



# DISEÑO ESTRUCTURA PAVIMENTO

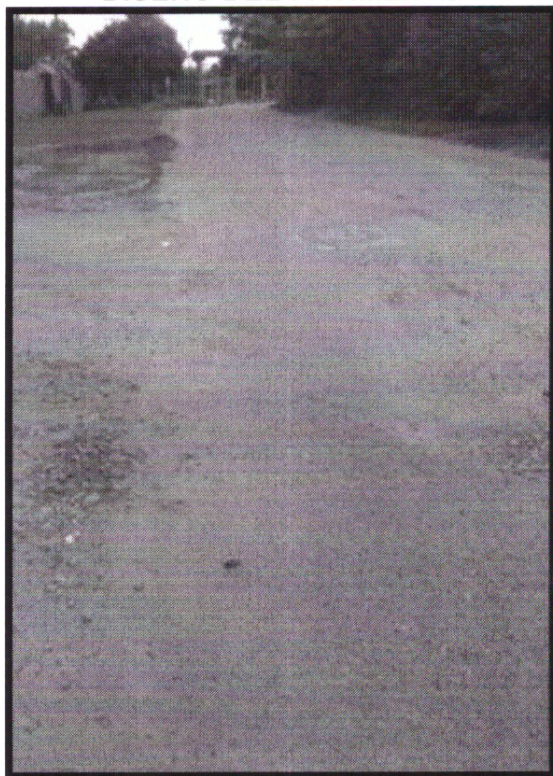
**“CONSTRUCCIÓN Y PAVIMENTACIÓN DE LA CALLE 17 ENTRE LA VÍA NACIONAL Y LA VILLA OLÍMPICA DEL MUNICIPIO DE SAN MARTIN – META”**



**ALCALDIA SAN MARTIN DE LOS LLANOS**  
**META**  
**2018**



### DISEÑO DEL PAVIMENTO



**PROYECTO: CONSTRUCCIÓN Y PAVIMENTACIÓN DE LA CALLE 17  
ENTRE LA VÍA NACIONAL Y LA VILLA OLÍMPICA DEL MUNICIPIO DE SAN  
MARTIN, META**

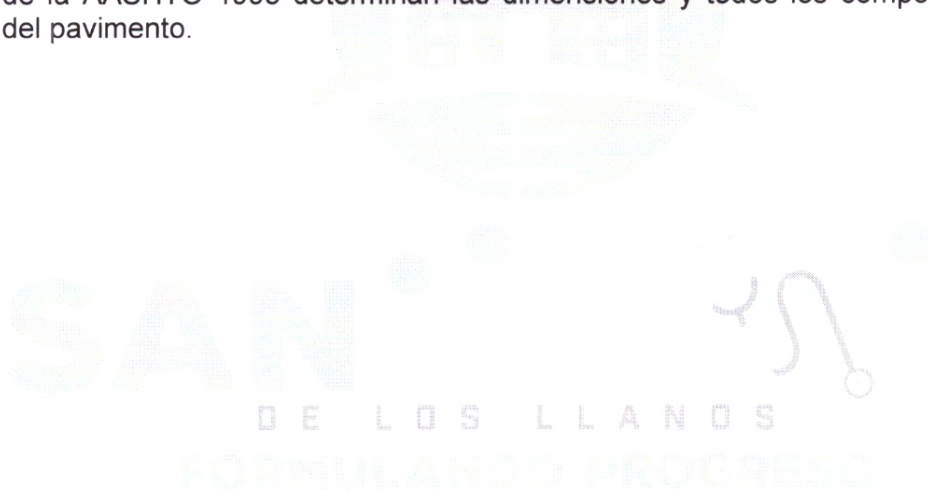
**SAN MARTÍN DE LOS LLANOS,  
DEPARTAMENTO DEL META  
JUNIO 2017**



## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se reportan los resultados obtenidos del diseño de pavimento rígido para el proyecto de vías de bajo tránsito. En este se incluyen los parámetros de diseño y procesamiento de la información correspondiente TPDs típico del INVIAS, insumos necesarios para dicho diseño.

El diseño de pavimento debe tener en cuenta factores como la calidad del suelo de apoyo de la estructura y posibles mejoras al mismo (estos componentes se determinarán en estudios de suelos realizados con anterioridad en las vías en estudio), el estudio de tránsito se realiza con la finalidad de conocer las condiciones actuales de operación y demanda de tráfico, para lo cual se hace necesaria la toma de información de campo mediante aforos vehiculares. Con esta información se realizarán proyecciones de tránsito de acuerdo al método de diseño de pavimento rígido de la AASHTO 1993 determinan las dimensiones y todos los componentes del pavimento.







## 2. CONDICIONES A CUMPLIR PARA IMPLEMENTAR EL PROYECTO

Para el presente ejercicio se determinó como alternativa de solución la construcción de una vía urbana nueva con pavimento rígido de una longitud de 451.65 m con un ancho de 7.0 m con dos carriles (vía bidireccional) y estará confinada con sardineles en ambos extremos.

Para la implementación del proyecto se deberán cumplir con los criterios que se presentan a continuación.

Tabla 1: Datos de entrada para el diseño

CRITERIOS	INDICADOR	VALOR
Periodo de diseño	Años	20
Tránsito	Número de vehículos comerciales	2'000.664
	Distribuciones de camiones respecto a TPDs <sup>1</sup>	C-2P=35%
		C-2G=26%
		C3-C4=13%
		C5=22%
Suelo		>C5=4%
	CBR subrasante (%)	8.62
	Módulo de reacción de la subrasante (Kg/cm <sup>3</sup> )	5.07
	Módulo de reacción	46

<sup>1</sup> INVIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. Ministerio de transporte. Instituto nacional de vías. Subdirección de apoyo técnico. Abril de 2007. Pág. 9.



MUNICIPIO DE SAN MARTIN DE LOS LLANOS  
ALCALDÍA MUNICIPAL  
SECRETARIA DE DESPACHO – OBRAS PÚBLICAS



	del conjunto subrasante-subbase (psi/si)	
Zona	Urbana	
Características de la vía	Ancho de la vía (m)	7.0
	Pendiente de bombeo (%)	2
Características del concreto	Módulo de rotura (psi)	589
Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral	Dovelas	SI
	Bermas	NO

Fuente: Elaboración propia.

