INFORME DISEÑO DE PAVIMENTO

CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO EN EL CORREGIMIENTO CENTRO ALEGRE, VEREDA SANTANA Y NUEVO PARAÍSO, EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE PLANETA RICA, CÓRDOBA.



Imagen solo de referencia

ING. ÁNGEL ÁLVAREZ
MAT. 22202196761 COR

PLANETA RICA - CORDOBA
ENERO DE 2026

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION 4
OBJETIVO GENERAL 5
OBJETIVOS ESPECIFICOS 5
1. LOCALIZACIÓN DEL SECTOR EN ESTUDIO 6
1.1 Tramos de vías a pavimentar 7
2. CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE 7
2.1 Cálculo del CBR de diseño. 8
3. TRANSITO DE DISEÑO 10
4. METODOLOGIA AASTHO 93 11
4.1. Confiabilidad (R) 12
4.2. Índice de Serviciabilidad 12
4.3. Error normal combinado [So] 13
4.4. Módulo de rotura del concreto 13
4.5. Módulo elástico del concreto 15
4.6. Módulo de reacción de la subrasante 15
4.7. Coeficiente de drenaje 17
4.8. Coeficiente de transferencia de carga (J) 18
4.9. Análisis por el Método AASTHO 93 18
4.10. Análisis de los resultados 19
5. METODO DE LA ASOCIACION DE CEMENTO PORTLAND (PCA) 20
5.1. Fórmulas empleadas para calcular el consumo de fatiga 20
5.2. Fórmulas empleadas para calcular el consumo de erosión 21
5.3. Análisis por el Método de la PCA 22
5.3.1. Análisis de los resultados 22
5.3.2. Análisis de sensibilidad 26
CONCLUSIONES 28
RECOMENDACIONES 29
BIBLIOGRAFIA 34

ANEXOS..... 35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Emplazamiento de la zona del proyecto..... 6
Figura 2. Clasificación del tránsito 10
Figura 3. Módulo de rotura..... 14
Figura 4. Cálculo del K Combinado..... 16
Figura 5. Cálculo del espesor del pavimento – Método AASTHO 93 19
Figura 6. Sección Transversal de la estructura – Método AASTHO 93 19
Figura 7. Sección Transversal de la estructura – Método PCA 23
Figura 8. Sección Transversal de la estructura sitios puntuales..... 24

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Nomenclatura y datos de la vía 7
Tabla 2. Resumen valores de la resistencia subrasante 8
Tabla 3. Cálculo del CBR Equivalente - Ecuación de Ivanov 9
Tabla 4. Nivel de confiabilidad R recomendados 12
Tabla 5. Serviciabilidad final 13
Tabla 6. Error normal combinado, So 13
Tabla 7. Resistencia que debe alcanzar el concreto 14
Tabla 8. Valores de K cuando la losa se apoya sobre una capa granular 16
Tabla 9. Valores de Cd recomendado para pavimentos rígidos 17
Tabla 10. Coeficiente de transferencia de carga 18
Tabla 11. Resumen de parámetros Método AASHTO 93 18
Tabla 12. Espesor del mejoramiento 25
Tabla 13. Transferencia de carga 29
Tabla 14. Barras de anclaje 30
Tabla 15. Geometría juntas pavimento 31
Tabla 16. Franja granulométrica del material de Subbase 33

INTRODUCCION

Se conoce como pavimento, el conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales que se diseñan técnicamente y se construyen con materiales apropiados como asfalto o concreto debidamente compactados con el fin de soportar cargas de tráfico. Algunos de los elementos indispensables para cumplir la función del pavimento es la adecuada distribución de las capas de la estructura (Sub-base, base, losa de concreto o carpeta asfáltica).

Considerando lo anterior, y soportado bajo las formulaciones y metodologías empleada por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO 93) y la Asociación de Cemento Portland (PCA 84) se efectúa el diseño de la estructura de pavimento rígido en el proyecto CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO EN EL CORREGIMIENTO CENTRO ALEGRE, VEREDA SANTANA Y NUEVO PARAÍSO, EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE PLANETA RICA, CÓRDOBA. A continuación, se presentan los parámetros de diseño de los dos métodos referidos anteriormente, la caracterización de la subrasante, el tránsito de diseño y demás insumos requeridos para el diseño estructural del pavimento.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar la estructura de pavimento rígido del CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO EN EL CORREGIMIENTO CENTRO ALEGRE, VEREDA SANTANA Y NUEVO PARAÍSO, EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE PLANETA RICA, CÓRDOBA, a través de las metodologías propuestas por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transporte (AASTHO 93) y la Asociación de Cemento Portland (PCA 84).

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer los parámetros de diseño de la estructura de pavimento propuesta.
- Definir el módulo de reacción de la subrasante a través del valor del CBR.
- Calcular el consumo de esfuerzo y el consumo de erosión a través del método de la PCA

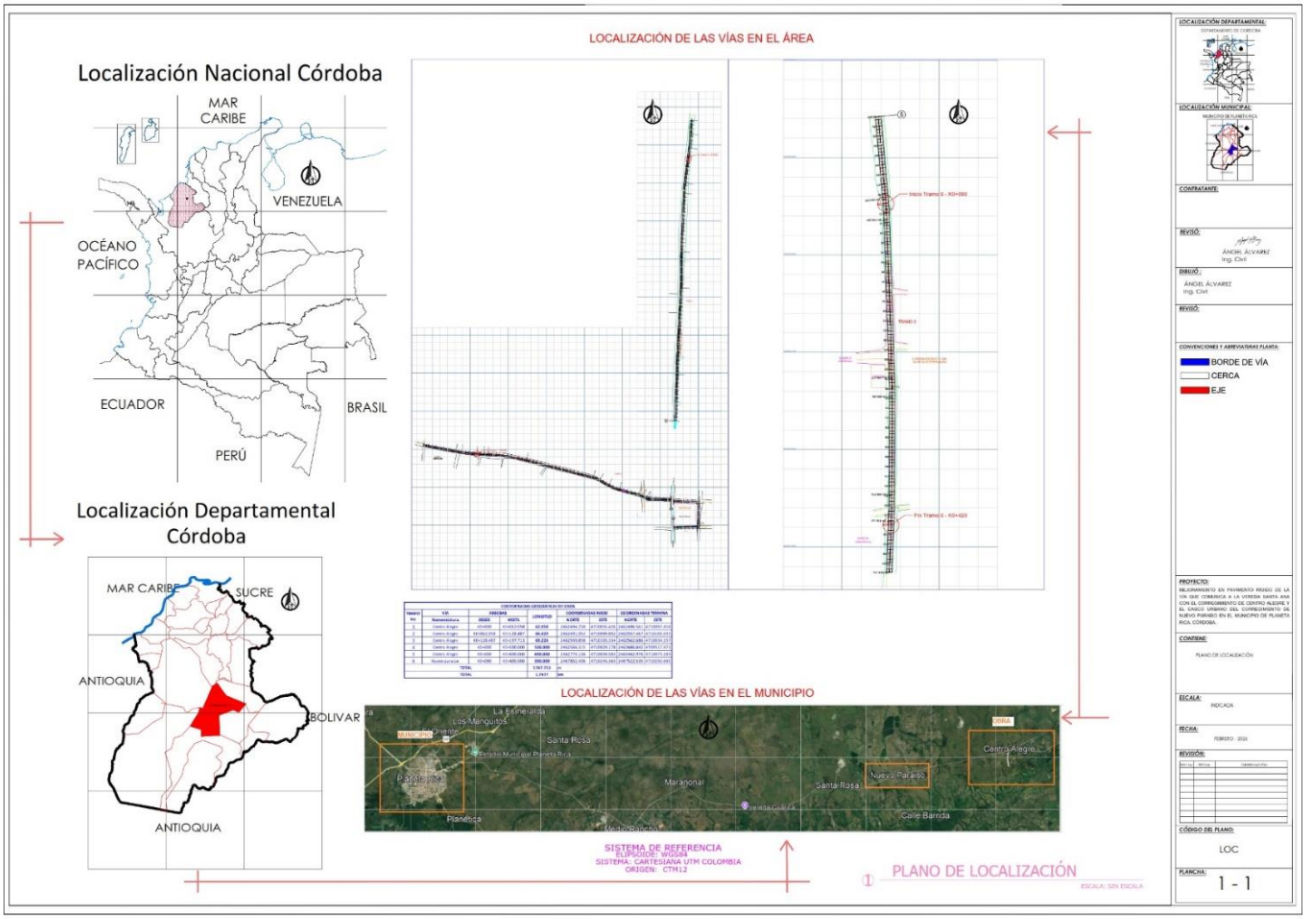
1. LOCALIZACIÓN DEL SECTOR EN ESTUDIO

El sitio donde se considera intervenir el tramo vial se encuentra localizado al noroeste del municipio de Planeta Rica - Córdoba. Sobre las vías:

Tramo 1 Vía que comunica la Vereda Santa Ana con el Corregimiento de Centro Alegre y el casco urbano de la Vereda Nuevo paraíso.

