

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO PARA EL BARRIO MI LLANURA EN VILLAVICENCIO- META

DESIGN OF THE RIGID PAVEMENT STRUCTURE FOR THE MI LLANURA NEIGHBORHOOD IN VILLAVICENCIO- META

Jairo Alexander Romero Segura

Estudiante de la facultad de Ingeniería Civil, código 2174406, jairomeros@usantotomas.edu.co

Resumen: El barrio mi Llanura en Villavicencio no cuenta con una estructura de pavimento que permita la movilidad, generando inconvenientes en el sector, y al ser una ruta que conecta con una avenida principal es muy transitada, es muy importante realizar un diseño de pavimento rígido que cumpla con las condiciones del sector y ayude a mejorar la movilidad y economía del barrio, la metodología usada es de Portland Cement Association y mediante softwares especializados en pavimentos definir una estructura optima.

Palabras clave: Pavimento rígido, metodología PCA, diseño, BS-PCA, estructura.

Abstract: The Mi Llanura neighborhood in Villavicencio does not have a pavement structure that allows mobility, generating inconveniences in the sector, and being a route that connects with a main avenue is very busy, it is very important to make a rigid pavement design that complies with the conditions of the sector and help to improve the mobility and economy of the neighborhood, the methodology used is from Portland Cement Association and through specialized pavement software define an optimal structure.

Keywords: Rigid pavement, PCA methodology, design, BS-PCA, structure.

1. INTRODUCCIÓN

El estado actual de la red vial en Colombia, según el instituto nacional de vías se divide en muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo, teniendo en el departamento del Meta una red vial sin pavimentar en un 23.75% en estado bueno, 28.30% regular y 56.16% en estado malo. [1] demostrando las falencias del departamento en la materia y la necesidad de mejorarla.

La vía en el barrio mi Llanura en Villavicencio – Meta, se encuentra en mal estado, como una de las muchas en el departamento, no cuenta con una estructura de pavimento que soporte las cargas generadas por el tránsito y los cambios climáticos, esto se evidencio mediante una visita de campo, por lo tanto, esto ha generado inconvenientes en términos de movilidad y para las personas que habitan en el sector.

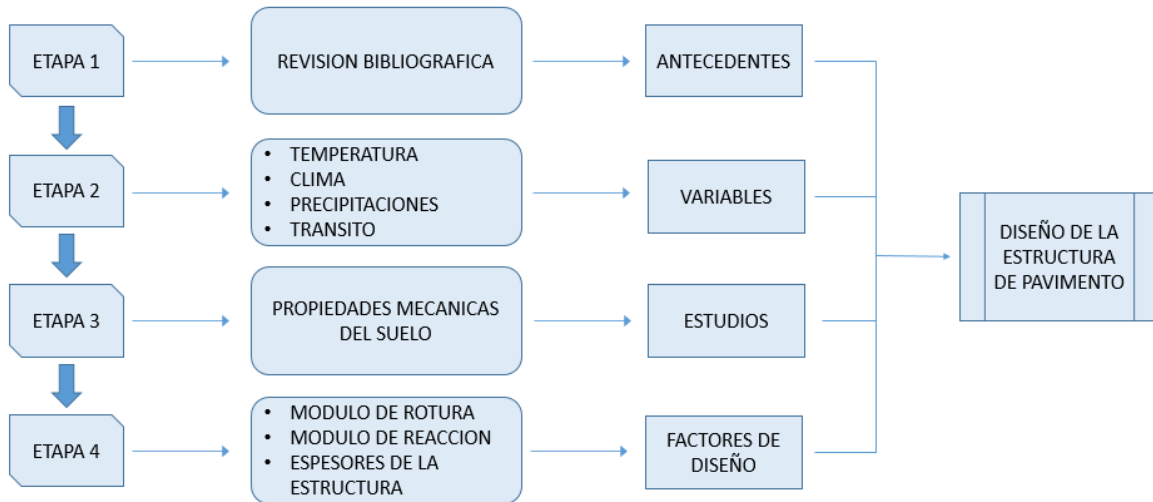
Debido al crecimiento poblacional del municipio, es de vital importancia contar con una eficiente infraestructura vial, diseñar un pavimento mediante la metodología Portland Cement Association (PCA) requiere de varios estudios y analizar la información, para determinar la opción más factible con la ayuda de softwares especializados en diseños de pavimentos.

