DISEÑO DE PAVIMENTO

PROYECTO:

Mantenimiento y mejoramiento de sitios críticos con afirmado y placa huella en las vías internas que conducen a los ambientes de formación Fruver y Porcinos ubicados en el predio Santa Isabel y el mantenimiento o mejoramiento de la entrada del centro de acopio de residuos del predio la Vitrina del Centro Agropecuario y Biotecnología El Porvenir.

REVISÓ:

ERWIN LUDWIG POLO OSORIO

Ing. Civil

Esp. Vías Terrestres

MP: 091036-0559420 CND

CENTRO AGROPECUARIO SENA EL PORVENIR

JUNIO 28 DE 2024.

Contenido

INTRODUCCION 3
1. OBJETIVOS 4
1.1. Generales 4
1.2 Específicos 4
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO 5
3. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 6
4. INFORMACIÓN AMBIENTAL 7
4.1 TEMPERATURA 7
4.3 **PRECIPITACION** 7
5. INFORMACIÓN GEOTÉCNICA 8
5.2 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE EXPANSIÓN 9
CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUBRASANTE 10
5.4 MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE 10
5.6 METODOLOGÍA IVANOV 11
5.6 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DEL CONJUNTO Y ESPESOR DE LA SUBBASE 12
6. ANALISIS DEL TRANSITO 13
7. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO 16
7.1 PERIODO DE DISEÑO 16
7.2 Vehículo de Diseño 16
7.3 Sección Transversal de la Vía. 16
7.4 Resistencia de la Subrasante. 17
7.5 Placa Huella 19
7.6 Riostra 19
7.7 Resistencia y Especificaciones Técnicas del Concreto para Placa-Huella 20
7.8 Características del Acero de Refuerzo de la Placa-Huella 21
7.9 Características de la Piedra Pegada 21
7.10 Las características a tener en cuenta para el concreto simple. 22
7.11 Berma-Cuneta y Bordillo 22
RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES 24

INTRODUCCION

La Placa-huella en concreto es un sistema de pavimentación para vías de bajos volúmenes de tránsito, en el cual se pavimentan únicamente las huellas por donde circulan las ruedas de los vehículos, la separación entre las franjas de concreto se rellena con piedra pegada, un material con las características de concreto ciclópeo, rocas distribuidas adecuadamente y pegadas con concreto, dependiendo del ancho de la vía se construyen cunetas y bordillos en concreto para proveer la vía de un sistema de drenaje superficial, sí se requiere la separación entre la parte exterior de cada placa-huella y la cuneta se rellena también con piedra pegada.

El uso de pavimentos en placa-huella de concreto se ha incrementado en Colombia en los últimos años, al parecer, debido a las condiciones climáticas de muchas zonas del país que hacen que la conservación de vías en afirmado sea poco efectiva, con necesidades de inversión que en la mayoría de los casos no reflejan los esfuerzos en conservación de redes viales terciarias y secundarias que realizan los entes gubernamentales.

La subdirección de redes terciarias del Instituto Nacional de Vías, varios departamentos y municipios colombianos han venido adelantando contratos de pavimentación de vías de bajos volúmenes de tránsito con pavimentos en placa-huella

Para conocer el tipo de suelos que se tienen a nivel de subrasante o suelo de fundación, se programó la ejecución de dos (2) apiques distribuidos a lo largo de cada uno de los tramos a ejecutar sector vial en estudio. En cada uno de los apiques se realizó la perforación hasta una profundidad de 1.5 m, con el fin de obtener muestras y realizar los respectivos ensayos de laboratorio que permitieran la caracterización de los suelos encontrados, dentro de los cuales se incluyeron algunos como Límite líquido, Límite plástico, Granulometría y CBR.

1. OBJETIVOS

1.1. Generales

- Realizar el estudio de diseño de pavimento para el SENA PORVENIR en el departamento de Córdoba, bajo el cumplimiento de las exigencias de las normas técnicas correspondientes.

1.2 Específicos

- Diseñar la estructura de pavimento que soporte las cargas de tráfico estimadas, teniendo en cuenta que este modelo de diseño para placa huella es un modelo finito de ejes.
- Mirar el comportamiento del suelo a través de los datos obtenidos en el estudio de suelo.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El Gobierno Nacional se encuentra desarrollando estrategias para el mejoramiento de la capacidad de las infraestructuras que soportan los flujos de carga de comercio exterior y los viajes entre diferentes zonas del país, viene impulsando proyectos encaminados a proporcionar una mejor accesibilidad a los principales centros de producción y consumo del territorio colombiano.