En la figura 1 se observa el emplazamiento nacional y departamental del proyecto.

Figura 1. Emplazamiento de la zona del proyecto



Fuente: Plano de localización

1.1 Tramos de vías a pavimentar

Los cuatro tramos contarán con una longitud de **1747.713 m** comprendidos entre la abscisa que se mencionan a continuación:

Tabla 1. Nomenclatura y datos de la vía

COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE OBRA								
TRAMO No	VÍA	ABSCISAS		LONGITUD	COORDENADAS INICIO		COORDENADAS TERMINA	
	Nomenclatura	DESDE	HASTA		NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
1	Centro Alegre	K0+000	K0+062.058	**62.058**	2462494.758	4710035.426	2462496.561	4710097.458
2	Centro Alegre	K0+062.058	K0+128.487	**66.429**	2462491.052	4710099.892	2462557.467	4710100.693
3	Centro Alegre	K0+128.487	K0+197.713	**69.226**	2462559.858	4710103.334	2462562.686	4710034.157
4	Centro Alegre	K0+000	K0+530.000	**530.000**	2462566.315	4710029.178	2462686.842	4709517.971
5	Centro Alegre	K0+000	K0+690.000	**690.000**	2462774.136	4710039.583	2463462.976	4710073.289
6	Nuevo paraiso	K0+090	K0+420.000	**330.000**	2467852.406	4710245.363	2467522.535	4710250.690
	TOTAL			**1747.713**	**m**			
	TOTAL			**1.7477**	**km**			

Fuente: El Autor

2. CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

La caracterización de la subrasante es un parámetro fundamental en el diseño de pavimento ya que es la plataforma o capa donde se emplazará toda la estructura y la que resiste toda la carga impuesta por el tránsito.

Para caracterizar el suelo de subrasante es necesario realizar una evaluación en campo y recuperar muestras para establecer el valor de la resistencia en el laboratorio, a través del ensayo CBR (Californian Bearing Ratio), el cual consiste en aplicarle una fuerza puntual a unas probetas compactadas con 12, 25 y 56 golpes, que previamente estuvo sumergida durante 96 horas, a una velocidad de 1.27mm/seg; en este sentido se toma la lectura a una penetración de 0.1” pulg. y 0.2” pulg. Además de lo anterior, se pueden establecer correlaciones que existente entre el Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) y el valor del CBR.

Según la información consignada en el estudio de suelo el CBR de diseño es de **2.74%** se hace la necesidad de hacer un mejoramiento en material seleccionado con un espesor de 15 cm con un CBR mínimo del 15% y una subbase de 20 cm en toda la calzada (esto nos arroja un CBR equivalente de la capa de mejoramiento con la subrasante del **4.20%**, calculado y soportado como sigue:

2.1 Cálculo del CBR de diseño.

El análisis del CBR de diseño se realizará aplicando la siguiente metodología para su selección:

- ✓ Cuando se tengan menos de 5 resultados, se recomienda tomar el menor valor de resistencia o de respuesta determinado en condiciones de equilibrio.
- ✓ Cuando se tengan 5 resultados o más, la elección del valor de diseño del área, dependerá del método de diseño del pavimento que se vaya a emplear:
  - Si se aplican AASHTO – 93 o INVIAS, se tomará el valor promedio.
  - Para otros métodos, se puede emplear el criterio del Instituto del Asfalto

(Fuente: Sánchez Sabogal Fernando, Modulo 6: Evaluación de la subrasante).

Tabla 2. Resumen valores de la resistencia subrasante

APIQUE	VALOR CBR (%)	ESTRATIGRAFIA SUBRASANTE
AP1	----	ARENAS MAL GRADUADAS CAFÉ SEMIOSCURO, CAFE CON VETAS BLANCAS, GRIS Y NEGRAS DE PLASTICIDAD BAJA
AP2	----	GRAVAS BIEN GRADUADA CON ARENA CAFÉ CON VETAS BLANCAS Y GRIS CLARO, GRIS CON VETAS CAFÉ CLARO Y BLANCAS DE PLASTICIDAD BAJA
AP3	----	ARENA MAL GRADUADA NARANJA CLARO CON VETAS CAFÉ, GRIS Y BLANCAS MARRON CON VETAS CAFES DE PLASTICIDAD BAJA
AP4	2.74	ARENA MAL GRADUADA CON ARCILLA NARANJA SEMIOSCURO CON VETAS CAFÉ, GRIS Y BLANCAS DE PLASTICIDAD BAJA
AP5	2.82	ARCILLA ARENOSA NARANJA SEMIOSCURO CON VETAS CAFÉ SEMIOSCURO Y BLANCAS; NARANJA CLARO CON VETAS CAFÉ SEMIOSCURO Y BLANCAS DE PLASTICIDAD BAJA
AP6	2.79	ARCILLA ARENOSA CAFE SEMICLARO DE BAJA PLASTICIDAD
AP7	2.77	ARCILLA LIMOSA ARENOSA CAFE SEMICLARO CON VETAS NARANJA CLARO DE BAJA PLASTICIDAD
AP8	----	LIMO ARENOSO MARRON CON VETAS CAFÉ, ARENA LIMOSA CON GRAVA MARRON CON VETAS CAFÉ CLARO, DE BAJA PLASTICIDAD

Fuente: Estudio de suelos (Tabla 9)

De acuerdo a lo anterior el menor valor de CBR es **2.74%**, el cual sería nuestro CBR de Diseño.

Ahora se calculará el CBR equivalente por medio de Ecuación de Ivannov.

Tabla 3. Cálculo del CBR Equivalente - Ecuación de Ivanov

CÁLCULO DEL CBR EQUIVALENTE DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO POR MEDIO DE LA FÓRMULA DE IVANOV

CBR DISEÑO % (PROMEDIO)		$E_{INF.}$	$E_{SUP.}$	n	$n^{3.5}$	h_1(cm)	h_1 / 2a	$\tan^{-1}(n*h_1/2a)$ (rad) (I)	1-(1/$n^{3.5}$)	2/π (J)	2/π*J*I	E_{equiv} (Kg/cm2)	CBR
SUBRASANTE	MAT. MEJORAM	(kg/cm$^{2)}$											
2.74	15.00	274.0	899	1.61	5.28	15	0.49	0.67	0.81	0.64	0.35	419	4.20

SISTEMA EQUIVALENTE

CBR $_{EQUIVALENTE}$ = 4.20 %

CBR DISEÑO % (PROMEDIO)			$E_{INF.}$	$E_{SUP.}$	E_{EQUIV}	n	$n^{3.5}$	1-(1/$n^{3.5}$) (I)	2/π	2/π*I (K)	1-(E_{INF}/E_{EQUIV}) (L)	tan(L/K)	h1 (cm)
SUBRASANTE	MAT. MEJORAM	EQUIV.	(Kg/cm^2)										
2.74	15.00	4.20	274	899	420	1.61	5.28	0.81	0.64	0.52	0.35	0.80	15.24

ESPESOR NECESARIO PARA OBTENER UN CBR EQUIVALENTE DE **4.20%**

ALTURA DEL RELLENO (h_1) = 15.00 cm

$E_{INFERIOR}$ = 100x CBR CBR<10%

$E_{SUPERIOR}$ = 130 x $CBR^{0,714}$ CBR≥10%

h_1 corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \mathrm{Tan}\left[\frac{\left(1-\frac{E_{inferior}}{E_{equivalente}}\right)}{\frac{2}{\pi}*\left(1-\frac{1}{n^{3.5}}\right)}\right]$$