2. METODOLOGIA

2.1 Descripción de etapas y tareas

La realización del proyecto debe tener en cuenta las actividades que se relacionan con los objetivos y el alcance, y están divididos en cuatro etapas como se muestran en la figura 1.

FIGURA 1. METODOLOGÍA DE ESTUDIOS Y DISEÑO.



Fuente: Autor.

La primera etapa es la búsqueda de referencias bibliográficas con la metodología PCA, para tener referentes con información actual que permita orientar los objetivos del proyecto de grado en una dirección apropiada.

La segunda etapa consiste en recopilar información de las variables de temperatura y precipitaciones en Villavicencio, mediante las estaciones pluviográficas del IDEAM, para analizar y determinar las características climáticas de la región. Encontrando la temperatura y precipitación de diseño para el proyecto de grado.

La variable de transito se determinará mediante aforos vehiculares, para los cuales se desplazará a la zona de estudio durante tres días de la semana, que se distribuirán en dos días hábiles y un día no laboral, para conocer el volumen de tránsito y los tipos de vehículos, con el fin de hallar el transito promedio diario (TPD) y la cantidad de vehículos pesados.

La tercera etapa consiste en la realización de un apique manual a 1.5 metros de profundidad, para determinar la composición y las propiedades mecánicas del suelo, determinando el CBR de la subrasante, y poder tomar las medidas pertinentes para que el diseño de la estructura de pavimento rígido cumpla.

La cuarta etapa consiste en determinar las variables finales, enfocadas en la estructura de pavimento, como son el módulo de reacción mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 1 k subrasante

$$K_{\text{subrasante}} = 2.55 + 52.5 * \log(CBR)$$

Para hallar el módulo de reacción combinado (K comb) se interpola los valores de la siguiente tabla con el resultado del módulo de reacción de la subrasante.

TABLA I
VALORES DE K CUANDO LA LOSA SE APOYA SOBRE UNA CAPA GRANULAR O UNA CAPA ESTABILIZADA CON CEMENTO HIDRÁULICO.

K subrasante		valores de K							
		capa granular no tratada							
		10 cm		15 cm		22.5 cm		30 cm	
Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245

K subrasante		valores de K							
		capa granular no tratada							
		10 cm		15 cm		22.5 cm		30 cm	
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430
K subrasante		capa estabilizada con cemento hidráulico							
Mpa/m	pci	10 cm		15 cm		20 cm		25 cm	
20	73	60	220	80	300	105	400	135	500
40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900	-	-

Fuente: [2]

El número de ejes y las repeticiones de estos, mediante fórmulas y tablas ya establecidas por la metodología de diseño PCA.

Ecuación 2 Numero de ejes

$$N_{ejes} = \frac{\#ejes}{dia} * \frac{k2}{100} * 365 * k3 * n$$

Las variables se introducirán en el software BS-PCA, especializado en el diseño de estructuras de pavimentos rígidos, para determinar los espesores de la estructura de pavimento que cumpla con la erosión y esfuerzos que se puedan presentar.

3. RESULTADOS

El diseño de pavimento se compone de varios parámetros y estudios para obtener una estructura eficiente y optima, los cuales se analizarán y desarrollarán mediante la metodología Portland Cement Association y las normas INVIAS.

3.1 Precipitación

Los datos de las precipitaciones en el municipio de Villavicencio en un periodo de 10 años, se obtuvieron de las estaciones SENA y UNILLANOS del IDEAM obteniendo una precipitación promedio de todos los años de 4013.81 milímetros (mm).