Por esta razón se vienen desarrollando diferentes mejoramientos de vías con la construcción de placa huellas que mejoren la transpirabilidad y permitan mejorar la comunicación vial (mejores corredores viales). En esta oportunidad, el mejoramiento en placa huella corresponde al SENA PORVENIR EN CÓRDOBA con una longitud de 130 m repartidos en 2 tramos y cuyo objeto es **"**PROYECTO:Mantenimiento y mejoramiento de sitios críticos con afirmado y placa huella en las vías internas que conducen a los ambientes de formación Fruver y Porcinos ubicados en el predio Santa Isabel y el mantenimiento o mejoramiento de la entrada del centro de acopio de residuos del predio la Vitrina del Centro Agropecuario y Biotecnología El Porvenir.**"**.

La placa huella busca brindar escenarios permanentes de circulación satisfactorias para amplios lapsos de servicio a precio muy bajo comparado con el pavimento convencional. El presente documento describe las condiciones del diseño de pavimento de placa huella para el municipio antes mencionado.

3. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en el Centro Agropecuario El Porvenir este se encuentra ubicado en el área rural en el corregimiento Santa Isabel perteneciente al municipio de Montería, a 47 kilómetros del centro urbano de la capital, en donde se proyecta la realización de placa huella en puntos críticos dentro del centro Agropecuario.



Imagen 1. Localización del tramo a intervenir.
Fuente: GOOGLE EART PRO

4. INFORMACIÓN AMBIENTAL

4.1 TEMPERATURA.
De acuerdo con los datos de la estacion climatológica analizadas, se observa que en la zona del proyecto se tiene una temperatura promedio que oscila desde los 27 °C hasta los 28 °C. En la siguiente tabla se encuentra la temperatura media registrada a lo largo del año.

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	27 °C	27 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	27 °C	27 °C	27 °C

Tabla 3. Temperatura media mensual
Fuente: IDEAM

De acuerdo a los valores reportados anteriormente se establece como temperatura promedio del proyecto, 27.4 ° C.

4.3 **PRECIPITACION**

El régimen de precipitación para el área de influencia del proyecto muestra un comportamiento algo varible. A continuación, se presentan los datos registrados en la estación y su comportamiento

Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	11,2 mm	9,1 mm	9,0 mm	62,5 mm	132,5mm	136,6mm	149,2mm	144,6mm	148,6mm	148,9mm	118,6mm	50,1 mm

Tabla 4. Precipitación promedio mensual
Fuente: IDEAM

Se establece una precipitación media anual de 93.4 mm, para el presente proyecto.

5. INFORMACIÓN GEOTÉCNICA

Para conocer el tipo de suelos que se tienen a nivel de subrasante o suelo de fundación, se programó la ejecución de dos (2) apiques distribuidos a lo largo de los sectores viales en estudio. En cada uno de los apiques se realizó la perforación hasta una profundidad de 1.5 m, con el fin de obtener muestras y realizar los respectivos ensayos de laboratorio que permitieran la caracterización de los suelos encontrados, dentro de los cuales se incluyeron algunos como Límite líquido, Límite plástico, Granulometría y CBR.

Los resultados de laboratorio de los apiques y los perfiles estratigráficos se presentan en el **estudio de suelos.** A continuación, se describe de forma resumida los resultados obtenidos en cada una de las exploraciones ejecutadas, así como los espesores encontrados.

APIQUE	UBICACIÓN		PROFUNDIDAD.
	NORTE	ESTE	
1	08° 34´ 11,0´´	75° 56´ 49,7´´	1,5 m
2	08° 34´ 12,9´´	75° 56´ 48,2´´	1,5 m

Sondeo	Profundidad de la muestra (m)			Tipo de Material	Ensayos de Caracterización				Licuación	
	Inicial	Final	Media		%Hum NAT.	LL (%)	LP (%)	IP (%)	W/LL	Susceptible
1	0,0	0,7	0,35	SC	9,0%	26,8%	10,7%	16,2%	0,34	NO
	0,7	1,5	1,1	CL	8,7%	36,8%	14,5%	22,3%	0,24	NO
2	0,0	0,7	0,35	SC	6,1%	21,4%	10,2%	11,2%	0,29	NO
	0,7	1,5	1,1	SC	8,1%	22,3%	11,5%	10,8%	0,36	NO

Tabla 5. Resumen ensayo de relación de soporte (CBR) método inalterado
Fuente: Laboratorista

MUESTRA	1	2
CBR (%) MÁXIMO ANTES DE INMERSIÓN	3,62	2,93
CBR (%) MÁXIMO DESPUÉS DE INMERSIÓN	0,5	1,79

Tabla 6. Resumen ensayo de relación de soporte (CBR) método inalterado
Fuente: Laboratorio

5.2 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE EXPANSIÓN

Una vez realizada la clasificación del suelo por el método de la AASHTO y el método unificado USC, se evalúa el potencial de expansión de la subrasante, ya que en función de esta variable se puede decidir si se realiza mejoramiento de la subrasante para controlar los cambios volumétricos. Generalmente la expansión se presenta en suelos limo-arcillosos donde se debe controlar la estabilidad volumétrica ya que tienden a ser colapsables.

