita al norte con los municipios de Heliconia y Armenia Mantequilla, por el oriente con Medellín, La Estrella y Caldas, por el sur con Amaga y por el occidente con Titiribí.

La cabecera municipal está ubicada a los 1950 m.s.n.m con una temperatura promedio de 18°C, se comunica con Medellín por la carretera a Caldas a 48 kilómetros de distancia. Cuenta con 10 veredas y un corregimiento.

El proyecto denominado Mejoramiento de Vías Urbanas del Municipio de Angelópolis-Antioquia, cuenta con 4 tramos de vía. Para este informe solo se evaluará el diseño para el pavimento de la Carrera 9, el cual está entre la subestación de EPM y el monumento de la madre y corresponde al tramo 2.

La elección de este tramo se basa en que es el tramo más transitado, ya que comunica la cabecera municipal con el corregimiento de La Estación y además es la vía usada por las diferentes minas que se encuentran en el municipio para transportar el carbón por medio de volquetas.

Ilustración 1. Ubicación del proyecto



Contrato de obra publica

Tabla 9. Información del contrato de obra

Número del contrato de obra:	2021.034
Objeto:	Mejoramiento de vías urbanas en el municipio de Angelópolis Antioquia.
Nombre Contratista:	CONSOR S.A.S.

Fuente: Secop I

Parámetros de diseño

Confiabilidad

De la Tabla 1 se escoge un nivel de confiabilidad del 85% por ser una vía urbana colectora.

Desviación normal estándar (Z_r)

Para una confiabilidad del 85%, se tiene una desviación estándar de -1.037 de acuerdo con la Tabla 2.

Error estándar combinado (So)

El pavimento que se construyó es un pavimento rígido totalmente nuevo, por lo que se tiene un valor para el error estándar combinado de 0.35.

Índice de servicio final Pt y variación Δ psi en el índice de servicio

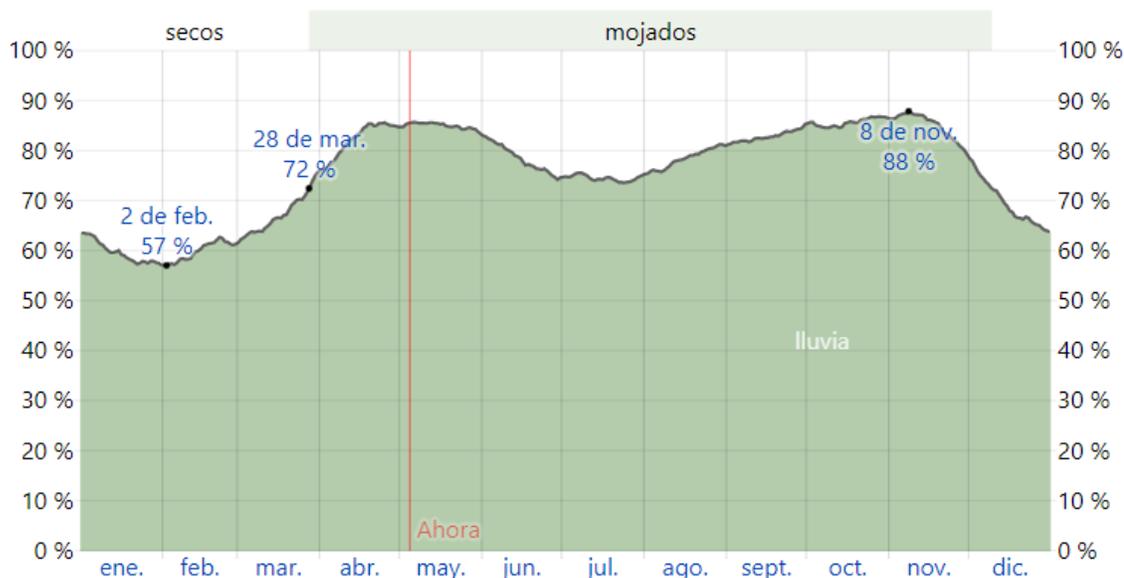
Como esta no es una vía de primer orden, se asume un Pt de 2.0 y un Δ PSI de 2.5.

Módulo de rotura (Mr)

En el proyecto se utilizó un concreto de 240 kg/cm² (24 MPa) para la construcción del pavimento rígido, utilizando la Ecuación 7, se obtiene un MR de 41 kg/cm² o 4 MPa.