SAN MARTIN  
DE LOS LLANOS  
FORMULANDO PROGRESO

Carrera 5 Nro. 4 - 75, Barrio Fundadores.  
[www.sanmartin-meta.gov.co](http://www.sanmartin-meta.gov.co)  
E-mail: [obraspublicas@sanmartin-meta.gov.co](mailto:obraspublicas@sanmartin-meta.gov.co)  
Tel: 57 (8) 648 77 97 Ext: 121  
Celular: 311 592 26 70





### 3. CRITERIOS DE DISEÑO

Los estudios y diseños para identificar si cumple con los criterios mencionados en la son:

- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se deberá realizar el levantamiento topográfico para la localización y determinación de la pendiente de la vía. Consiste en determinar la localización general, ubicar el tramo de vía para la intervención, determinar la pendiente longitudinal y dimensionamiento de las áreas de intervención.

- ESTUDIO DE TRÁNSITO

Se debe realizar el estudio de tránsito el cual influye de manera directa en el diseño de las estructuras de pavimento. El número y el peso de los ejes que pasan en el período de diseño imponen el daño a la estructura.

En este sentido es necesario determinar los siguientes parámetros:

Tránsito Promedio Diario Semanal

El TPD se determina contabilizando, durante un periodo de tiempo determinado, todos los vehículos que pasan por una sección de la vía (todos los carriles y ambas direcciones).

El periodo más utilizado es el TPDs en cuyo caso se refiere a que el conteo se hizo durante una semana.

Número de repeticiones

Para diseñar con el método AASHTO 1993 es necesario determinar el número de repeticiones para cada uno de los ejes de diseño (ejes simples, tándem y tridem de diferente magnitud de carga, esperados durante el periodo de diseño).

Los parámetros de diseño en este método son los siguientes:

Tipo de juntas y berma.

Carrera 5 Nro. 4 - 75, Barrio Fundadores.

[www.sanmartin-meta.gov.co](http://www.sanmartin-meta.gov.co)

E-mail: [obraspublicas@sanmartin-meta.gov.co](mailto:obraspublicas@sanmartin-meta.gov.co)

Tel: 57 (8) 648 77 97 Ext: 121

Celular: 311 592 26 70



Resistencia a la flexión del concreto a los 28 días.

Valor k de la subrasante o del conjunto subrasante subbase.

Distribución de cargas por eje.

Número esperado de repeticiones de las diversas cargas por eje en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

- SUELO

A continuación, se detallan los ensayos que se deben realizar para identificar las características de resistencia del suelo de la subrasante y establecer si cumple con los criterios establecidos en las especificaciones técnicas.

#### Ensayo de CBR

Para determinar la resistencia de los suelos, se debe realizar la prueba de CBR (California Bearing Ratio) o valor relativo de soporte, desarrollado por la División de Carreteras de California. La prueba del CBR es un ensayo normalizado (Norma INV-E 148-13).

Para subrasantes con CBR menores que 5, el especialista en suelos recomendará tratamientos especiales como la sustitución de los materiales inadecuados (remoción parcial o total del material inaceptable) o la modificación de sus características con base en mejoramientos mecánicos que doten a la subrasante de mejores características mecánicas.

El CBR se puede utilizar para encontrar el valor de módulo de reacción de la subrasante mediante correlación por medio de las siguientes ecuaciones (para CBR menores de 10%)<sup>2</sup>:

$$Mr\left(\frac{N}{m^2}\right) = 10^7 * CBR$$

$$Mr_{(MPa)} = 10 * CBR$$

<sup>2</sup> CARLOS HERNANDO HIGUERA SANDOVAL. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras – Volumen 2. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de ingeniería. Escuela de transporte y vías. 2015. Pág. 12.





#### 4. DISEÑO DE PAVIMENTO

En este capítulo se describen los factores a considerar en el diseño de pavimentos rígidos en vías del casco urbano de los diferentes Municipios.

- Metodología de diseño

Para el diseño de la estructura se plantea la metodología de la AASHTO 1993 para pavimentos rígidos con la cual se define el espesor de la losa de concreto y de la subbase tomando información sobre el tipo y cantidad de vehículos que circulan por la vía detallando las cargas de cada uno, la capacidad de soporte de la subrasante, la calidad de los materiales a utilizar y la opción de utilización de otros componentes como sistema de transferencia de carga y una capa de subbase granular.

Mediante este método se controlan dos criterios de diseño: el responsable de controlar el agrietamiento de la losa (fatiga), y el responsable de controlar el desgaste del suelo de soporte (erosión), el espesor de la losa seleccionado se considera inadecuado si el alguno de los valores calculados supera el 100%. La evaluación de las estructuras analizadas se realizó mediante el software AASHTO 1993. Cada uno de los componentes del diseño se especifican en los siguientes numerales.

- Período de diseño

Para pavimentos rígidos el periodo de diseño que se usa comúnmente es de 20 años que puede variar primordialmente por justificaciones económicas.

- Módulo de rotura del concreto

Los demás datos para correr el software se mencionan en la siguiente imagen:



Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento

☐ Pavimento flexible
☒ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)

95 %  $Z_r = -1.645$

So 0.35

Serviciabilidad inicial y final

PSI inicial 4.5

PSI final 2

Módulo de reacción de la subrasante

k 48 pci

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi) 2975026

Coeficiente de transmisión de carga - (J) 2.8

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi) 609

Coeficiente de drenaje - (Cd) 1

Tipo de Análisis

☒ Calcular D

W18 = 2000664

☐ Calcular W18

Espesor de losa (plg)

D = 7.9

Elaboración: propia

Para una losa de 20 cm de espesor, según las recomendaciones presentadas en la tabla 2, se seleccionan las siguientes características para los pasadores:

Tabla 2. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga.