TABLA II
PRECIPITACIONES ANUALES Y DE DISEÑO

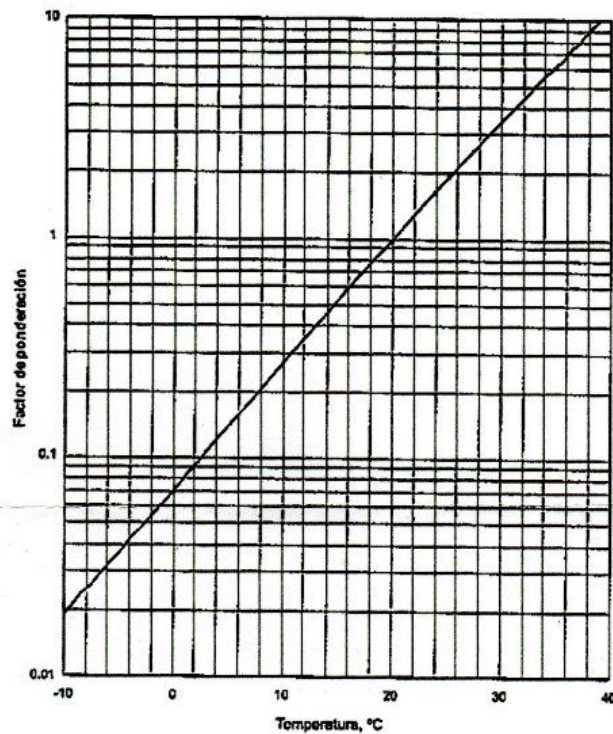
Precipitaciones	
Año	Suma de precipitación anual (mm)
2010	4125.50
2011	3582.90
2012	4011.30
2013	4304.49
2014	3869.59
2015	3909.00
2016	3804.40
2017	4215.09
2018	4196.85
2019	4118.98
PMA Diseño (mm)	4013.81

Fuente: Autor.

3.2 Temperatura

La temperatura de diseño para el pavimento rígido se calculó con los datos de temperatura media mensual (TMM) de cada año, y con factores de ponderación obtenidos de la figura 2.

FIGURA 2 FACTORES DE PONDERACIÓN PARA DETERMINAR LA TMAP



Fuente: [3]

Se asignó un promedio del factor ponderado de cada año, y con este hallar la temperatura media anual ponderada (TMAP) con la cual se diseñará, obteniendo una temperatura de 23.88°C.

TABLA III
TEMPERATURA DE DISEÑO

Temperatura	
AÑO	TMAP °c
2010	24.2
2011	23.2
2012	24.1
2014	23.8
2015	25.2
2016	22.8
TMAP Diseño °c	23.88

Fuente: Autor.

3.3 Aforos vehiculares

Se realizó el aforo vehicular para conocer el tránsito promedio diario (TPD) los días 17 y 18 de marzo del 2021, siendo estos días hábiles, y un día no laboral cumpliendo con la metodología planteada, en el día 3 de abril del 2021.

TABLA IV
AFORO VEHICULAR

Aforo vehicular				
TIPO	Día 1	Día 2	Día 3	TOTAL
Automóvil	486	507	537	1530
microbús	39	38	10	87
buseta	15	6	2	23

bus intermunicipal	2	0	0	2
C2P	43	38	26	107
C2G camión	80	52	21	153
C2G volqueta	4	4	1	9
C3 camión	4	2	0	6
C3 volqueta	1	0	0	1
C3-S2	1	0	0	1
TPD	640			

Fuente: Autor

Obteniendo como resultado un TPD de 640, siendo este un tránsito considerado bajo, por lo tanto, se opta por tomar los parámetros de diseño del TPD mínimo según el método PCA-84 para diseños de pavimentos rígidos. [4]

TABLA V
PARÁMETROS DE DISEÑO PARA UN TPD MÍNIMO

Variables de diseño TPD de 1000	
factor carril (K2)	50%
tasa de crecimiento (r)	1%
proyecciones de tráfico (k3)	1.1
factor de seguridad de carga (FSC)	1
Periodo de diseño (n)	20 años

Fuente: Autor

3.4 Estudio de suelos

Se realizó un apique a 1.5 m de profundidad en la calle 8 con cr 5b en Villavicencio, para determinar las características del suelo, y obtener los datos necesarios para el diseño del pavimento rígido.