Coefficiente de drenaje (Cd)

Ilustración 2. Probabilidad de lluvia en Angelópolis



Fuente: weatherspark.com

En Angelópolis la temporada de lluvias dura 8.4 meses, del 28 de marzo al 9 de diciembre, equivalente a un 70% de exposición a niveles de humedad cercanos a la saturación. Considerando una capacidad de drenaje regular, se tiene de la Tabla 4 un valor para el coeficiente de drenaje de 0.9.

Coefficiente de transmisión de cargas (J)

De la Tabla 5, para una berma de concreto, con dispositivos de transmisión de cargas y para un pavimento reforzado con juntas, se tiene un coeficiente de transmisión de cargas de 3.1.

Módulo de elasticidad del concreto (Ec)

Usando la Ecuación 8, se obtiene un módulo de elasticidad del concreto de 193649.17 kg/cm² o 18990.5 MPa.

Módulo de reacción de la subrasante (k)

De los informes de Consicor S.A.S, se tiene que, para una capa de espesor de 10 cm en el tramo de vía seleccionado, se tiene un valor del módulo de reacción de la subrasante de 63.8 MPa/m, 67.8 MPa/m para 15 cm y 74.8 MPa/m para una capa de subbase granular de 20 cm de espesor.

CBR

De acuerdo con la información obtenida de los informes de Consicor S.A.S, el CBR para el tramo de interés es de 15.9%.

Tasa de crecimiento del tráfico

Se escoge una tasa de crecimiento del tráfico del 3%.

Periodo de diseño

Dado el bajo nivel de tránsito de las vías que caen dentro del tramo estudiado y considerando las limitaciones de tipo operativo con que probablemente desarrollen su misión las entidades encargadas de su construcción y su mantenimiento, se ha considerado prudente adoptar un periodo de diseño estructural de 20 años.

Factor de distribución direccional

Debido a que en diferentes tramos de la vía a intervenir el ancho varía hasta tomar valores menores a 5 metros, se toma un factor de distribución de 100% de la Tabla 7.

Factor de carril

Debido a que solo hay posibilidad de tener un carril en cada dirección de tránsito, se tiene un factor de carril de 1.

Estudio de tránsito

De los informes suministrados por Consicor, se obtuvo el estudio de tránsito para el tramo de estudio, ver Tabla 10.

Tabla 10. *Estudio de tránsito*

DIA	TIPO DE VEHICULO									
	A	B	C	C2P	C2G	C3	C4	C5	>C5	TOTAL
LUNES	10	2	10	5	3	2	0	0	0	22
MARTES	12	2	4	2	1	1	0	0	0	18
MIERCOLES	17	2	9	4	2	3	0	0	0	28
JUEVES	21	3	7	3	3	1	0	0	0	31
VIERNES	11	2	7	3	2	2	0	0	0	20
SÁBADO	15	3	7	2	3	2	0	0	0	25
DOMINGO	33	2	9	4	3	2	0	0	0	44
CANTIDAD TS	119	16	53	23	17	13	0	0	0	188
CANTIDAD TPDs	17,00	3,00	9,00	4,00	3,00	2,00	0	0	0	29
% COMPOSICION	58,62%	10,34%	31,03%	13,79%	10,34%	6,90%	0,00%	0,00%	0,00%	100%
Factor daño FD	1			1,01	2,72	3,72	3,72	4,88	5,23	

Fuente: Informes de Consicor S.A.S

Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton

A partir de la Ecuación 2, se obtienen los factores de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (EALF), para cada uno de los vehículos contados durante el estudio de tránsito, ver Tabla 11.

Usando la ecuación 6, se obtiene el número total de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (ESAL o W_{82}).

Para el caso de la Carrera 9, tramo del cual es objeto este informe, se obtiene un $W_{82} = 548031$ repeticiones.

Diseño de pavimento rígido

Finalmente, usando la Ecuación 1 se obtiene el diseño del pavimento. En la Tabla 12, se tiene el resumen del diseño del espesor del pavimento para tres espesores de subbase diferentes.