$$n = \left(\frac{E_{superior}}{E_{inferior}}\right)^{1/2.5}$$

Fuente: El Autor

Según los cálculos del CBR equivalente mediante la Ecuación de Ivannov es 4.20%

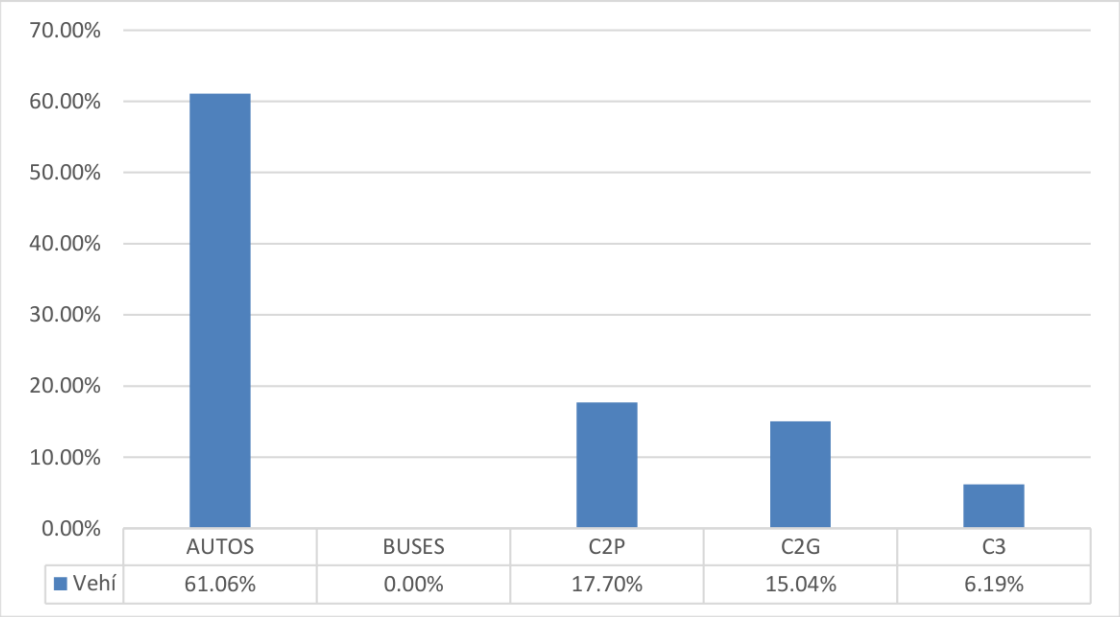
CBR Equivalente de Diseño: 4.20%

3. TRANSITO DE DISEÑO

El transito es la variable más importante en el diseño de pavimentos porque es la que determina, en cierto grado, su espesor; además el número y el peso de los ejes de los vehículos inciden directamente en el pre-dimensionamiento de la estructura.

De acuerdo al estudio de tránsito el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas es de **116709**. Ver estudio de tránsito anexo.

Figura 2. Clasificación del tránsito



Fuente: Estudio de Tránsito

4. METODOLOGIA AASTHO 93

Un pavimento de hormigón o pavimento rígido consiste básicamente en losas de hormigón simple o armado, apoyadas directamente sobre una base o subbase, el cual puede ser dimensionado utilizando ecuaciones empíricas. Por ejemplo, las ecuaciones empíricas utilizadas en la guía AASHTO 1993 son en gran medida resultados del AASTHO Road Test.

El método AASHTO 1993 se fundamenta en la siguiente fórmula general de diseño, la cual relaciona el número de ejes equivalentes de 8,2 Ton con el espesor de la losa de hormigón:

$$Log(W_{18}) = Zr \times So + 7.35 \times Log(D+1) - 0.06 + \frac{Log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.624 \times 10^{7}}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times P_t) \times Log\left(\frac{MR \times Cd \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J\left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

Dónde:

- W18: Número de cargas de 18 Kips (80 KN) previstas.
- ZR: Valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.
- So: Desvío estándar de todas las variables.
- D: Espesor de la losa del pavimento en pulgadas.
- ΔPSI: Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño
- Pt: Serviciabilidad final
- S'c: Módulo de rotura del concreto, en psi.
- J: Coeficiente de transferencia de carga
- Cd: Coeficiente de drenaje
- Ec: Módulo de elasticidad del concreto, en psi.
- K: Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci. (psi/pulg).

4.1. Confiabilidad (R)

Tiene en cuenta el grado de incertidumbre que se presenta durante la estimación de las variables, introduciendo para tal fin un factor de seguridad al diseño. Para entender este parámetro hay que señalar que la confiabilidad es contraria a la probabilidad de falla. Así, si R tiende a un valor de 100%, significa que el diseñador está introduciendo una probabilidad de falla tendiente a 0% al diseño, y en este punto el espesor de las capas de pavimento alcanzará su mayor valor debido a que el factor de seguridad es lo más alto posible.

Tabla 4. Nivel de confiabilidad R recomendados

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad R [%]	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectoras	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Locales	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: Ing. Hugo Rondón Quintana

Basado en lo anteriormente propuesto, se toma un valor de confiabilidad de **90%** por tratarse de una vía colectora.

4.2. Índice de Serviciabilidad

Este índice tiene en cuenta el estado inicial y final de serviciabilidad del pavimento que se diseñará y construirá. A pesar de ser un parámetro bastante subjetivo, el estado de serviciabilidad se evalúa de manera cuantitativa asignando un valor de entre 0 y 5, donde 5 es el máximo valor, asumiendo que el pavimento se encuentra en perfecto estado de serviciabilidad. Se parte por lo general de un valor inicial para pavimento de P_o entre 4.0 y 4.2 (estado bueno de la vía) y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento P_f entre 1.5 y 2.5

Tomando como referencia la siguiente tabla, se opta un valor de serviciabilidad inicial de **4.2** y serviciabilidad final de **2.5**

Tabla 5. Serviciabilidad final

Tipo de vía	Serviciabilidad Final P_f
Autopistas	2.5 - 3.0
Carreteras	2.0 - 2.5
Zonas industriales	
Pav. urbano principal	1.5 - 2.0
Pav. urbano secundario	1.5 - 2.0

Fuente: AASTHO 93

4.3. Error normal combinado [So]

Para el diseño de pavimentos es necesario determinar el error normal combinado (So), el cual tiene en cuenta la falla o desviación de diseño, la variación de las propiedades de los materiales, la variación de las propiedades de la subrasante, la variación en la estimación del tránsito, la variación de las condiciones climáticas y la variación en la calidad de la construcción. Los valores de So se obtienen en la siguiente tabla:

Tabla 6. Error normal combinado, So

Proyecto de pavimento	S_o	
	Flexible	Rígido
	0.4 - 0.50	0.30 - 0.40
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

Fuente: Ing. Hugo Rondón Quintana

S_o toma **0.35** el valor del error normal combinado para el presente proyecto.

4.4. Módulo de rotura del concreto

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

Para calcular el módulo de rotura, el Instituto del Cemento Portland, propone utilizar la siguiente formula en función de la resistencia a la compresión del concreto.

$$MR = K\ x\ \sqrt{f'c}$$

Donde K = 0.7 si el agregado es redondeado, K = 0.8 si el agregado es triturado y la resistencia a la compresión (f'c) de 28 Mpa. Por lo tanto, el módulo de rotura es:

$$MR = 0.7\ x\ \sqrt{28}$$

$$\boldsymbol{MR = 3.8\ Mpa}$$

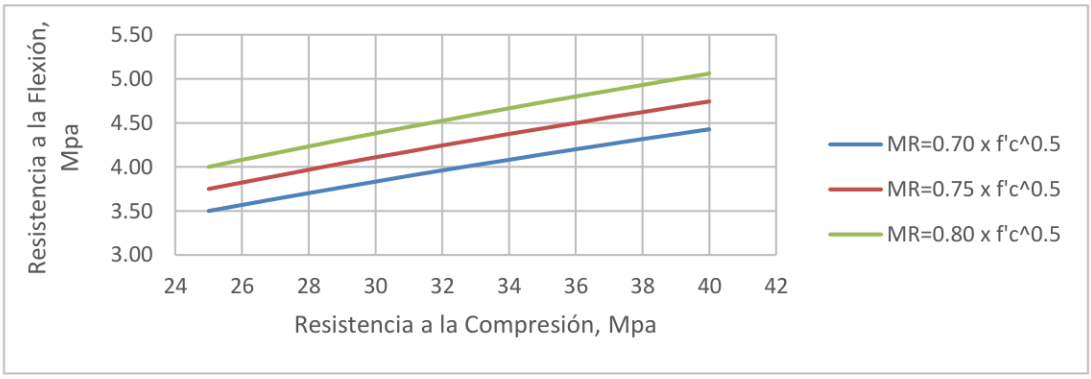
Tabla 7. Resistencia que debe alcanzar el concreto

Calidad del Concreto	Número de camiones por día			
	> 300	150 –300	25 – 150	< 25
A flexión (MPa)	4.5	4.2	4.0	3.8

Fuente: Tabla 3-1 manual de diseño de pavimentos en concreto hidráulico del INVIAS.

De acuerdo al estudio de tránsito el número de camiones por día es menor a 25
Para nuestro proyecto, según la tabla 6, recomienda tomar el valor de **MR = 3.8 Mpa**

Figura 3. Módulo de rotura



Fuente: ICPA

4.5. Módulo elástico del concreto

El Módulo de Elasticidad del concreto está íntimamente relacionado con su Módulo de Ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad. Se puede establecer con la siguiente formula:

$$E = 57000\ x\ \sqrt{f'c}$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad del concreto

f'c = Resistencia a la compresión

$$E = 57000\ x\ \sqrt{3000\ psi}$$

$$\boldsymbol{E = 3'122,019\ psi}$$

4.6. Módulo de reacción de la subrasante

Este factor da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (PCI).