La metodología planteada en la norma INV E-132-13, presenta la importancia de tratar suelos que se expanden y contraen a medida que pasan del estado seco a húmedo o viceversa, generando cambios volumétricos creando movimientos diferenciales en las estructuras del pavimento que se ven transformadas en agrietamiento de placas.

LL (%)	IP (%)	Clasificación del potencial de hinchamiento
>60	>35	Alto
50-60	25-35	Marginal
<50	<25	Bajo

Tabla 6.1. clasificación de expansividad
Fuente: GUIA DE DISEÑO DE PLACA HUELLA

ANÁLISIS DE POTENCIAL DE EXPANSIÓN (APIQUES)																
Sondeo	Profundidad de la muestra (m)			Tipo de Material	Densidad seca (T/m3)	Ensayos de Caracterización							Evaluación de Expansividad	Potencial de expansión		
	Inicial (m)	Final (m)	Media (m)			%Hum NAT.	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	Pasa N°4	Pasa N°200		Humedad de Equilibrio, Wequi (%)	Potencial	log pex
1	0,0	0,7	0,35	SC	1,65	9,0%	26,8%	10,7%	16,2%	-0,1	94,7%	22,2%	Expansible	16,2%	Alto	0,063
	0,7	1,5	1,1	CL	1,66	8,7%	36,8%	14,5%	22,3%	-0,3	100,0%	81,1%	Expansible	20,9%	Alto	0,048
2	0,0	0,7	0,35	SC	1,70	6,1%	21,4%	10,2%	11,2%	-0,4	56,8%	12,4%	Expansible	13,7%	Alto	0,079
	0,7	1,5	1,1	SC	1,67	8,1%	22,3%	11,5%	10,8%	-0,3	84,2%	21,0%	Expansible	14,1%	Alto	0,073

Tabla 6.2. Resumen ensayo de relación de soporte (CBR) método inalterado clasificación de expansividad
Fuente: Laboratorista

CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUBRASANTE

La capacidad de soporte de la subrasante es fundamental en el comportamiento estructural de la estructura de pavimento, por esto para el presente estudio se tomaron muestras de suelo inalteradas en cada uno de los apiques a las cuales se le realizó el ensayo de CBR, logrando obtener los siguientes resultados.

MUESTRA	1	2
CBR (%) MÁXIMO ANTES DE INMERSIÓN	3,62	2,93
CBR (%) MÁXIMO DESPUÉS DE INMERSIÓN	0,5	1,79

Tabla 7. Resumen capacidad portante del suelo
Fuente: Laboratorista

Como se observa en la tabla anterior, a lo largo del tramo de estudio se desarrollaron los apiques a una profundidad de hasta 1,5m.

5.4 MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE

Para determinar el módulo resiliente de la subrasante se utilizó la ecuación propuesta por la agencia investigadora AASHTO en la versión correspondiente al año 2002:

Para CBR <10 se tiene $MR = 1500 * (CBR)$

Para CBR >10 se tiene $MR = 2555 * (CBR)^{0.64}$

MR = Modulo resiliente de la subrasante (psi)

Como se muestra anteriormente en la tabla los CBR no superan el 3% que establece la cartilla GUIA DE DISEÑOS DE PAVIMENTO DE PLACA HUELLA (INVIAS) como subrasante de fundación, por lo que se hace necesario hacer un mejoramiento por la teoría IVANOV en donde escoge existen varios criterios para tomar el %CBR a evaluar.

1. Promedio de los %CBR.
2. Tramos homogéneos cuando distan los %CBR y dentro de estos en algún apique indica que no necesitan de mejoramiento.
3. Cuando las zonas indican que un material es potencialmente expansivo, es necesario tomar el más crítico, con el fin de barrer la zona con un material de mayor soporte.

Se toma la opción de hacer un promedio de los % de CBR después de inmisión, dando como resultado %CBR= 1.15%

Lo cual se toma el valor para verificarlo en la fórmula de la teoría de IVANOV
Para esto es necesario especificar que se utilizará material seleccionado de cantera, por cómo se está comportando el suelo.
A continuación, se muestra una tabla extraída de la norma INVIAS 320 donde muestra las especificaciones técnicas que debe cumplir el material de relleno o mejoramiento.

REQUISITOS DE LOS MATERIALES

Tipo de Material	Seleccionados	Adecuados	Tolerables
Tamaño máximo	75 mm	100 mm	150 mm
Pasa tamiz de 75 µm (No.200)	≤ 25% en peso	≤ 35% en peso	≤35% en peso
C.B.R. de laboratorio	≥10	≥ 5	≥3
Expansión en prueba C.B.R.	0%	< 2%	<2%
Contenido de materia orgánica	0%	<1%	<2%
Límite líquido	< 30	<40	<40
Índice plástico	<10	<15	-

Tabla 9. REQUISITOS DE LOS MATERIALES PARAMEJORAMIENTO INVIAS 320
Fuente: especificaciones técnicas 320 INVIAS.