Tabla 11. Factores equivalentes de ejes

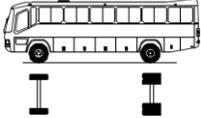
Configuración vehicular	Descripción grafica del vehículo	Tipo eje	Número de llantas	Número de repetición	Cargas por ejes en Kn	β_x	G_t	β_{18}	FEC
A		Sencillo	2	17	9,81	1,000	-0,079	1,137	0,000
		Sencillo	2	17	9,81	1,000	-0,079	1,137	0,000
Buses		Sencillo	2	3	68,67	1,064	-0,079	1,137	0,512
		Sencillo	4	3	107,91	1,595	-0,079	1,137	3,728
C2P		Sencillo	2	4	58,86	1,030	-0,079	1,137	0,265
		Sencillo	4	4	107,91	1,595	-0,079	1,137	3,521
C2G		Sencillo	2	3	58,86	1,030	-0,079	1,137	0,265
		Sencillo	4	3	107,91	1,595	-0,079	1,137	3,748
3		Sencillo	2	2	58,86	1,030	-0,079	1,137	0,265
		Tandem	8	2	215,82	2,906	-0,079	1,137	8,465
4		Tandem	4	0	117,72	1,097	-0,079	1,137	5,459
		Tandem	8	0	215,82	2,906	-0,079	1,137	8,465
2S1		Sencillo	2	0	49,05	1,013	-0,079	1,137	0,122
		Sencillo	4	0	107,91	1,595	-0,079	1,137	3,521
		Sencillo	4	0	107,91	1,595	-0,079	1,137	3,760
2S2		Sencillo	2	0	49,05	1,013	-0,079	1,137	0,122
		Sencillo	4	0	98,1	1,370	-0,079	1,137	2,352
		Tandem	8	0	166,77	1,530	-0,079	1,137	2,871
2S3		Sencillo	2	0	58,86	1,030	-0,079	1,137	0,265
		Sencillo	4	0	107,91	1,595	-0,079	1,137	3,521
		Tridem	12	0	230,54	1,700	-0,079	1,137	3,417
3S1		Sencillo	2	0	49,05	1,013	-0,079	1,137	0,122
		Tandem	8	0	137,34	1,204	-0,079	1,137	1,271
		Sencillo	4	0	98,1	1,370	-0,079	1,137	2,465
3S2		Sencillo	2	0	49,05	1,013	-0,079	1,137	0,122
		Tandem	8	0	210,92	2,699	-0,079	1,137	7,682
		Tandem	8	0	210,92	2,699	-0,079	1,137	7,682
3S3		Sencillo	2	0	58,86	1,030	-0,079	1,137	0,265
		Tandem	8	0	215,82	2,906	-0,079	1,137	8,465
		Tridem	12	0	235,44	1,776	-0,079	1,137	3,729

Tabla 12. Diseño de pavimento

VARIABLES	UNIDADES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Espesor base granular	mm	100	150	200
W_{82}	un	548031	548031	548031
Zr (confiabilidad del 85%)		-1,037	-1,037	-1,037
So		0,35	0,35	0,35
DPSI		2,5	2,5	2,5
Pt		2,0	2,0	2,0
Mr	MPa	4	4	4
Cd		0,9	0,9	0,9
J		3,1	3,1	3,1
Ec	MPa	18990,5	18990,5	18990,5
K	MPa/m	63,8	67,8	74,8
K	pci	232,87	247,47	273,02
D	in	5	5	5

Etapa constructiva

Para realizar la construcción de la vía se realizaron una serie de actividades que se describen a continuación. Parte del proceso de prácticas fue el acompañamiento de cada una de estas actividades.

Tabla 13. Actividades realizadas en la construcción del pavimento

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	Corte y rotura de pavimento rígido o flexible, con espesor variable, incluye acarreo interno. El cargue y botada de material sobrante se pagará en su respectivo ítem.
2	Perfilación, nivelación y compactación de subrasante.
3	Excavación a máquina a cielo abierto. El cargue y botada de material sobrante se pagará en su respectivo ítem.
4	Excavación manual en material heterogéneo bajo cualquier grado de humedad, medido en sitio. Cargue y botada se pagará en su respectivo ítem.