Espesor del Pavimento, (mm)	Diámetro del Pasador		Longitud total, (mm)	Separación entre centros, (mm)
	mm	Pulgadas		
0 – 100	13	$\frac{1}{2}$	250	300
110 – 130	16	$\frac{5}{8}$	300	300
140 – 150	19	$\frac{3}{4}$	350	300
160 – 180	22	$\frac{7}{8}$	350	300
190 – 200	25	1	350	300
210 – 230	29	$1 \frac{1}{8}$	400	300
240 – 250	32	$1 \frac{1}{4}$	450	300
260 – 280	35	$1 \frac{3}{8}$	450	300
290 – 300	38	$1 \frac{1}{2}$	500	300

Fuente: MINISTERIO DE TRANSPORTE – ICPC. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá D.C., 2008. p. 96.

Diámetro del pasador,  $\phi = 25\text{mm}$  (1").





Longitud del pasador = 0.35 m.

Separación entre centros = 0.30 m.

Barras de anclaje

Para una losa de 0.2 m de espesor, según las recomendaciones presentadas en la tabla 3, se seleccionan las siguientes características para las barras de anclaje:

Tabla 3. Recomendación para las barras de anclaje.

Espesor de la losa, cm	Barras de $\phi$ 9.5 mm (3/8")				Barras de $\phi$ 12.7 mm (1/2")				Barras de $\phi$ 15.9 mm (5/8")			
	Longitud, mm	Separación entre barras, mm			Longitud, mm	Separación entre barras, mm			Longitud, mm	Separación entre barras, mm		
		Carril de 3.05 m	Carril de 3.35 m	Carril de 3.65 m		Carril de 3.05 m	Carril de 3.35 m	Carril de 3.65 m		Carril de 3.05 m	Carril de 3.35 m	Carril de 3.65 m
Acero de $f_y = 1,875 \text{ kg/cm}^2$ (40,000 lb/pulg <sup>2</sup> )												
15.0	450	0.80	0.75	0.65	600	1.20	1.20	1.20	700	1.20	1.20	1.20
17.5		0.70	0.60	0.55		1.20	1.10	1.00		1.20	1.20	1.20
20.0		0.60	0.55	0.50		1.05	1.00	0.90		1.20	1.20	1.20
22.5		0.55	0.50	0.45		0.95	0.85	0.80		1.20	1.20	1.20
25.0		0.45	0.45	0.40		0.85	0.80	0.70		1.20	1.20	1.10
Acero de $f_y = 2,800 \text{ kg/cm}^2$ (60,000 lb/pulg <sup>2</sup> )												
15.0	650	1.20	1.10	1.00	850	1.20	1.20	1.20	1000	1.20	1.20	1.20
17.5		1.05	0.95	0.85		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
20.0		0.90	0.80	0.75		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
22.5		0.80	0.75	0.65		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
25.0		0.70	0.65	0.60		1.20	1.15	1.10		1.20	1.20	1.20

Fuente: MINISTERIO DE TRANSPORTE – ICPC. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá D.C., 2008. p. 95.

Diámetro de la barra,  $\phi = 12.7 \text{ mm}$  (1/2").

Ancho del carril = 3.50 m.

Acero de  $f_y = 280 \text{ MPa}$  (60,000 lb/pulg<sup>2</sup>).

Longitud de la barra = 0.85 m.

Separación entre centros = 1.20 m.

Modelo estructural de la losa de concreto y detalles constructivos

Carrera 5 Nro. 4 - 75, Barrio Fundadores.

[www.sanmartin-meta.gov.co](http://www.sanmartin-meta.gov.co)

E-mail: obraspublicas@sanmartin-meta.gov.co

Tel: 57 (8) 648 77 97 Ext: 121

Celular: 311 592 26 70

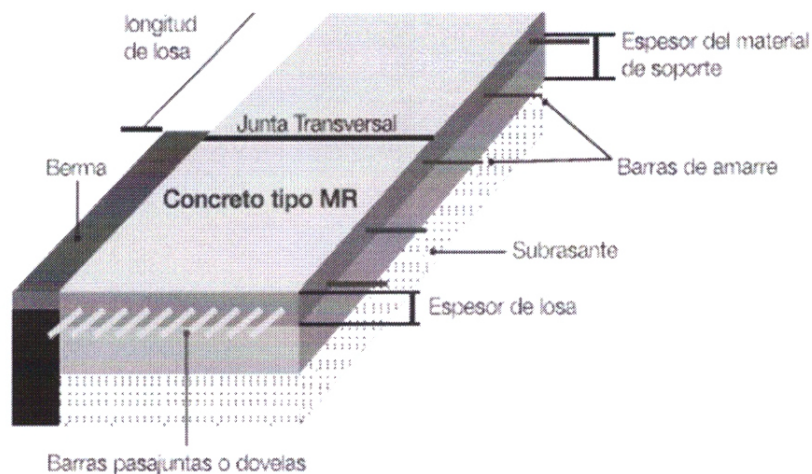






A continuación, se muestra el modelo estructural de la losa diseñada por el método de la AASHTO 1993 y los detalles constructivos.

Figura 1. Modelo estructural de la losa de concreto diseñada.



Fuente: Manual de diseño de pavimento rígido Ministerio de Transporte.

Finalmente, y para cumplir con la relación de esbeltez (RE), se procede a calcular la longitud de la losa por medio de las dos ecuaciones que son:

$$\text{Largo} = 25D$$

$$\text{Largo} = 1.25 \times \text{ancho de carril}$$

De donde se define lo siguiente:

$$\text{Largo1} = 500\text{mm o } 5 \text{ m.}$$

$$\text{Largo2} = 4.375 \text{ m}$$

Ahora bien:

$$RE = \frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}} < 1.25$$

De donde,

$$RE = \frac{4.3\text{m}}{3.5\text{m}} 1.23 < 1.25$$

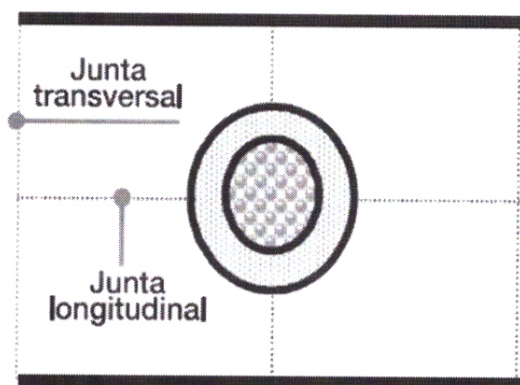


Con base en lo anterior, se define que la longitud de la losa será de 4.3 metros y el ancho de la misma de 3.5 m ya que cumplen con la relación de esbeltez.