Se opta por un CBR% de 10 y espesor de mejoramiento de 15 cm debido a que este es mínimo espesor que estipula la normativa por la granulometría y el tamaño máximo, esto con el fin de comenzar a evaluar.

5.6 METODOLOGÍA IVANOV

Esta metodología permite calcular el espesor del refuerzo de mejoramiento de la subrasante, el cual plantea una ecuación en función del espesor del material de mejoramiento y su módulo, el módulo de resiliencia de las condiciones actuales de la subrasante y el radio del área cargada.

Como se mencionó anteriormente es necesario realizar un mejoramiento en la subrasante ya que el suelo de soporte no cumple con el valor mínimo requerido para una subrasante de buenas condiciones. El material de mejoramiento a emplear debe cumplir con los requerimientos de la tabla anteruir, debe tener un valor de CBR mínimo de 10% para afirmados y subbase y además debe cumplir con las especificaciones del artículo 230-22 de la norma INVIAS.

CONDICIONES DE CARGA - Teoria IVANOV				
P. Inflado	Carga	Radio	P. Contacto	S/2
80psi	2,050Kg	10.77cm	5.62Kg/cm2	16.16cm

CBR Diseño SR	Módulo SR Original		Material: relleno(material seleccionado de cantera)		Si	Módulo Equivalente
1.15%	2,794psi	19.2MPa	Espesor	(%) CBR	Módulo	
			15.0cm	10.0	76.5MPa	36.9MPa

Ecuación:

$E_{eq} = E_{inf} / \{1 - (2/\pi)\cdot[1 - (1/n^{3,5})]\cdot \arctan[n\cdot(H_{gr}/2a)]\}$ $\quad n = (E_{sup}/E_{inf})^{0,4}$

E_{eq}: módulo elástico equivalente del conjunto subrasante - materiales granulares de mejoramiento, criterio Ivanov (psi).

368.7	Kg/cm^2
5,267	PSI
3.5%	*CBReqv*

Tabla 10. IVANOV
Fuente: Propia.

Se pudo observar que al realizar el mejoramiento con este tipo de material se encuentra que el suelo alcanza un CBR de subrasante mayor a 3% lo cual es un indicativo que ya se puede continuar con el proceso de diseño de pavimento una vez estabilizada la subrasante.

Espesor de mejoramiento: 15 cm
%CBR: 3.5.
Se debe tener en cuenta que al momento de ejecutar el proyecto se harán los respectivos ensayos del material de cantera a utilizar con el fin de que este cumpla con los requerimientos de INVIAS 320.

Con él % CBR se procede a dar continuidad con el diseño de pavimento, sabiendo que la % cbr de la subrasante es 3.5% se calcula el valor de k por medio de nomogramas, Dada la dificultad de realizar el ensayo para determinar el módulo de reacción de la subrasante, y teniendo en cuenta que para el diseño de los pavimentos de concreto se admiten aproximaciones en la determinación de la capacidad de soporte del suelo, se puede recurrir a correlaciones entre el valor k con el del CBR y la clasificación de suelos.

5.6 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DEL CONJUNTO Y ESPESOR DE LA SUBBASE

Una vez calculado el módulo de reacción de la subrasante, se calcula el módulo de reacción del conjunto para el cual se debe seleccionar el espesor de la subbase granular. Para este caso será seleccionado un espesor de subbase granular de 15 cm para verificar los esfuerzos y deflexiones equivalentes de la losa de concreto en función del consumo vehicular. El espesor seleccionado de subbase granular es de 15 cm