5	Suministro, transporte e instalación de subbase granular compactado al 95% del Proctor modificado.
6	Llenos compactados con material de excavación al 95% del Proctor modificado.
7	Suministro, transporte y colocación de concreto de resistencia a la flexión de 45 kg/cm ² (MR4) y a la compresión de 240 kg/cm ² para pavimento de losas de 200 mm de espesor. Incluye corte de juntas, ensanche de juntas, sello autonivelante con Sika Flex 4011 pavimento similar y cordón de respaldo de 3/8". No incluye refuerzo
8	Suministro, transporte e instalación de dovela en varilla lisa de 25,4 mm de diámetro y 350 mm de longitud espaciadas cada 300 mm. Incluye corte de varilla
9	Canastilla para apoyo de dovelas de 38cm x 10cm x longitud variable; en varilla de 5/16" con atizadores de 3/16". No incluye la dovela
10	Suministro, transporte e instalación de ACERO DE REFUERZO FIGURADO 60,000 PSI, corrugado. Incluye alambre de amarre, certificados y todos los elementos necesarios para su correcta instalación.
11	Cargue a máquina, transporte y botada de material medido en sitio hasta una distancia de 1 km
12	Cargue a mano, transporte y botada de material medido en sitio hasta una distancia de 1 km
13	Cordón de confinamiento prefabricado de 45cms de altura con resistencia de 210 kg/cm ² . Incluye lleno lateral
14	Suministro, transporte e instalación de señal vertical de Transito tipo 1 con lamina retrorreflectiva tipo IV (75 x 75) cm. Incluye poste en ángulo de 2*2*1/4 de 3,5m
15	Línea de demarcación con pintura en frío, incluye imprimante y microesferas
16	Andenes en concreto de 210kg/cm ² , espesor 10 cm, base granular hasta 15 cm.
17	Suministro e Instalación de tapa + aro (cuello) en polipropileno para cámaras de inspección (MH) de redes de alcantarillado. Incluye realce
18	Marca vial con pintura en frío

Fuente: presupuesto de obra

Registro fotográfico

Mediante el registro fotográfico, se muestran los resultados de la ejecución de algunas de las actividades contenidas en la Tabla 13.

Ilustración 3. Corte de pavimento



Ilustración 4. Instalación de subbase granular



Ilustración 5. *Dovelas, refuerzo de acero en losas y pasadores de carga*



Ilustración 6. *Acabado y texturizado de pavimento*



Ilustración 7. *Toma de muestras de concreto*



Ilustración 8. *Demarcación vial*



Ilustración 9. *Comparación antes y después del proyecto*



Conclusiones

El diseño del pavimento implementado en el tramo 2 del proyecto de pavimentación de vías urbanas del municipio de Angelópolis, está por encima del mínimo necesario obtenido en el diseño, por la metodología AASHTO, por lo que se puede afirmar que el espesor utilizado durante el proceso de construcción (20 centímetros) es adecuado para esta vía.

Se acompañó satisfactoriamente el proceso de construcción de una vía en pavimento rígido, durante este tiempo adquirí conocimientos no solo del proceso de construcción sino también de dirección y formulación de proyectos e interventoría.

Se cumplieron las tareas asignadas por la empresa Consicor S.A.S durante el periodo de prácticas, las cuales incluían la elaboración de la bitácora de obra e informes mensuales.

Referencias

- AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 (Vol 1).
AASHTO
- Arroyo, H., Francia, N. (2012). Diseño y conservación de pavimentos rígidos.
<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/504>
- ASTM International [ASTM]. (2008). C-293, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)
- ASTM International [ASTM]. (2022). C-78, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)
- Corea y Asociados S.A [CORASCO]. (2008). Manual para la revisión de diseño de pavimentos.
Gobierno de Nicaragua
- Flores. C. (2015). William Araujo, egresado de Ingeniería Civil, sustento investigación sobre ecuaciones con propiedades de suelos para Piura
- Giraldo. L., Monsalve. L., & Maya. J. (2012). Diseño de pavimento flexible y rígido. Armenia:
Universidad del Quindío
- Higuera, C. (2011). Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. ISBN 978-958-660-152-8
- Instituto de Desarrollo Urbano [IDU]. (2013). Guía de diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.
- Instituto Nacional de vías [INVÍAS]. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.
- Instituto Nacional de vías [INVÍAS]. (2012). Glosario de Manual de diseño geométrico de carreteras. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/glosarios/1017-glosario-manual-diseno-geometrico-carretera/file>
- Instituto Nacional de vías [INVÍAS]. (2013). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.