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento. Las ecuaciones utilizadas para la determinación del valor de reacción de la subrasante son:

$$K = 2.55 + 52.5 \log(CBR)\,, \qquad para\ CBR\ \leq 10\%$$
$$K = 46 + 9.08\ [\log\ (CBR)]^{4.34} \qquad para\ CBR > 10\%$$

K=2.55+52.5Log (4.2) = **35.27 Mpa/m.**

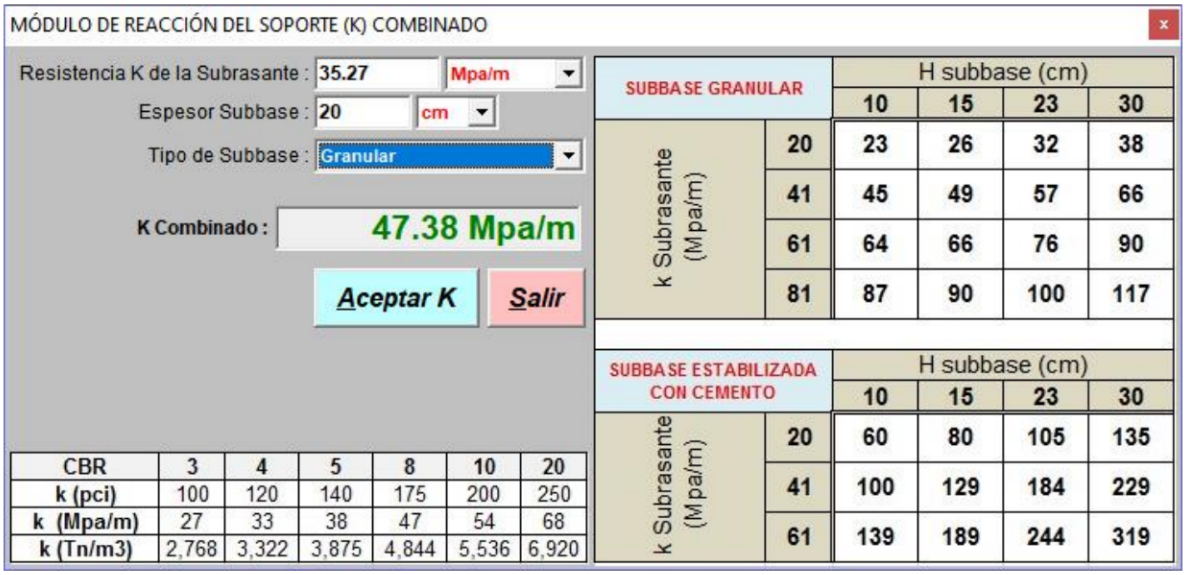
Considerando que la losa de concreto hidráulico se apoyará sobre una capa granular, se realiza el cálculo del módulo de reacción combinado de la subrasante. Se efectúa teniendo presente los valores consignados en la siguiente tabla:

Tabla 8. Valores de K cuando la losa se apoya sobre una capa granular

Valor de K para la subrasante		Valor de K para subbase combinada							
		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
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: Ing. Hugo Rondón Quintana

Figura 4. Cálculo del K Combinado



Fuente: Software BS-PcaA – Universidad del Cauca

Efectuado el cálculo de K con las ecuaciones anteriores mencionadas, se establece en la tabla anterior, el valor interpolado del módulo de reacción combinado de la subrasante, el cual es de **47.38 Mpa/m**. con la ayuda del software BS-PCA de la U del Cauca

4.7. Coeficiente de drenaje

Este parámetro de diseño hace referencia a la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próxima a la saturación. Este porcentaje de tiempo se calcula como la relación entre el número de días promedio que llueve en la zona donde se construirá la estructura de pavimento y los 365 días del año.

Tabla 9. Valores de Cd recomendado para pavimentos rígidos

TIEMPO PARA REMOCIÓN DEL AGUA	CALIDAD DE DRENAJE	<1%	1-5%	5-25%	>25%
2 HORAS	EXCELENTE	1.23	1.18	1.13	1.10
1 DÍA	BUENO	1.18	1.13	1.05	1.00
1 SEM.	ACEPTABLE	1.13	1.05	0.95	0.90
1 MES	POBRE	1.05	0.95	0.85	0.80
(EL AGUA NO DRENA)	MUY POBRRE	0.95	0.85	0.75	0.70

Fuente: AASTHO 93

Para el cálculo del coeficiente de drenaje se realizó un conteo de los días que llueve en la zona de influencia del proyecto; en ese orden de ideas y con el apoyo de la serie histórica de la Estación **CENTRO ALEGRE [25025190]** emplazada en el municipio de Planeta Rica y contemplada en la base del IDEAM, se realiza los cálculos pertinentes, obteniendo como resultado el promedio en la zona donde se considera construir el pavimento, el número de días de lluvias son alrededor de 98.

Suponiendo que la calidad del drenaje sea buena y que el porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento estará expuesta a grados de humedad próxima a saturación, se considera un coeficiente de drenaje de **1.0**

$$Tiempo = \frac{98}{365}\ x\ 100 = 26.85\%$$

4.8. Coeficiente de transferencia de carga (J)

Es un parámetro adimensional que tiene en cuenta la capacidad que una estructura de pavimento rígido pueda transferir o distribuir cargas en la zona más propensa a fallar (Juntas). Este parámetro adicionalmente tiene en cuenta el efecto que genera sobre las juntas y sobre la transferencia de carga el confinamiento lateral de las losas.

Tabla 10. Coeficiente de transferencia de carga

TIPO DE LOSA	CARACTERISTICA	J
Confinada	Con Dovelas	3.1
	Sin Dovelas	4.2
No confinada	Con Dovelas	3.2
	Sin Dovelas	4.4

Fuente: Ing. Hugo Rondón Quintana

Según la anterior tabla, se opta por **3.1** como valor del coeficiente de transferencia de carga.

4.9. Análisis por el Método AASTHO 93

Establecidos los parámetros de diseños propuestos anteriormente, se efectúa el análisis del método a través de la fórmula propuesta por la presente metodología, donde los resultados son los siguientes:

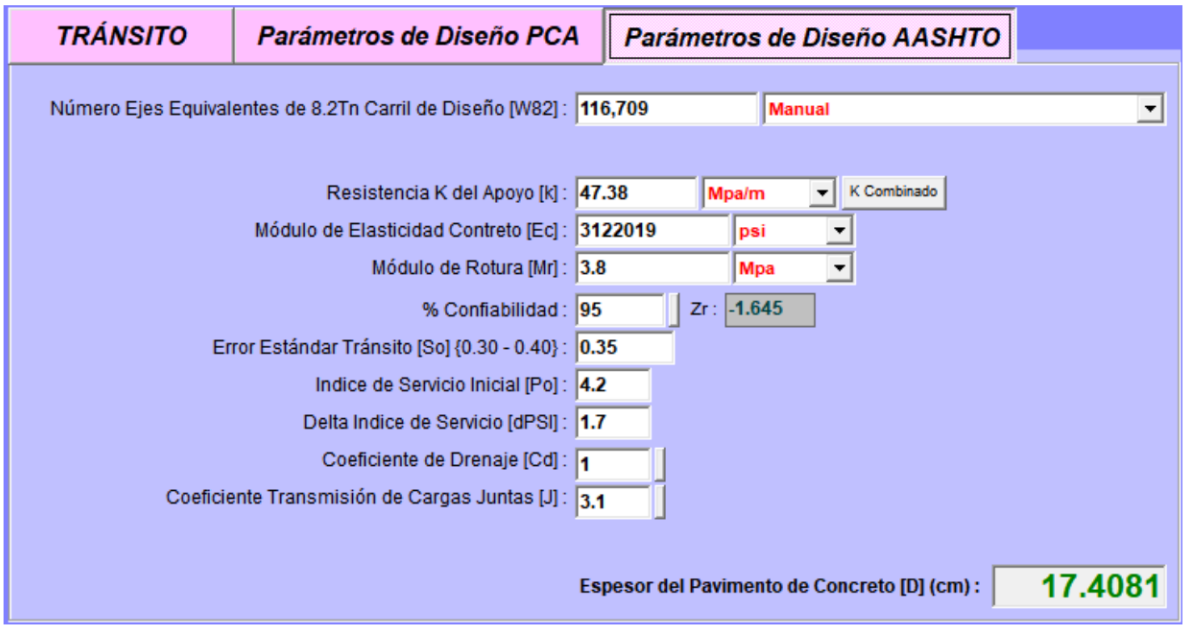
Tabla 11. Resumen de parámetros Método AASHTO 93