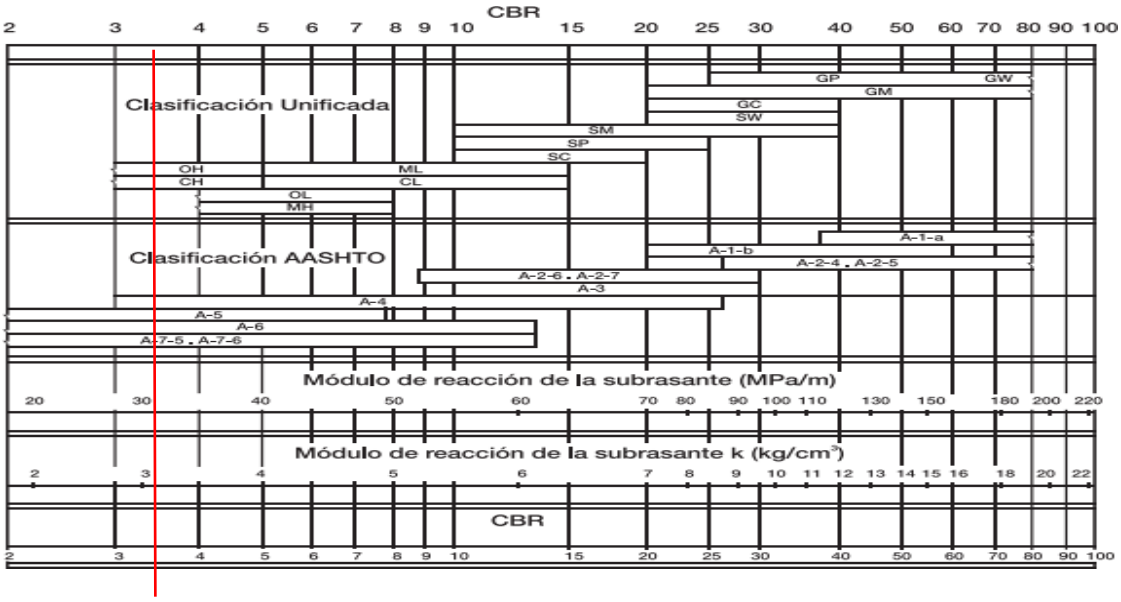


Tabla 11. CBR
Fuente: manual diseño de pavimentos.

Al correlacionar el % de CBR se obtiene un valor de K=33 MPa/m

Para encontrar el k combinado que se debe utilizar al momento de realizar el diseño de pavimento es necesario acudir a la tabla de valores de k para subbase granular conociendo la subrasante encontrada en la guía de pavimento AASHTO 93 se interpola dando como valor de k para la subbase = 40.95 k combinado en Mpa/m

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	Lb/pulg³	Mpa/m	Lb/pulg³	Mpa/m	Lb/pulg³	Mpa/m	Lb/pulg³	Mpa/m	Lb/pulg³
20	73	23	85	26	96	35	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

Tabla 12. Selección del módulo del conjunto en función del espesor de la subbase y módulo de la subrasante.
Fuente: guía de diseños de pavimento INVIAS.

6. ANALISIS DEL TRANSITO

Durante la etapa de diseño es necesario conocer la cantidad de vehículos que pasan actualmente por la vía (TPD), de igual forma se debe conocer el tránsito o número de ejes que pasaran durante el periodo de diseño, sin dejar a un lado que esta variable genera mucha incertidumbre ya que no se conoce a ciencia cierta el número de ejes exactos que pasaran por la vía en el periodo de diseño; la proyección permite hallar un acercamiento.

El análisis de transito se debe realizar por medio de conteos vehiculares que permitan calcular el número de ejes equivalentes asociados al periodo de diseño, por lo tanto, es necesario realizar un estudio de tránsito el cual fue hecho por la presente consultoría.

A continuación, se presentan los cálculos obtenidos de transito equivalente diario asociado al periodo de diseño de la estación de aforo contempladas para la planificación del tránsito, que no es más que el número acumulado de ejes equivalentes de 8.2 ton en el carril de diseño durante el periodo de diseño

Para el período de diseño se adoptan 10 años, esto, siguiente los dispuesto por la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructura Viales del Programa Colombia Rural, en el Ítem 8.2 (Consideraciones de Tránsito y Carga de Diseño, pág. 168).
Los factores que contemplan serán descritos a continuación
Si se mira el PIB este debido a los múltiples cambio y variaciones post-pandemia se encuentra en un valor alto llegando al 10.21% por lo cual se decide optar por las tasas de crecimiento de la red viaria nacional, que va encaminadas al TPD.

TPDS	TASA DE CRECIMIENTO (%)	
	Total Vehículos	Vehículos Comerciales
< 500	6.0 - 6.5	5.5 -6.0
500 -1000	5.7 - 6.3	5.5 - 6.0
1000 –2500	4.5 - 5.5	4.0 - 5.0
2500 –5000	4.5 - 5.5	4.0 - 5.0
5000 –10000	4.5 - 5.5	4.0 - 5.0
>10000	4.0 - 6.0	3.0 - 5.0

Tabla 13. Tasa de crecimiento obtenidas en muestreo nacional.
Fuente: red vial, INVIAS.

Para el estudio se tomó: 6 %

Tabla 2 Factor Direccional (Fd)

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	fd
Menos de 5m	Total en los dos sentidos	100
Igual o mayor de 5m y menor de 6m	3/4 del total en los dos sentidos	0.75
Igual o mayor de 6m	1/2 del total en los dos sentidos	0.50

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

Tabla 13.1. Factor direccional

Debido a que la calzada de la placa huella es de 5.9 m se opta por tomar el dato de 0.75

Tabla 3 Factor Carril

Número de carriles en cada dirección	Factor de distribución para el carril de diseño (DC)	
	INVIAS	AASHTO 2002
1	1,00	1,0
2	0,90	0,9
3	0,75	0,6
4	Sin información	0,4

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

Tabla 13.2. Factor carril.