Con el ensayo de granulometría se determinó que el material en la zona está compuesto por una arcilla inorgánica de baja a mediana plasticidad (CL). Y su distribución está compuesta por gravas, arenas y finos.

TABLA VI
COMPOSICIÓN DEL SUELO

Composición	
Material	Porcentaje
Gravas (%)	1.29
Arenas (%)	27.74
Finos (%)	70.97
Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL)	

Fuente: Autor

Se realizaron los límites de Atterberg para caracterizar su comportamiento, obteniendo el límite plástico (LP), límite líquido (LL) e índice de plasticidad (IP).

TABLA VII
LÍMITES DE ATTERBERG

valores	
LL	27.1
LP	13.25
IP	13.85

Fuente: Autor

Para el cálculo del CBR se halló en campo mediante el método de PDC (penetrómetro dinámico de cono), y en

laboratorio con el método de CBR inalterado sumergido durante 3 días, obtando por este último debido a las precipitaciones que se presentan en el municipio de Villavicencio, obteniendo como resultado un CBR de 6.31%.

TABLA VIII
RESULTADOS DE CBR

CBR	
PDC	6.89%
Sumergido	6.31%

Fuente: Autor

3.5 Diseño por la metodología PCA

Los vehículos pesados se dividen en ejes simples y tándem con su respectiva carga como se observa en la siguiente tabla. Se suman los ejes en promedio diario y se obtiene el valor N mediante la ecuación 2.

TABLA IX
DISTRIBUCCION DE EJES DE VEHICULOS PESADOS

Carga KN	Numero de ejes	N
Ejes Simple		
50	36	144540
60	65	260975
110	99	397485
Eje tándem		
220	2	8030

Fuente: Autor

Se asume un espesor de base granular de 15 cm y se halla el k de la subrasante mediante la ecuación 1 y el k combinado interpolando los valores de la tabla I.

TABLA X
MODULO DE REACCION

Ksr (Mpa)	Kcomb (Mpa/m)
44.55	52.87

Fuente: Autor

Se definen las variables faltantes para el uso del programa como se observa en la siguiente tabla.

TABLA XI
DATOS DE ENTRADA EN BS-PCA

DATOS DE ENTRADA EN BS-PCA		
módulo de rotura concreto (MR)	4.5	Mpa
ancho de losa (a)	3	m
longitud de losa (l)	4	m
periodo de diseño (n)	20	Años
densidad del concreto	24	KN/m3
módulo de elasticidad del concreto (E1)	28000	Mpa

Fuente: Autor

Se ingresan los valores (N) de los ejes con su respectiva carga en Kilo newtons (KN), para cada eje.

FIGURA 3 INGRESO DE DATOS DE EJES DE VEHÍCULOS PESADOS

TRÁNSITO		Parámetros de Diseño PCA		Parámetros de Diseño AASHTO	
Unidad Cargas : kN		Factor de Seguridad Carga : 1		Factor Mayoración Repeticiones : 1.1	
Ejes Simples Rueda Simple	Ejes Simples Rueda Doble	Ejes Tandem Rueda Simple	Ejes Tandem Rueda Doble	Ejes Tridem	
#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas			
1	50	144450			
2	60	260975			
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
Geometría Eje					
Radio Carga [a] : 11.99 cm		Ancho Eje [D] : 182.88 cm		Aashto (Cálculo W82)	
				Exponente : 4	
				Carga Referencia (kN) : 65	
Factores					
Esfuerzo Equivalente : 1.6128		Factor Esfuerzo : 0.3584		Factor Erosión : 2.5071	

Fuente: BS-PCA

Se asume un espesor de losa de concreto de 17 cm y se verifica que cumpla por erosión y esfuerzo teniendo en cuenta que estos deben ser menor al 100%