MÉTODO AASHTO	
Número de EE (**W82**)	116709
Resistencia K del apoyo (**K**) – Mpa/m	47.38
Módulo de elasticidad Concreto (**Ec**) - psi	3122019
Módulo de rotura (**Mr**) - Mpa	3.8
% Confiabilidad	95
Error estándar tránsito (**So**)	0.35
Índice de servicio inicial (**Po**)	4.2
Delta índice de servicio (**dPSI**)	1.7
Coeficiente de drenaje (**Cd**)	1.0
Coeficiente transmisión de cargas juntas (**J**)	3.1

Fuente: El Autor

Resolvemos la ecuación con la ayuda del software BS-PCA de la universidad del Cauca

Figura 5. Cálculo del espesor del pavimento – Método AASTHO 93

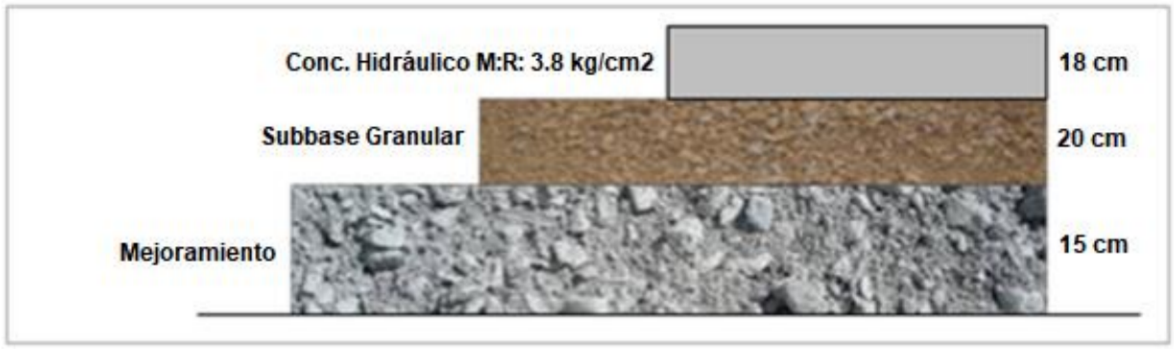


Fuente: El Autor

4.10. Análisis de los resultados

Un espesor de 17.4081 cm = 18 cm resiste 116709 ejes equivalentes de 8.2 Ton. en el carril de diseño y durante el periodo de diseño.

Figura 6. Sección Transversal de la estructura – Método AASTHO 93



Fuente: El Autor

Ahora se verificará mediante otro método si se cumple los espesores antes mencionados

5. METODO DE LA ASOCIACION DE CEMENTO PORTLAND (PCA)

En 1966 se publica la primera versión del método de la PCA, posteriormente modificada y siendo la versión actual la de 1984. En esta versión se ha estudiado la influencia de una serie de factores que no pudieron ser considerados de forma adecuada en la primera versión, tales como pavimentos con pasadores en las juntas, bases de concreto pobre, bermas de concreto, deterioro del pavimento debidos a la erosión de la base, vehículos pesados con ejes trídem, etc.

Un aspecto relevante que se destaca en la versión de 1984 es la introducción del criterio de erosión, el cual reconoce que un pavimento (especialmente si está sometido a un tránsito pesado) puede fallar por fenómenos de bombeo o "pumping", erosión de la base y escalonamiento de las juntas, antes que por fatiga debida a excesivas repeticiones de carga.

El método considera dos criterios de diseño:

- Fatiga: Con el fin de proteger los pavimentos de la acción de los esfuerzos producidos por las repeticiones de carga.

- Erosión: Con el fin de limitar en los bordes de la losa juntas y esquinas los efectos de la deflexión del pavimento, controlando de esta manera la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas. Es de suma importancia este criterio, pues algunas fallas de pavimento tales como bombeo, desnivel entre losas y deterioro de bermas, son independientes de la fatiga.

Los ejes triples (trídem) pueden ser más dañinos desde el punto de vista de la erosión, que desde el punto de vista de la fatiga.

5.1. Fórmulas empleadas para calcular el consumo de fatiga

Para el análisis de fatiga, se utilizó la siguiente formula recomendada por la PCA 84:

$$Log\ N_f = 11.737 - 12.077\left(\frac{\sigma}{S_c}\right) \qquad para\ \frac{\sigma}{S_c} \geqslant 0.55$$

$$N_f = \left(\frac{4.2577}{\frac{\sigma}{S_c} - 0.4325}\right)^{3.268} \qquad para\ 0.45 < \frac{\sigma}{S_c} < 0.55$$

$$N_f = Ilimitado \qquad para\ \frac{\sigma}{S_c} \leqslant 0.45$$

Donde

$N_f =$ Número de repeticiones

$\sigma =$ Esfuerzo de tensión aplicado

$S_c =$ Módulo de rotura del concreto

$\frac{\sigma}{S_c} =$ Relación de esfuerzo

5.2. Fórmulas empleadas para calcular el consumo de erosión

Una causa frecuente del deterioro de pavimentos de concreto es el bombeo, que consiste en la expulsión del material granular bajo la losa, generando pérdida de soporte la misma. La erosión ocurre debido a la acción combinada de la carga y la presencia de agua en el material de soporte, que genera la expulsión del material por las esquinas y juntas de las losas, generando vacíos que inducen escalonamiento y fisuración del pavimento.
Para el cálculo del consumo de erosión se utilizaron las siguientes formulas:

$$Log\ N = 14.524 - 6.777(C_1 P - 9.0)^{0.103}$$

$$P = 268.7\frac{p^2}{hk^{0.73}}$$

$$Porcentaje\ de\ daño\ por\ erosión = 100\sum_{i=1}^{m}\frac{c_2 n_i}{N_i}$$

Donde

$P =$ Relación de trabajo o potencia

$p =$ Presión en la interface losa - soporte en psi

$h =$ Espesor de la losa en pulgadas

$k =$ Módulo de reacción de la subrasante en pci

$C_1 =$ Factor de ajuste (1 subbase no tratada, 0.9 subbase tratada)

$C_2 =$ Factor de ajuste (0.06 sin berma de concreto, 0.94 con berma de concreto)

- **FACTORES DE DISEÑO**

- Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de rotura, MR)
- Resistencia de la subrasante o del conjunto subrasante – subbase (K)
- Los tipos, frecuencias y magnitudes de las cargas por eje esperadas.
- El período de diseño, usualmente tomado de 20 años.

5.3. Análisis por el Método de la PCA

Datos de entrada:

- CBR de diseño mejorado de 4.2%.
- MR: 3.8 Mpa
- K combinado: 47.38 Mpa/m
- Período de diseño: 20 años
- Juntas con pasadores: Si
- Bermas de concreto: No
- Factor de Seguridad Cargas - F.S: 1.0
- % Vehículos pesados: 38.94%

El análisis de fatiga y de erosión se efectuó en el programa 3G DIS PAV v1.5. En los anexos se puede detallar completamente:

5.3.1. Análisis de los resultados

Para un espesor de losa de concreto hidráulico de 18 cm, considerando un Módulo de Rotura (MR) de 3.8 MPa y un módulo de reacción combinado de la subrasante (k) de 47.38 MPa/m, se obtienen los siguientes niveles de deterioro estructural:

- **Índice de fatiga:** 21.69 %
- **Índice de erosión:** 7.27 %

Los resultados evidencian que los valores de daño acumulado por fatiga y erosión se encuentran ampliamente por debajo del límite máximo permisible del 100%, conforme a los criterios de diseño establecidos en metodologías reconocidas como AASHTO y INVÍAS.