### CASOS ESPECIALES

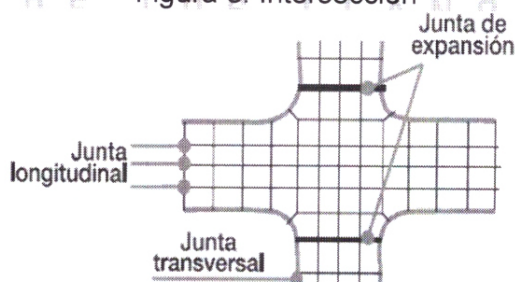
Dado que el tramo de vía del proyecto contempla sumideros, tiene cruce de intersecciones viales y también cajas de inspección, se deben tomar las siguientes acciones a la hora de fundir en estos puntos:

Figura 2. Pozo de inspección

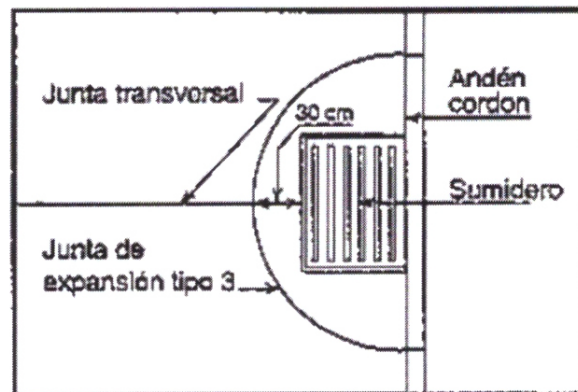


Fuente: Manual de diseño de pavimento rígido Ministerio de Transporte.

Figura 3. Intersección



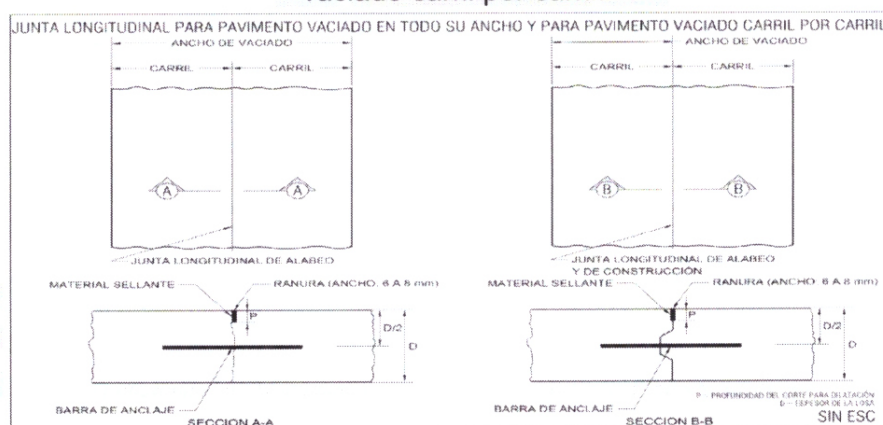
Fuente: Manual de diseño de pavimento rígido Ministerio de Transporte.



Fuente: Santander Restrepo, Norman y otros. ICPC. Medellín, 1982 p.109.

### PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS JUNTAS

Figura 5. Junta longitudinal para pavimento vaciado en todo su ancho y vaciado carril por carril.

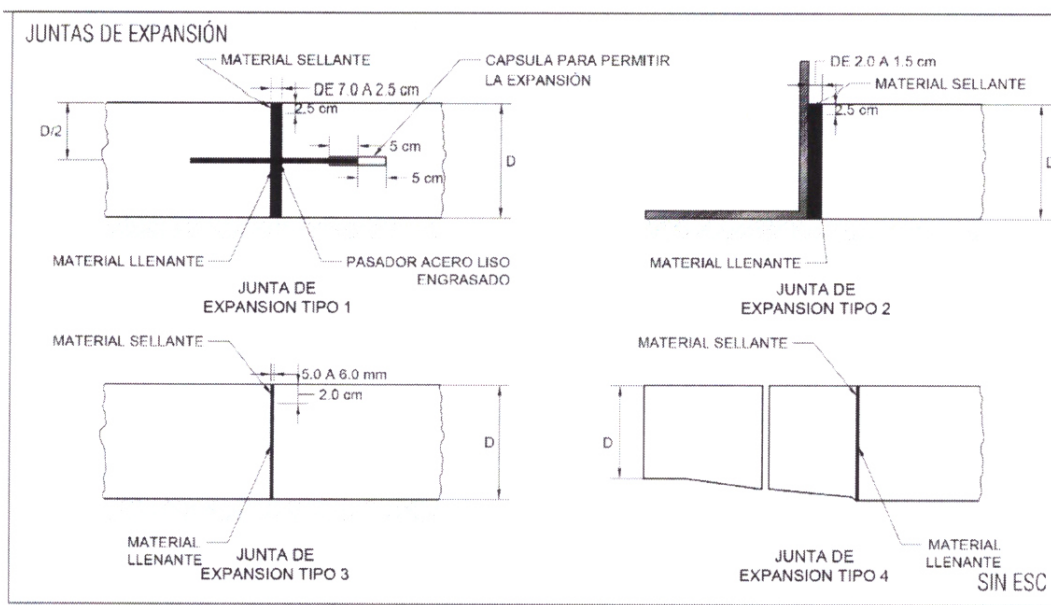


Fuente: CARLOS HERNANDO HIGUERA SANDOVAL. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras – Volumen