FIGURA 4 RESULTADOS CON ESPESOR DE LOSA 17 CM

TRÁNSITO		Parámetros de Diseño PCA		Parámetros de Diseño AASHTO	
Resistencia K del Apoyo : 52.87 Mpa/m		K Combinado		Capas : Una Capa	
Espesor Losa [h1] : 17 cm					
Longitud Losa [L] : 4 m					
Ancho Losa [W] : 3 m					
Módulo de Elasticidad [E1] : 28000 Mpa					
Densidad [s1] : 2.4 Tn/m3					
Relación de Poisson [u1] : 0.15					
Módulo de Rotura [Sc] : 4.5 Mpa					
Coeficiente de Variación [CV] (%) : 15					
Ancho de Berma [D0] : 0.5 m					
Factor de Trabazón de Agregados [AGG] : 0 Mpa					
☒ Con Pasadores					
% Camiones al Borde : 0					
				Diferencial Temperaturas [dT] : 10 oF	
				Coeficiente Térmico [alfa] : 5.500E-06 1/oF	
				% Tránsito para Alabeo : 0	
				Consumo Erosión (%) : 31.1002	
				Consumo Esfuerzo (%) : 140.6695	

Fuente: BS-PCA

TABLA XII
RESULTADOS CON ESPESOR DE LOSA DE 17 CM

Consumo por erosión %	31.1	CUMPLE
Consumo por esfuerzo %	140.66	NO CUMPLE

Fuente: Autor

Como no cumple por esfuerzo se realiza una nueva iteración aumentando el espesor de la losa a 18 cm obteniendo un resultado que cumple los parámetros de erosión y esfuerzo.

FIGURA 5 RESULTADOS CON ESPESOR DE LOSA 18 CM

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [C:\Users\Alex Romero\Desktop\USTA\TESIS\BSPCA\diseño PAV rígido.pca]

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción:

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Resistencia K del Apoyo: 52.87 Mpa/m K Combinado

Espesor Losa [h1]: 18 cm

Longitud Losa [L]: 4 m

Ancho Losa [W]: 3 m

Módulo de Elasticidad [E1]: 28000 Mpa

Densidad [s1]: 2.4 Tn/m3

Relación de Poisson [u1]: 0.15

Módulo de Rotura [Sc]: 4.5 Mpa

Coefficiente de Variación [CV] (%): 15

Ancho de Berma [D0]: 0.5 m

Factor de Trabazón de Agregados [AGG]: 0 Mpa

☒ Con Pasadores

% Camiones al Borde: 0

Capas: Una Capa

Datos Ambientales

Diferencial Temperaturas [dT]: 10 °F

Coefficiente Térmico [alfa]: 5.500E-06 1/°F

% Tránsito para Alabeo: 0

Consumo Erosión (%): 15.1381

Consumo Esfuerzo (%): 22.4343

Fuente: BS-PCA

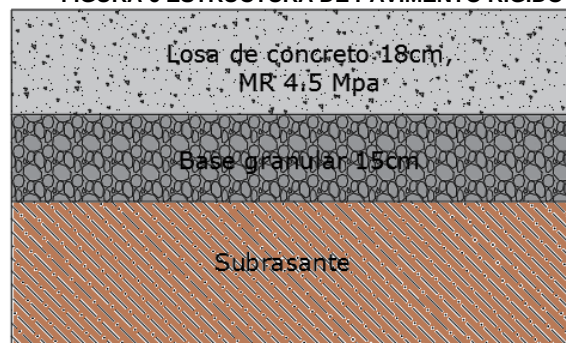
TABLA XIII
RESULTADOS CON ESPESOR DE LOSA DE 18 CM

Consumo por erosión %	15.13	CUMPLE
Consumo por esfuerzo %	22.43	CUMPLE

Fuente: Autor

El diseño de pavimento rígido para el barrio mi Llanura por la metodología de PCA, se compone de una losa de concreto de 18 cm, MR de 4.5Mpa, una base granular de 15 cm y la subrasante.

FIGURA 6 ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO



Fuente: Autor

4. CONCLUSIONES

Las precipitaciones y temperaturas en la ciudad de Villavicencio la clasifican como una región cálida y muy húmeda, por lo tanto, el ensayo de suelo utilizado para hallar el CBR es por el método sumergido, obteniendo un valor exacto en comparación con otros métodos.