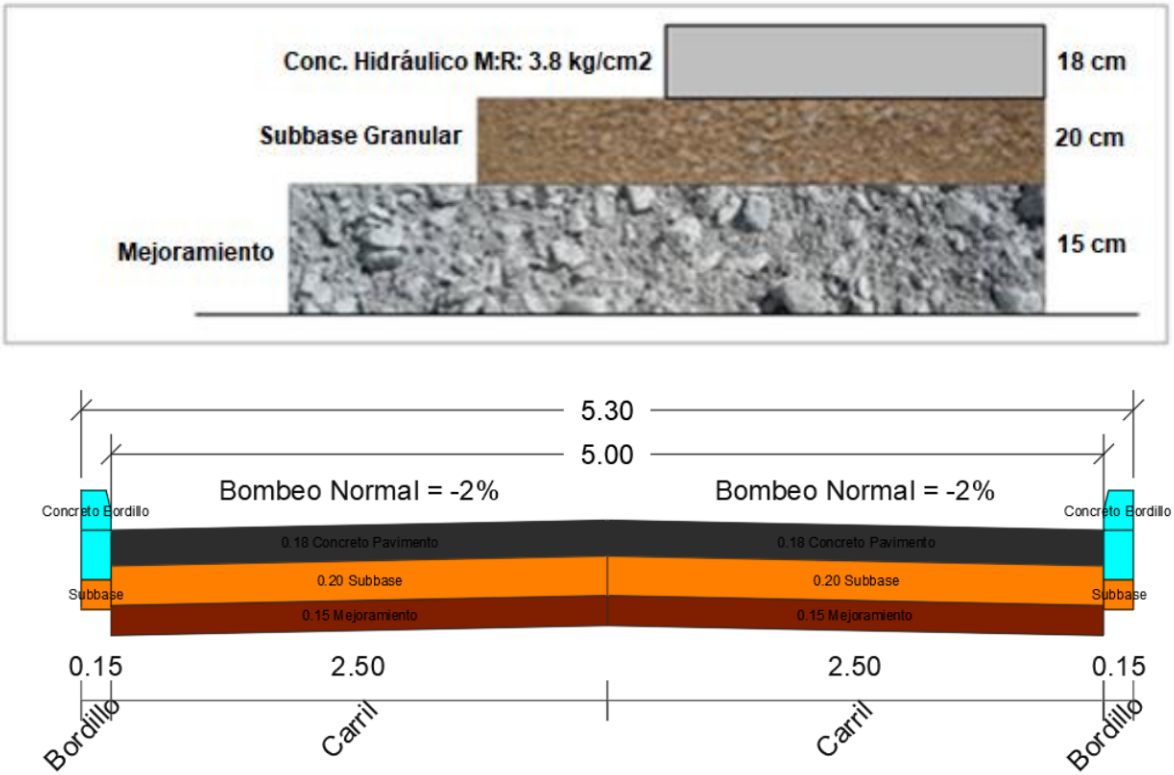
En este sentido, el espesor de losa adoptado de 18 cm no solo cumple con los requisitos estructurales, sino que además presenta un margen de seguridad adecuado frente a los

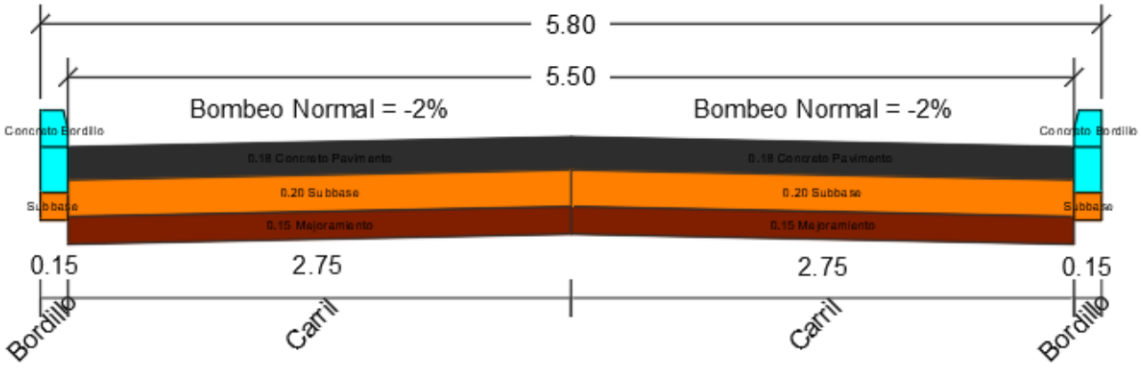
mecanismos de deterioro analizados, lo que garantiza un desempeño satisfactorio de la estructura durante el período de diseño.

Por lo anterior, se concluye que la alternativa propuesta es **técnicamente válida, estructuralmente suficiente y conforme a la normativa vigente**, no siendo necesario incrementar el espesor de la losa, dado que los indicadores de daño se encuentran dentro de rangos admisibles con holgura.

Por lo anterior, el espesor de losa escogido de 18 cm con la ayuda del análisis de sensibilidad se considera adecuado ya que los totales de fatiga y erosión no superan el 100%.

Figura 7. Sección Transversal de la estructura – Método PCA



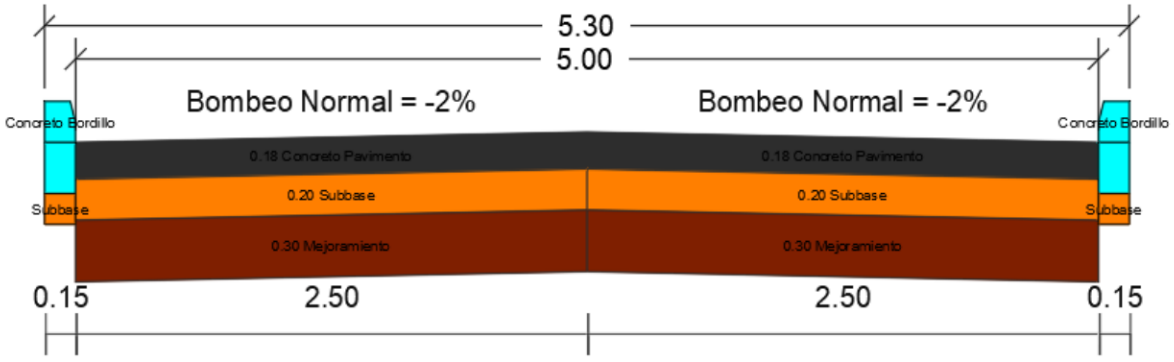


Fuente: El Autor

La sección transversal presentada en la figura 7 será la estructura definitiva para el proyecto.

Según el estudio de Suelos donde se realizaron los apiques Nº 3, 4 y 5 en este tramo se recomienda desde el puente existente hacia el Corregimiento de Centro Alegre hacer sobre excavación local de 0.30m y restitución con relleno Rajón de tamaño medio:

Figura 8. Sección Transversal de la estructura sitios puntuales



Fuente: El Autor

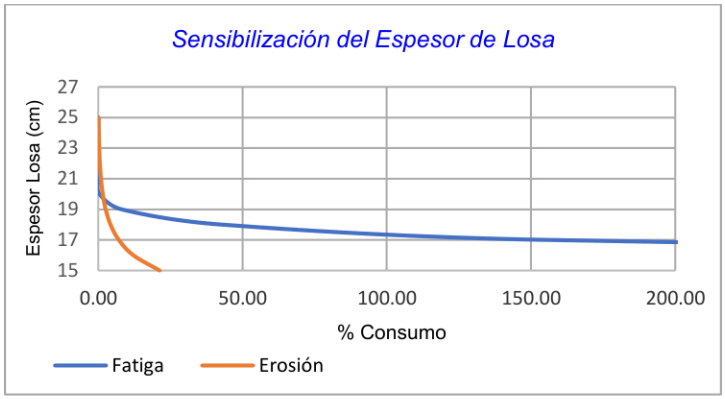
Tabla 12. Espesor del mejoramiento

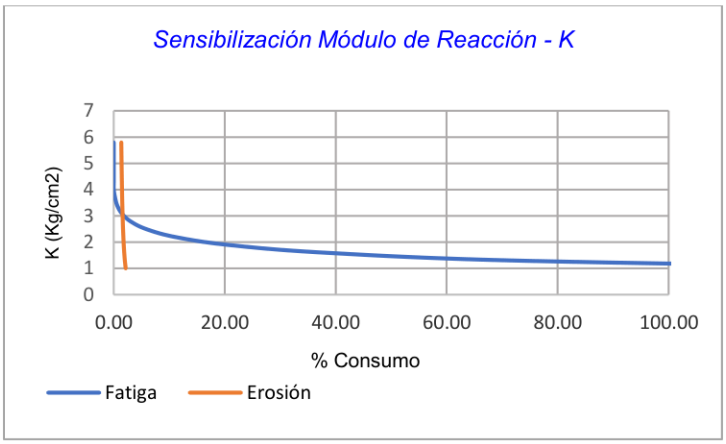
ESPESOR DE MEJORAMIENTO SEGÚN ESTUDIO DE SUELOS						
TRAMO No	TRAMO	ABSCISAS		LONGITUD m	ESPESOR SUBBASE (m)	ESPESOR MEJORAMIENTO (m)
	Nomenclatura	DESDE	HASTA			
1	Centro Alegre	K0+000	K0+062.058	**62.058**	**0.20**	**0.15**
2	Centro Alegre	K0+062.058	K0+128.487	**66.429**	**0.20**	**0.15**
3	Centro Alegre	K0+128.487	K0+197.713	**69.226**	**0.20**	**0.15**
4	Centro Alegre	K0+000	K0+124.000	**124.000**	**0.20**	**0.30**
		K0+124.000	K0+530.000	**406.000**	**0.20**	**0.15**
5	Centro Alegre	K0+000.000	K0+690.000	**690.000**	**0.20**	**0.15**
6	Nuevo paraiso	K0+090.000	K0+420.000	**330.000**	**0.20**	**0.15**
	TOTAL			**1747.713**	**m**	