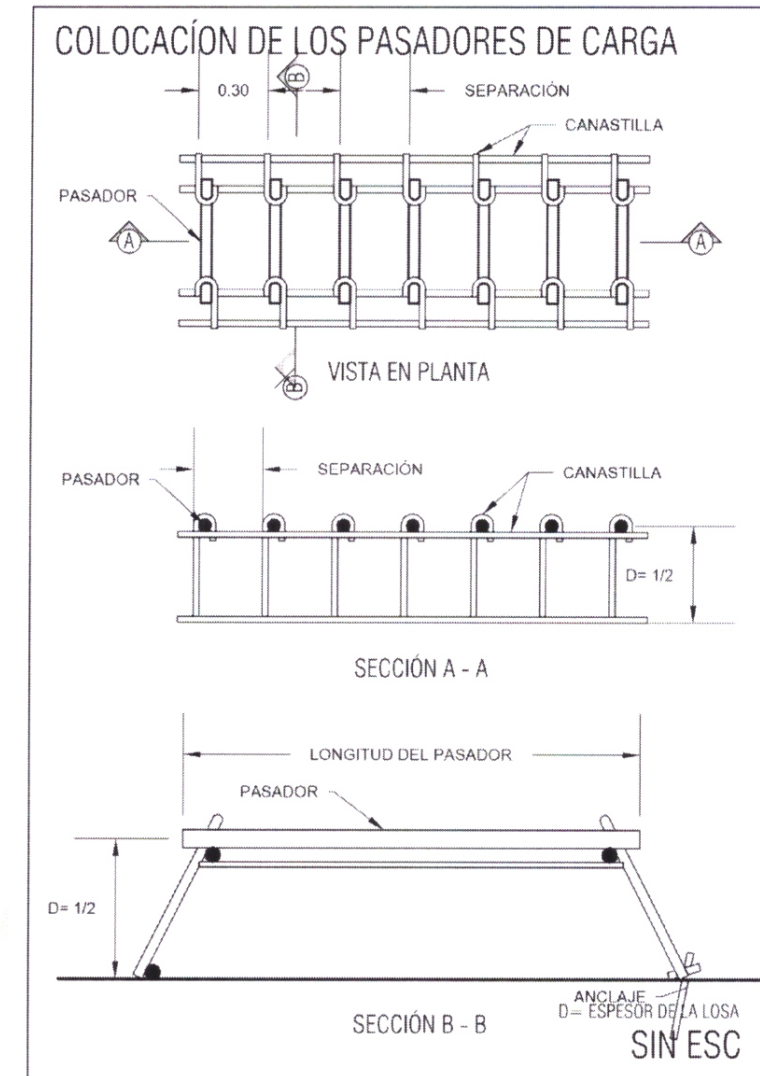
Figura 6. Juntas de expansión



Fuente: CARLOS HERNANDO HIGUERA SANDOVAL. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras – Volumen



Figura 7. Colocación de los pasadores de carga



Fuente: CARLOS HERNANDO HIGUERA SANDOVAL. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras – Volumen



## 5. ALTERNATIVA PROPUESTA

A continuación, se presenta la alternativa propuesta para el proyecto de construcción de la vía urbana con pavimento rígido.

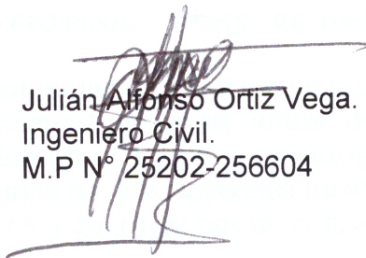
Detalles de un tramo de pavimento de 451.65 m	El ancho de la vía será de máximo 7.0 m entre los sardineles, tendrá pendientes de bombeo del 2% y una pendiente longitudinal de 0.3%.
	La placa de concreto hidráulico tiene 20 cm de espesor con una resistencia a la compresión de 28 MPa con juntas transversales cada 4.3 m y una junta longitudinal en el centro de la calzada.
	Se tendrá una capa de subbase granular de 20 cm de espesor cumpliendo con todas las características exigidas por el INVIAS.
	Tendrá pasadores entre las juntas de 1" de diámetro con una longitud de 35 cm, separados entre sí 30 cm.
	Las juntas longitudinales tendrán barras de anclaje de diámetro ½" con una longitud de 85 cm separados entre sí cada 1.20 m Acero de $f_y=280$ MPa
	El concreto debe tener un módulo de rotura mínimo de 4.2 MPa y deberá cumplir con las condiciones establecidas por el INVIAS