Debido al ancho de la calzada, y al diseño de la sección transversal típica de la vía se entiende que este factor es 1

Periodo de diseño: Como el objeto del contrato estipula que está dentro del marco Colombia rural este hace mención que las vías en placa huella se deben diseñar a un periodo de 10 años.

DIRECCION	**VÍA INTERNA**			
CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO Y TOTAL				
TRANSITO DIARIO	6	**TASA DE CRECIMIENTO %**		6
FACTOR DIRECCIONAL	**0.75**	**FACTOR CARRIL**		1
		PERIODO DE DISENO (Años)		10

VEHICULOS	PORCENTAJE	NUMERO VEHICULOS DIARIOS	FACTOR DANO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO
VEHICULOS		**6**		
AUTOS	**50%**	**3**	**0**	**0**
BUS	**0%**	**0**	**1.10**	**0**
CAMIONES	**50%**	**3**		
C2P	**73%**	**2**	**0.31**	**1**
C2G	**27%**	**1**	**4.10**	**3**
C3	**0%**	**0**	**6.20**	**0**
C3S2	**0%**	**0**	**11.60**	**0**
C3S3	**0%**	**0**	**8.50**	**0**
TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO				**4**

TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO	14274

Tabla 13.3. Resumen de estudio de tránsito.
FUENTE: PROPIA

Si embargo es de aclarar que el estudio se hace para ver la configuración de los vehículos que transitan, pero la guía estipula que se debe definir en vehículo con la carga ultima.

Lo relevante es la selección del Vehículo de Diseño puesto que de él depende el peso y configuración del eje de referencia y la adecuación geométrica que se le debe construir a la vía para que dicho vehículo pueda circular adecuadamente.

Para el tipo de vías en las que se construirían pavimentos con placa-huella y dado el alto costo por kilómetro que demanda este tipo de solución lo mínimo razonable sería adoptar como vehículo de diseño el camión C-2 con un eje trasero sencillo de once (11) toneladas.

La adecuación geométrica requerida por la vía para que pueda circular un camión C-2 consiste básicamente en el sobreancho en las curvas de deflexión grande y radio pequeño. Tal adecuación sería la misma que la requerida por un camión C-3 puesto que su longitud respecto al camión C-2 difiere en tan solo cuarenta centímetros aproximadamente. Si por la vía ya adecuada geométricamente y con el pavimento con placa-huella puede circular un camión C-2 también lo podría hacer un camión C-3.
Como no es posible garantizar que en un periodo de servicio de DIEZ (10) o más años, nunca circulará un camión C-3 y teniendo presente que en los pavimentos con placa-huella la falla se produce por carga última, el vehículo de diseño no puede ser inferior al camión C-3 ya que el paso de tan solo un vehículo de este tipo podría destruir las placas-huella.

Por lo anterior, el eje de referencia para el diseño estructural del pavimento constituido por una sucesión de placas y riostras reforzadas utilizando la metodología de diseño por carga última debe ser el eje tándem de 22 toneladas de un camión C-3. El diseño debe ser tal que al desplazarse dicho eje sobre la superficie no se produzca en las placas-huella un nivel de esfuerzos que les genere la falla, es decir, su fractura.

Si el paso de un eje tándem de 22 toneladas no produce la falla significa que la estructura estaría habilitada para resistir un número infinito de pasadas de dicho eje. En consecuencia, el paso de ejes de menor agresividad, independientemente de su cantidad, con mayor razón no la llevarían a la falla. So pena de incurrir en una grave ligereza se debe diseñar el pavimento con placa-huella para que no sea fracturado por el paso de un único camión C-3 puesto que existe la probabilidad de que en algún momento de la vida de servicio un camión de este tipo circule por la vía.

7. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.

El presente diseño de la estructura de pavimento se desarrolla de acuerdo con lo propuesto por la cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales del Programa Colombia Rural (Colombia Rural) propuesta por el INVIAS.

7.1 PERIODO DE DISEÑO

Para el período de diseño se adoptan 10 años, esto, siguiente los dispuesto por la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructura Viales del Programa Colombia Rural, en el Ítem 8.2 (Consideraciones de Tránsito y Carga de Diseño, pág. 168).

7.2 Vehículo de Diseño

Este parámetro se toma de acuerdo con lo dispuesto por el Estudio de Tránsito efectuado para este proyecto, el cual, establece que el vehículo de Diseño para el tramo es el vehículo liviano. (análisis del tránsito)

7.3 Sección Transversal de la Vía.

La definición de este parámetro se encuentra ligado al diseño geométrico de la vía, sin embargo, en su definición se debe tener en cuenta los mecanismos de falla que tienen los pavimentos tipo placa-huella.