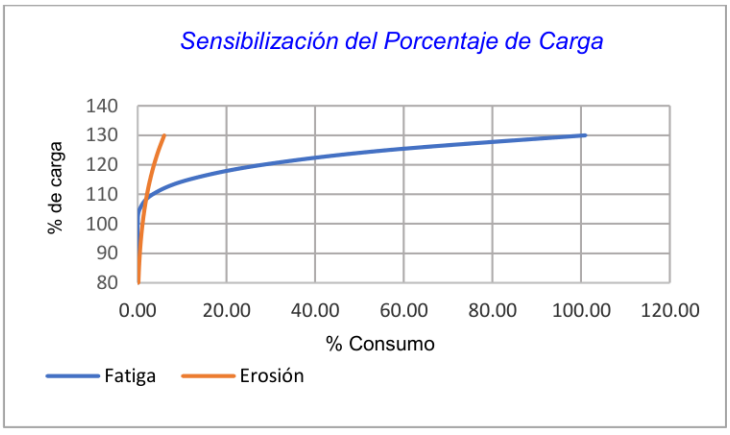
Fuente: Estudio de Suelos

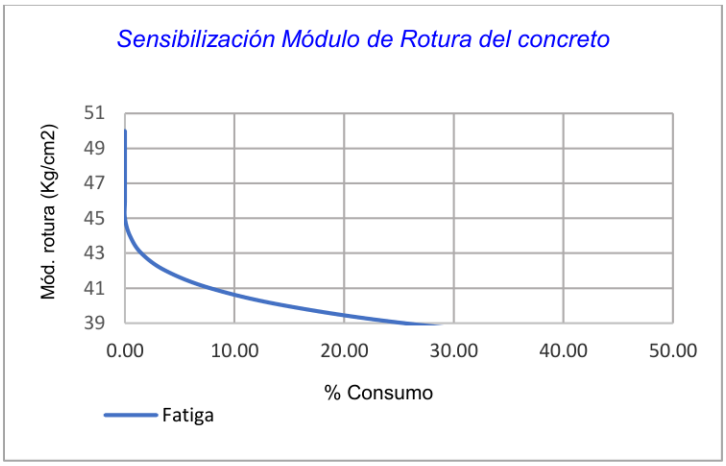
5.3.2. Análisis de sensibilidad

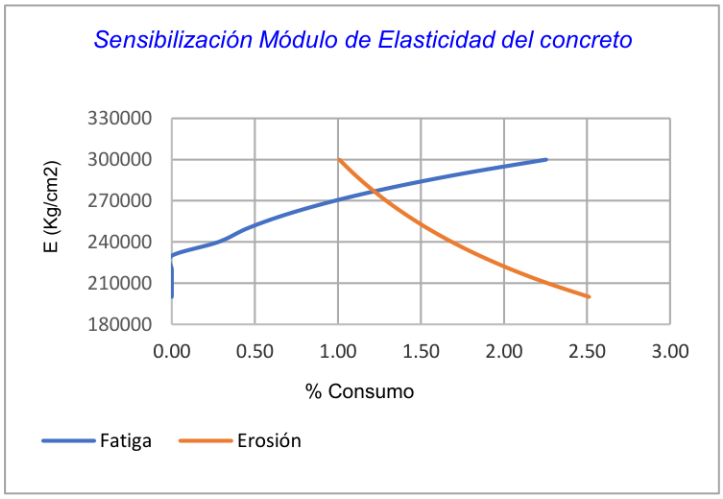
El análisis de sensibilidad se efectuó en el programa 3G DIS PAV v1.4.








Sensibilización Módulo de Rotura del concreto
Mód. rotura (Kg/cm2)
51
49
47
45
43
41
39
0.00
10.00
20.00
30.00
40.00
50.00
% Consumo
Fatiga


Sensibilización Módulo de Elasticidad del concreto
E (Kg/cm2)
330000
300000
270000
240000
210000
180000
0.00
0.50
1.00
1.50
2.00
2.50
3.00
% Consumo
Fatiga
Erosión

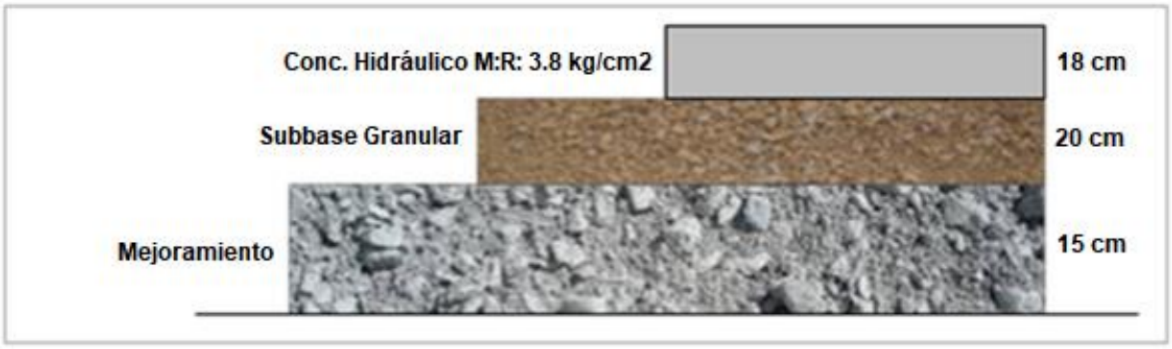
CONCLUSIONES

Un espesor de losa de concreto de 18 cm, una subbase granular de 20 cm y un mejoramiento de 15 cm y de 30 cm en sitios puntuales (tabla 12), garantiza un buen comportamiento en la estructura de pavimento durante su vida útil. La garantía se centra en que el consumo de fatiga y el consumo de erosión están por debajo del 100% calculado a través del método de la PCA (Asociación de Cemento Portland).

El cálculo de la estructura de pavimento proyectada se efectúa siguiendo los lineamientos propuestos por la norma AASTHO 93; esta metodología es confiable porque permite incluir el dimensionamiento del índice de serviciabilidad basado en la calificación inicial y final del pavimento; además, permite incluir un valor de desviación estándar normal referida al valor de la confiabilidad. En este sentido, se podría establecer que la metodología AASTHO 93 incluye un factor de seguridad.

Si se quisiera optimizar al máximo el diseño, se deberá escoger un espesor mínimo tal que los porcentajes de fatiga y erosión se acerquen a 100% sin sobrepasar este valor. Sin embargo, puede ser que el costo inicial sea muy bajo, pero podría presentarse constantes costos en mantenimiento, superando los costos de compensación.

Se concluye con la siguiente estructura:



RECOMENDACIONES

Durante la construcción del pavimento, se debe llevar a cabo un estricto control de calidad para asegurar que el concreto cumpla con las especificaciones de diseño, que las juntas se realicen correctamente, y que se sigan las prácticas constructivas adecuadas.

- **Respecto a la transferencia de carga por trabazón entre los agregados:**

  Interacción de corte entre partículas de agregados de las caras de la junta por debajo del aserrado primario.

  Es útil emplear este tipo de transferencia para vías de bajo tránsito pesado (80 a 120 VP/d). El grado de transferencia de carga se encuentra afectado por: espesor de losa, separación entre juntas (abertura de juntas), condiciones de drenaje, tipo de agregado (natural, triturado), agregados con TM > 25 mm., subbases rígidas y **condiciones de soporte en bordes.**

- **Respecto a la transferencia de carga mediante pasadores o dovelas**

  Se emplea cuando no es suficiente la transferencia de carga mediante trabazón de los agregados.

Tabla 13. Transferencia de carga

Tramo	Espesor de losa (mm)	Diámetro (in)	Longitud (mm)	Espaciamiento (mm)
U. diseño	160 - 180	7/8"	350	300

Fuente: ICPA 2012

- **Juntas longitudinales de Contracción**

  - Necesarias para controlar la fisuración longitudinal.
  - Se ejecutan (por aserrado) cuando se pavimentan 2 o más tramos simultáneamente.
  - La transferencia de carga se efectúa mediante trabazón entre agregados.

- Se recomienda ubicarlas junto a las líneas demarcatorias de división de carriles
- No colocar barras de unión a menos de 40 cm. de las juntas transversales.

Tabla 14. Barras de anclaje

Tramo	Espesor de losa (m)	Diámetro (in)	Longitud (m)	Espaciamiento (m)
U. diseño	0.20	1/2"	0.85	1.2

Fuente: ICPA 2012

- **Recomendaciones respecto al aserrado de juntas y colocación de pasadores**

- Pasadores o dovelas libres de óxido y con tratamiento antiadherente en toda su longitud. **No emplear grasa bajo ninguna circunstancia**.
- Pasadores perfectamente cortados, sin resaltos.
- Verificar una correcta densificación en zonas de inserción o canastos.
- El aserrado debe comenzar tan pronto como el hormigón permita ser cortado sin desprendimientos de agregados gruesos o roturas.
- El aserrado nunca debe ser demorado o interrumpido, más allá de la hora del día o la condición climática.
- La profundidad de aserrado: 1/4 del espesor de la subbase Granulares; 1/3 E Juntas Longitudinales.
- Contar con cantidad suficiente de aserradoras en el frente (mínimo 3) y una adicional para contingencias.
- La secuencia de corte corresponde exactamente con el mismo orden de aparición de las fisuras en el pavimento. Solo se efectúa en casos de contingencias efectuar cortes alternados.
- El corte de las juntas longitudinales se debe efectuar levemente retrasado del aserrado transversal.