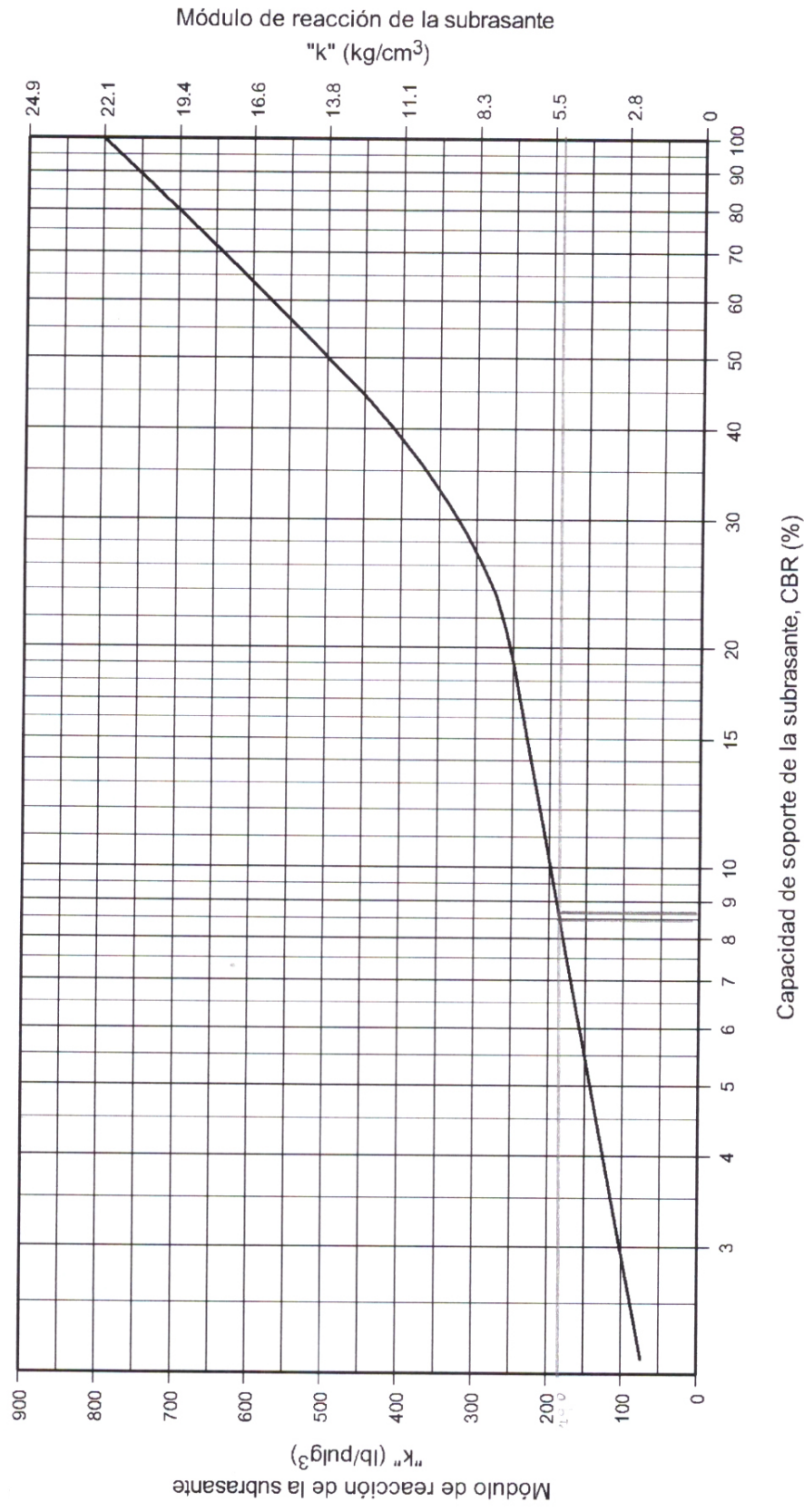


## 6. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

- El Coeficiente efectivo de la combinación subrasante y subbase granular fue de 48 pci, con este y con las variables de pérdida de serviciabilidad, módulo de elasticidad del concreto, módulo de rotura del concreto, coeficiente de transmisión de carga, coeficiente de drenaje, los datos estadísticos básicos y el Ndis se llegó al resultado numérico de 20 centímetros de espesor para la losa de concreto.
- Dado que el %CBR es de 8.62 y en vista de que no hay ningún estrato rocoso cerca de la superficie y recomendando un tipo de subbase granular clase B, según artículo 320-13 del INVIAS (módulo resiliente 104 MPa) se puede establecer un espesor de la subbase de 200 mm, con esto se llega al hecho de que el espesor de la losa de concreto será de 0,2 metros, logrando así, obtener el paquete estructural del pavimento.
- Conservar las dimensiones (ancho, largo y profundidad) establecidas dado que cualquier variación de estos valores podrá causar daños irreversibles en la estructura del pavimento a mediano o corto plazo.
- Seguir todas las recomendaciones propuestas en el documento para garantizar la correcta funcionalidad de la estructura del pavimento.

  
Julián Alfonso Ortiz Vega.  
Ingeniero Civil.  
M.P N° 25202-256604

**RELACIÓN ENTRE EL CBR Y EL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE, K**



Fuente: Portland Cement Association. Concrete pavement design. 1951.

Para CBR < 10%,  $K(\text{Kg/cm}^3) = 0.25 + 5.15 \cdot \text{Log}(\text{CBR}\%)$ ,  $K(\text{Lb/pulg}^3) = 36.05 \cdot K(\text{Kg/cm}^3)$ ,  $K(\text{Kg/cm}^3) = 0.02768 \cdot (\text{Lb/pulg}^3)$

Para CBR ≥ 10%,  $K(\text{Kg/cm}^3) = 4.51 + 0.89[\text{Log}(\text{CBR}\%)]^{4.34}$ ,  $K(\text{MPa/m}) = 46 + 9.08[\text{Log}(\text{CBR}\%)]^{4.34}$

Ing: Carlos Hernando Higuera Sandoval MSc.



### 8. Factor de pérdida de soporte, $L_s$

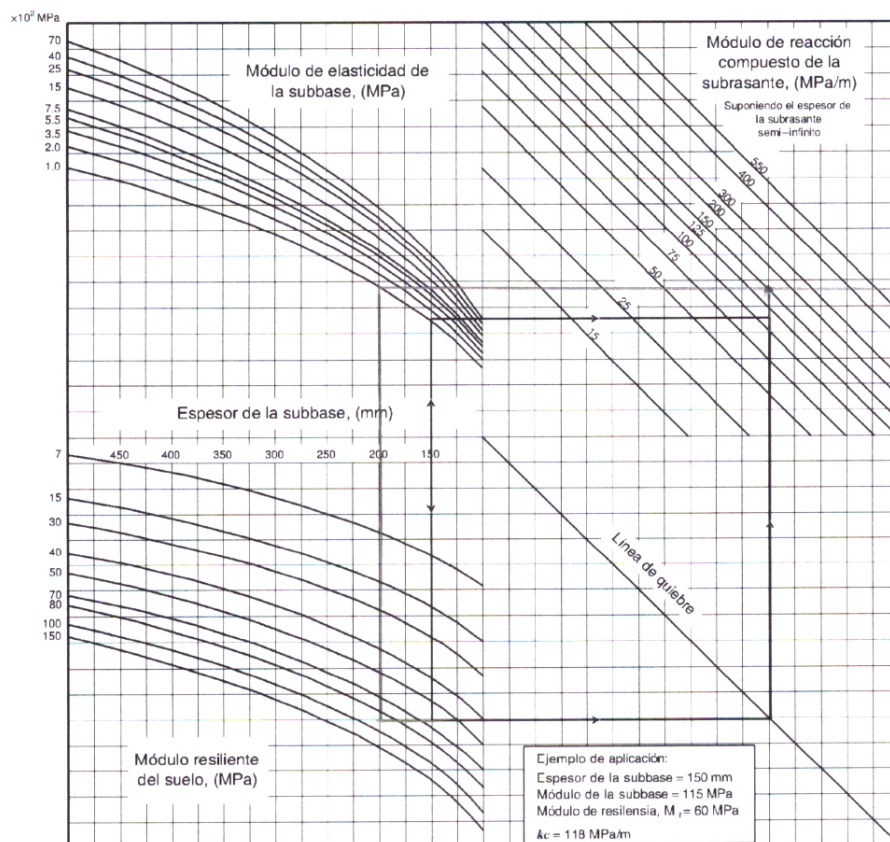
**Cuadro 122. Factor de pérdida de soporte,  $L_s$ .**