La estructura base correspondiente al tramo a intervenir en el proyecto en el municipio de Lorica-Córdoba es la siguiente: dos huellas o placas de concreto reforzado en Módulos de 3.0 Metros de longitud, con un ancho de 0,90 metro cada una y un espesor de 0,15 centímetros, dos sobre anchos en concreto ciclópeo de 0,45 metros cada uno, una placa de concreto ciclópeo de 0,90 centímetros de ancho, dos cunetas de 0,55 metros de ancho, un bordillo de 0,15 metros y 0.3, de alto.
Viguetas transversales de 5,0 metros de longitud, que se encontraran arriostradas por unas

viguetas reforzadas de 0,20 metros de ancho por 0,3 metros de espesor y reforzadas por flejes cada 0,25 m con varilla # 3 localizadas en cada módulo de 3,00 metros e Irán en todo el ancho hasta la cuneta fundida in situ siendo este el diseño base

- Cabe acotar que todo el acero utilizado es # 3 tal como lo estipula COLOMBIA RURAL.

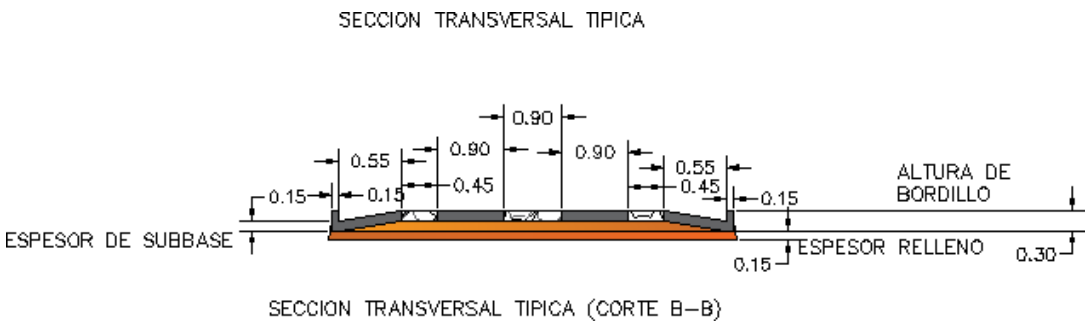


Ilustración 2. Sección Transversal de Placa Huella con Ancho de 5.70 m
Fuente. Elaboración Propia.

7.4 Resistencia de la Subrasante.

En el capítulo 5.4 del presente informe, mediante correlaciones basadas en el CBR presente de la subrasante del proyecto, se presentó el cálculo del módulo resiliente de la misma (MR), además se presenta el cálculo del módulo de reacción de la subrasante K, a través de correlaciones planteadas para el %CBR

MUESTRA	1	2
CBR (%) MÁXIMO ANTES DE INMERSIÓN	3,62	2,93
CBR (%) MÁXIMO DESPUÉS DE INMERSIÓN	0,5	1,79

Tabla 14. Módulo resiliente de la subrasante
Fuente: Elaboración Propia

7.4.1 CUMPLIMIENTO DE MATERIALES DE SUBBASE

Ensayo		Norma de Ensayo	Clase de Subbase Granular			
			SBG PEA	SBG_C	SBG_B	SBG_A
Dureza						
Desgaste Los Ángeles	- En seco, 500 revoluciones, % máximo	INV E-218-07	50	45	40	40
Micro Deval, % máximo	- Agregado Grueso	INV E-238-07	NA	35	35	30
10% de finos	- Valor en seco, kN mínimo - Relación húmedo/seco, % mínimo	INV E-224-07	NA	40 65	50 70	60 75
Durabilidad						
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo	- Sulfato de Magnesio	INV E-220-07	18	18	18	18
Limpieza						
Límite Líquido, % máximo		INV E-125-07	40	25	25	25
Índice de Plasticidad, % máximo		INV E-126-07	10	6	3	3
Equivalente de Arena, % mínimo (1)		INV E-133-07		18	18	20
Valor de Azul de Metileno, máximo		*INV E-235-07*		10	10	10
Terrones de arcilla y partículas deleznables, % máximo		INV E-211-07		2	2	2
Geometría de las Partículas						
Partículas Fracturadas Mecánicamente, % mínimo	- 1 cara - 2 caras	INV E-227-07	NA NA	NA NA	NA NA	50 30
Índice de Aplanamiento, % máximo (2)		INV E-230-07	NA	NA	NA	NA
Índice de Alargamiento, % máximo (3)		INV E-230-07	NA	NA	NA	NA
Angularidad del Agregado Fino, % mínimo (RO)		INV E-239-07	NA	NA	NA	NA
Capacidad de Soporte						
CBR, % mínimo - Referido al 95 % de la densidad seca máxima, según el ensayo INV E-142 -07 (AASHTO T 180), método D, después de 4 días de inmersión.		INV E-148-07	20	30	40	60