- **Recomendaciones respecto a juntas transversales de contracción**

- Se efectúan al final de la jornada de trabajo o en interrupciones programadas (puentes, estructuras fijas, intersecciones) o por imposibilidad de continuar con la fundición del concreto.

- La transferencia de carga se efectúa a través del pasador

- **Recomendaciones respecto a juntas longitudinales de construcción**

- Se ejecutan cuando la calzada es construida por franjas.
- En caso de posibles ampliaciones de calzada, dejar los bordes con machimbre.
- No ejecutar el aserrado primario.
- Tener especial cuidado a las condiciones de terminación de los bordes.

- **Recomendaciones respecto a juntas de dilatación**

- Su ancho debe estar de 12 a 25 mm, ya que mayores dimensiones pueden ser causal de movimientos excesivos en las juntas cercanas (pérdida de trabazón entre agregados, rotura de sellos)
- La transferencia de carga se efectúa a través del pasador, sino debe realizarse sobre espesor de hormigón.
- En pavimentos sin pasadores las 3 o 4 juntas próximas a la de dilatación deben ejecutarse con pasadores.
- En intersecciones asimétricas o en forma de T no deben colocarse pasadores, con el fin de permitir movimientos horizontales diferenciales.
- Por razones constructivas y respetando los criterios de la literatura existente, se ha establecido una separación máxima ente juntas transversales según tabla 14. Para losas reforzadas: La relación longitud (L)/ancho (a): 1 < L/a < 1,4. Recomendable que L/a < 1,25 e idealmente que la losa sea cuadrada.

Tabla 15. Geometría juntas pavimento

GEOMÉTRIA TRAMO							
TRAMO No	TRAMO	ABSCISAS		LONGITUD m	ANCHO CALZADA m	GEOMETRIA LOSA	
	Nomenclatura	DESDE	HASTA			ANCHO m	LARGO m
1	Centro Alegre	K0+000	K0+062.058	**62.058**	**3.00**	**N.A.**	**N.A.**
2	Centro Alegre	K0+062.058	K0+128.487	**66.429**	**5.00**	**2.50**	**3.00**
3	Centro Alegre	K0+128.487	K0+197.713	**69.226**	**5.00**	**2.50**	**3.00**
4	Centro Alegre	K0+000	K0+530.000	**530.000**	**5.00**	**2.50**	**3.00**
5	Centro Alegre	K0+000	K0+690.000	**690.000**	**5.50**	**2.75**	**3.30**
6	Nuevo paraiso	K0+090	K0+420.000	**330.000**	**5.50**	**2.75**	**3.30**
	TOTAL			**1747.713**	**m**		

Fuente: ICPA 2012

- **Recomendaciones respecto a las características de la mezcla**

  - En la etapa de diseño se recomienda iniciar a diseñar con una resistencia a flexión a 28 días del orden de 3,8 MPa. No se recomienda dimensionar con concretos de elevada resistencia.
  - Evaluar las características de los agregados, o del hormigón elaborado con los mismos (Coeficiente de expansión térmica, Módulo de elasticidad, Módulo de rotura, etc.), previo a la elaboración del concreto.
  - Optimizar la distribución granulométrica de agregados para minimizar el contenido de agua y de cemento, En la etapa de dosificación
  - Realizar ensayos de limpieza al agregado grueso. Evitar el empleo de agregados con polvo adherido.
  - Emplear agregados saturados (relevante en agregados de elevada absorción y en clima caluroso).

- **Recomendaciones respecto a la Subbase**

  Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que pueda afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Los materiales utilizados en la sub-base se compondrán de roca, gravas y arenas, de tal forma que se obtenga una capa uniforme, libre de terrones, materia orgánica y cualquier otro material indeseable. Debe tener un límite líquido inferior a 40 % y un índice de plasticidad inferior a 6%. Además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se indican en la Tabla 16.

Tabla 16. Franja granulométrica del material de Subbase

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	SBG-1	SBG-2
50.0 mm	2"	100	-
37.5 mm	1 1/2"	70-95	100
25.0 mm	1"	60-90	75-95
12.5 mm	½"	45-75	55-85
9.50 mm	3/8"	40-70	45-75
4.75 mm	Nº 4	25-55	30-60
2.00 mm	Nº 10	15-40	20-45
425 µm	Nº 40	6-25	8-30
75 µm	Nº 200	2-15	2-15

Fuente: Invias

La relación Pasa N°200/ Pasa N° 40 debe ser igual o inferior a 2/3.

Además, deberá cumplir con los siguientes requerimientos: Desgaste en la máquina de los ángeles: máximo 50% Norma E 218 y E 219 Pérdida en el ensayo de Sanidad al sulfato de sodio: 12%. Norma E 220 Pérdida en el ensayo de Sanidad al sulfato de sodio: 18%. Norma E 220 Equivalente de arena:

- **Recomendaciones en el proceso de aserrado respecto a las condiciones climáticas**

  - Dentro de los posibles riesgos incidentes en la abertura del aserrado están: Brusca caída de temperatura o lluvia, altas temperaturas en días soleados, condiciones de baja humedad. Se recomienda Considerar la modificación del horario de pavimentación (altas temperaturas en días soleados).

- **Recomendaciones en losas irregulares**

  Se recomienda colocar una parrilla ½" @ 0.20 m en el tercio superior del espesor de la losa.

ANGEL DAVID ALVAREZ GENES
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN VIAS Y TRANSPORTE
MP 22202-196761 COR

BIBLIOGRAFIA

- RONDON QUINTANA, Hugo Alexander. Pavimentos: materiales, construcción y diseño. Ecoe Ediciones. Primera Edición. Bogotá 2015.

- Método de la Portland Cement Association – PCA 1984.

- Manual de pavimento de concreto rígido para altos, medios y bajos volúmenes de tránsito. INVIAS

- YANG H. Huang. Pavement Analysis and Design. Segunda edición. Editorial Pearson. Prentice Hall. Páginas 545 – 568.

- Instituto Mexicano del cemento y del concreto – Imcyc 2006

- Especificaciones del Instituto Nacional de Vías – INVIAS 2012

ANEXOS

ANEXO #1

CÁLCULO MÉTODO PCA 84

PLANETA RICA – CÓRDOBA

ENERO 2026

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ÁNGEL DAVID ÁLVAREZ GENES**, identificado con la cédula de ciudadanía No. 10.951.797 de Planeta Rica - Córdoba Ingeniero Civil con Matrícula Profesional No. 22202196761COR del Consejo Profesional Nacional de Ingeniería.

CERTIFICO:

Que realicé el **DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO** del proyecto **CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO RÍGIDO EN EL CORREGIMIENTO CENTRO ALEGRE, VEREDA SANTANA Y NUEVO PARAÍSO, EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE PLANETA RICA, CÓRDOBA.** Declaro que todos los Cálculos están hechos cumpliendo los requisitos técnicos vigentes, establecidos en la normatividad colombiana, por lo que soy responsable de los mismos.

Aclaro que me responsabilizo por los Cálculos del **DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**, siempre y cuando en la Construcción se sigan textual y cabalmente las Directrices Técnicas hechas por el Suscrito.

Atentamente,

ÁNGEL DAVID ÁLVAREZ GENES
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN VÍAS Y TRANSPORTE
MP 22202196761 COR


REPÚBLICA DE COLOMBIA
IDENTIFICACIÓN PERSONAL
CÉDULA DE CIUDADANÍA
NÚMERO 10.951.797
ALVAREZ GENES
APELLIDOS
ANGEL DAVID
NOMBRES
FIRMA


INDICE DERECHO
FECHA DE NACIMIENTO 08-ENE-1983
PLANETA RICA
(CORDOBA)
LUGAR DE NACIMIENTO
1.65
ESTATURA
A+
G.S. RH
M
SEXO
19-ENE-2001 PLANETA RICA
FECHA Y LUGAR DE EXPEDICIÓN
REGISTRADOR NACIONAL
JUAN CARLOS GALINDO VÁCHA
A-1302800-00850210-M-0010951797-20160919
0051322846A 1
7684013040

REPUBLICA DE COLOMBIA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIA

COPNIA



MATRICULA PROFESIONAL No.

22202196761COR

INGENIERO CIVIL

DE FECHA 16/12/2010

ANGEL DAVID

ALVAREZ GENES

C.C. 10951797

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

BOLIVARIANA SECC MONTERIA

PRESIDENTE DEL CONSEJO

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería
COPNIACOPNIACOPNIACO