Tipo de base o subbase	Factor de pérdida de soporte, $L_s$
Bases granulares tratadas con cemento ( $E = 7,000$ a $14,000$ MPa)	0.0 – 1.0
Subbases tratadas con cemento ( $E = 3,500$ a $7,000$ MPa)	0.0 – 1.0
Bases asfálticas ( $E = 2,500$ a $7,000$ MPa)	0.0 – 1.0
Subbases estabilizadas con asfalto ( $E = 300$ a $2,000$ MPa)	0.0 – 1.0
Estabilización con cal ( $E = 150$ a $1,000$ MPa)	1.0 – 3.0
Materiales granulares sin tratar ( $E = 100$ a $300$ MPa)	1.0 – 3.0
Suelos finos y subrasantes naturales ( $E = 20$ a $300$ MPa)	2.0 – 3.0

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. p. II-27.

### 9. Módulo de reacción $k$ de la superficie en la que se apoya el pavimento o módulo efectivo de la subrasante

**Figura 117. Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, superando una profundidad infinita.**

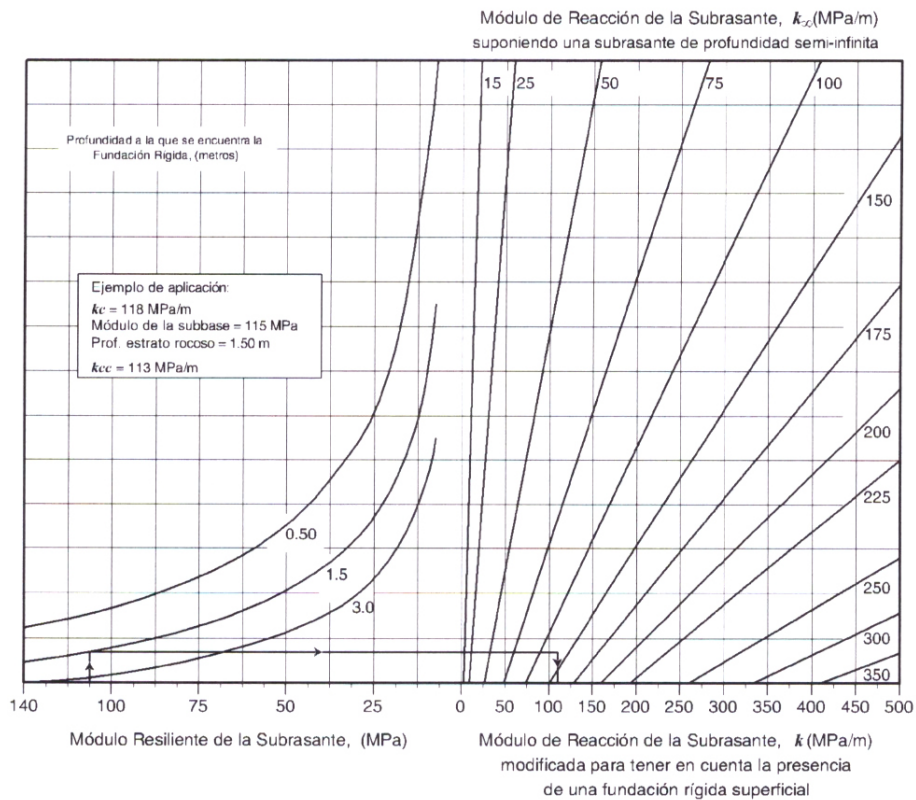


Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. p. II-39.

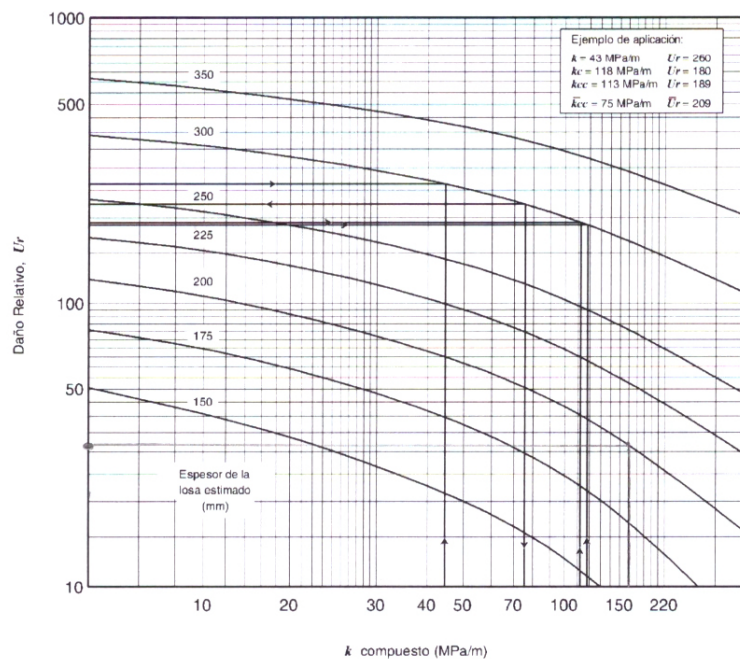
Ing: Carlos Hernando Higuera Sandoval. MSc.



**Figura 118. Nomograma para corregir el valor de  $k$  por la presencia de una capa rígida (estrato rocoso) a menos de 3 metros de profundidad.**

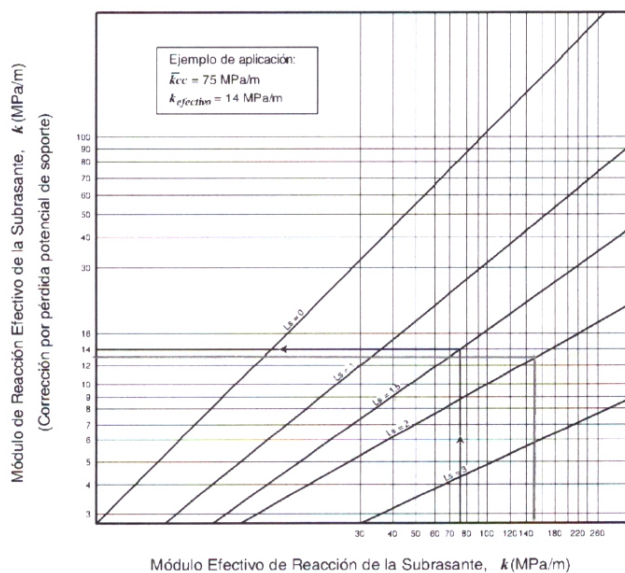


Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. p. II-40.