La subrasante no requiere de un tratamiento debido a que el CBR es mayor del 6%, pero se recomienda un mejoramiento de cal, debido a la composición del suelo y para evitar que se presenten patologías en la estructura en el futuro.

Los aforos realizados en el barrio mi Llanura evidenciaron un TPD considerado bajo, según la metodología PCA, por lo tanto, para el diseño de la estructura de pavimento, algunos parámetros se adoptaron los mínimos.

La base granular no requiere de un tratamiento, debido a que los parámetros para el diseño de la estructura de pavimento rígido, como la erosión y esfuerzo cumplieron con un base de un espesor de 15 cm. Realizar un tratamiento incurriría en un mayor costo en la estructura de pavimento, sin obtener cambios

significativos.

REFERENCIAS

- [1] I. N. d. V. «Instituto Nacional de Vias,» 03 julio 2019. [En línea]. Available:
] <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/informacion-institucional/9166-estado-de-la-red-vial-criterio-tecnico-primer-semester-2019>.
- [2] H. A. Rondon Quintana y F. A. Reyes Lizcano, Pavimentos materiales, construccion y diseño, Bogota:
] Ecoediciones, 2015.
- [3] C. H. Higuera sandoval , Mecanica de pavimentos. principios basicos, UPTC, 2011.
]
- [4] M. PCA, Diseño de espesores para pavimentos de hormigon en carreteras y calles, portland cement
] association.
- [5] Instituto nacional de vias y Ministerio de transporte, «Manual de diseño de pavimentos de concreto
] para vias con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito,» 2008. [En línea]. Available:
<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file>.
- [6] G. Gonzales Sosa y E. Vanegas Gomez , 2016. [En línea]. Available:
] <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/5759/DOCUMENTO%20FINAL%20%28metodos%20de%20dise%c3%b1o%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [7] IDEAM, «IDEAM,» 22 12 1993. [En línea]. Available:
] <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>. [Último acceso: 21 11 2019].
- [8] E. Mba Lozano y R. Tabares Gonzalez, «bdigital.unal.edu.co,» noviembre 2005. [En línea]. Available:
] <http://bdigital.unal.edu.co/743/1/ricardotabaresgonzales.2005.pdf>. [Último acceso: agosto 2019].
- [9] L. . M. Monsalve Escobar, L. C. Giraldo Vasquez y J. Maya Gaviria, 2012. [En línea]. [Último acceso:
] 09 2019].
- [1 C. J. Peralta Lopez, 2020. [En línea]. Available:
0] <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36319/PeraltaLopezCristianJose2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [1 J. A. Revelo Rivera, 2019. [En línea]. Available:
1] <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32000/ReveloRiveraJhonatanAlexander2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [1 A. Rico Rodriguez , R. Tellez Gutierrez y P. Garnica Anguas, «PAVIMENTOS FLEXIBLES:
2] PROBLEMÁTICA, METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y TENDENCIAS,» *The National Academies of sciences engineering medicine*, nº 104, p. 133, 1998.
- [1 R. H. Robles Robles, 2018. [En línea]. Available:
3] <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20452/RoblesRoblesRamiroHernan2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [1 J. Rojas , A. Maya , S. Gaviria y J. Monsalve, «construccion de pavimentos rigidos en vias urbanas de
4] bajo tránsito,» bogota, 2017.
- [1 M. A. Salamanca Niño y S. A. Zuluaga Bautista, «Diseño de la estructura de pavimento flexible por
5] medio de los métodos INVIAS, AASHTO 93 e instituto del asfalto para la vía la ye santa lucia barranca lebrija entre los abscisas k19-+250 a k25+750 ubicada en el departamento del cesar,» 2014. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2569/2/Dise%C3%B1o->

estructura-pavimento-flexible-Aashto-Invias-Insituto-Asfalto-Barranca_Lebrija.pdf. [Último acceso: 07 2019].