Figura 119. Nomograma para determinar el deterioro relativo,  $U_r$ .

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. p. II-41.

Figura 120. Nomograma para corregir el módulo de reacción efectivo por pérdida potencial de soporte de la subbase.



Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. p. II-42.





**IMÁGENES CALLE 17**



Abscisa 0+0.50 mts



Abscisa 0+100 mts



Abscisa 0+130 mts



Abscisa 0+210 mts



Abscisa 0+260 mts




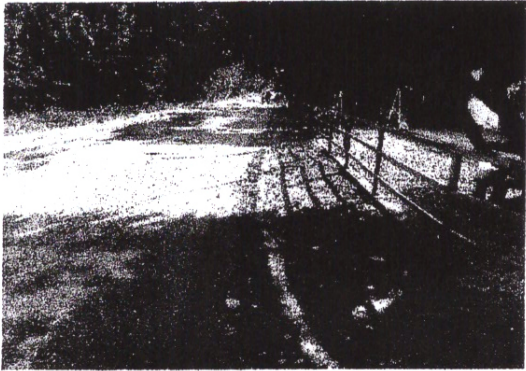

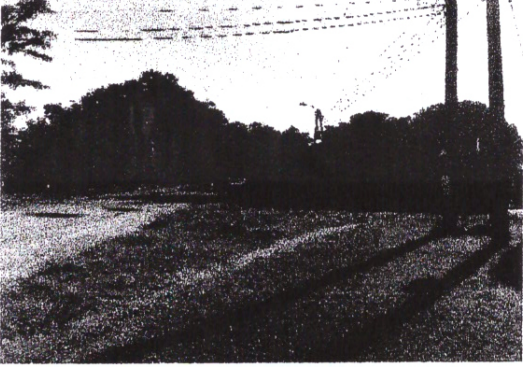
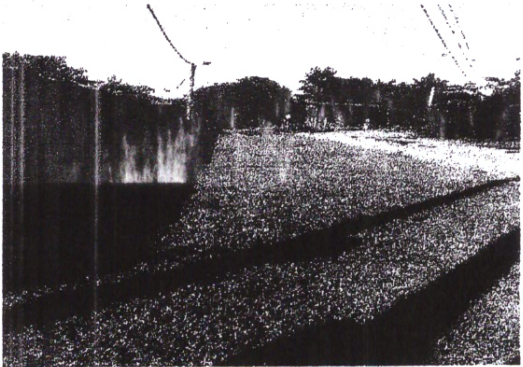
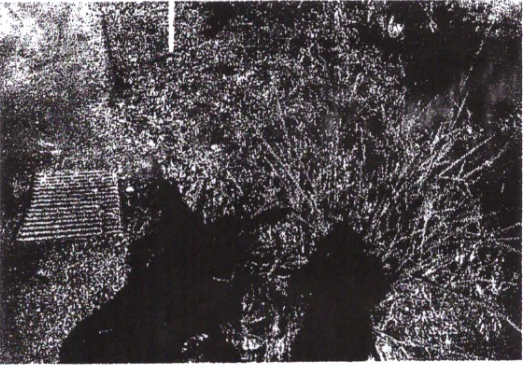
Abscisa 0+280 mts





MUNICIPIO DE SAN MARTIN DE LOS LLANOS  
ALCALDIA MUNICIPAL  
SECRETARIA DE DESPACHO – OBRAS PÚBLICAS



	
Abscisa 0+330 mts	Abscisa 0+350 mts
	
Abscisa 0+360 mts	Abscisa 0+380 mts
	
Abscisa 0+400 mts	Abscisa 0+250 mts

Carrera 5 Nro. 4 - 75, Barrio Fundadores.  
[www.sanmartin-meta.gov.co](http://www.sanmartin-meta.gov.co)  
 E-mail: [obraspublicas@sanmartin-meta.gov.co](mailto:obraspublicas@sanmartin-meta.gov.co)  
 Tel: 57 (8) 648 77 97 Ext: 201  
 Celular: 3115922670





REPÚBLICA DE COLOMBIA  
IDENTIFICACIÓN PERSONAL  
CÉDULA DE CIUDADANÍA

NÚMERO **86.078.795**

**ORTIZ VEGA**

APELLIDOS

**JULIAN ALFONSO**

NOMBRES

FIRMA



INDICE DERECHO

FECHA DE NACIMIENTO **04-DIC-1982**  
**VILLAVICENCIO**  
(META)

LUGAR DE NACIMIENTO

**1.63**

**A+**

**M**

ESTATURA

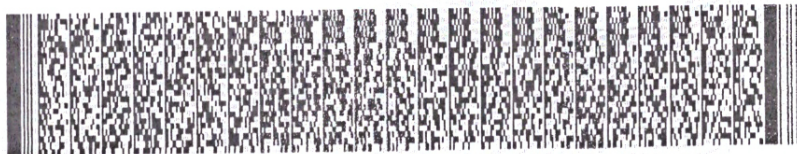
G.S. RH

SEXO

**13-NOV-2001 VILLAVICENCIO**

FECHA Y LUGAR DE EXPEDICIÓN

REGISTRADOR NACIONAL  
JUAN CARLOS GALINDO VÁCHA



A-5200100-00977685-M-0086078795-20180212

0059474539G 1

9903320345

REPUBLICA DE COLOMBIA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA  
COPNIA



MATRÍCULA PROFESIONAL No.

25202-256604 CND

INGENIERO CIVIL

DE FECHA 01/08/2013

JULIAN ALFONSO

ORTIZ VEGA

C.C. 86078795

UNIVERSIDAD COOPERATIVA  
DE COLOMBIA

*Julian Alfonso Ortiz Vega*  
PRESIDENTE DEL CONSEJO