Tabla 14.1. Características de la subbase
Fuente: especificaciones técnicas norma 400-22 INVIAS.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUELOS SELECCIONADOS	SUELOS ADECUADOS	SUELOS TOLERABLES
Partes del terraplén a las que se aplican		Todas	Todas	Cimiento y Núcleo
Tamaño máximo, mm	E-123	75	100	150
Porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) en masa, máximo	E-123	80	80	-
Porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en masa, máximo	E-123	25	35	35
Contenido de materia orgánica, máximo (%)	E-121	0	1.0	1.0
Límite líquido, máximo (%)	E-125	30	40	40
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-126	10	15	-
CBR de laboratorio, mínimo (%) *(Nota 1)*	E-148	10	5	3
Expansión en prueba CBR, máximo (%)	E-148	0.0	2.0	2.0
Índice de colapso, máximo (%) *(Nota 2)*	E-157	2.0	2.0	2.0
Contenido de sales Solubles, máximo (%)	E-158	0.2	0.2	-

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INV

Tabla 14.2. Características del relleno.
Fuente: especificaciones técnicas norma 220-22 INVIAS.

Del mismo modo se deben cumplir con algunas recomendaciones de instalación y extensión que la norma 220 y 400 estipula para construcción y utilización de materiales pétreos.
Por otra parte se estima que el concreto cumpla con los requerimientos contratados es decir de 3500 PSI, lo cual como anteriormente se manifestó no es lo que se debería considerar para

un diseño de pavimento dado que el mínimo exigido por INVIAS es en modulo resiliente de 3.8 MPa es decir aproximadamente 3500 PSI, es un tema que se debe entrar a debatir INVIAS y los que emiten la cartilla de COLOMBIA RURAL o en su defecto quien inicialmente estipula el presupuesto y diseños del proyecto.

7.5 Placa Huella

La placa huella es una losa en concreto reforzado, que se funde in situ sobre una subbase granular.
Una de las principales funciones que se destaca a nivel estructural de la placa-huella, es el de soportar los esfuerzos por el paso de los ejes de los vehículos, que circulan en la vía, y canalizar la circulación vehicular por estos módulos, para sustituir en las franjas de la sección transversal no sometidas al paso de los ejes vehiculares, por franjas de piedra pegada.

Descripción de la sección de placa-huella:

- ✓ Longitud máxima de la placa es de 3 metros, más el ancho de la viga riostra que se estipuló en 20 cm, se establece que la longitud máxima de un módulo de la estructura para este proyecto es de 3.2 metros, la cual corresponde a la longitud del módulo.

- ✓ El espesor de las placa-huella es de 15 cm de concreto.
  Como resultado de la modelación mediante elementos finitos para vehículos livianos, El espesor requerido de concreto para soportar los esfuerzos producidos por el eje de diseño es menor de quince (15) centímetros, pero por facilidad constructiva y adecuado recubrimiento de la armadura de acero se adoptó un espesor único de quince (15) centímetro

Acero de refuerzo
- ✓ Refuerzo transversal: 1 Varilla de 3/8” Cada 20 cm.

7.6 Riostra.

La función de este elemento dentro de la estructura es la del confinamiento transversal y longitudinal de los elementos del pavimento que se construyen sobre la subbase, como los son: Placa-huella, la piedra pegada, la berma-cuneta y el bordillo.
Teniendo en cuenta que la disposición de los aceros de refuerzo de la placa-huella se procede a observar los planos estipulado en COLOMBIA RURAL, donde estos estipulan un tipo de acero # 3 separado cada 0.25m lo cual las riostras estarán en función de elementos oscilaciones para los módulos construidos, dado que cuando el coeficiente térmico o termicidad esté actuando los módulos trabajen independientes y no por contracción, para no evitar secuencia de oscilaciones.

Descripción de la Sección de la Viga Riostra.

- ✓ Ancho de la viga riostra: 0.20 m
- ✓ Altura de la viga riostra: 0.3 m
- ✓ Recubrimiento del acero: Se recomienda no trabajar con recubrimientos inferiores a 5 cm.

Acero de refuerzo

- ✓ Refuerzo Transversal: 1 Estribo en Varilla de 3/8" cada 0.25 m, con gancho de 135 grados

Implicaciones de la viga riostra:

- ✓ Sabiendo que la sección de la viga riostra de 0.20 m * 0.3 m, se debe realizar una zanja transversal de 0.20 m cm de ancho por 0.10 cm de profundidad, profundidad a la cual se debe construir el elemento.

- ✓ La excavación expresada anteriormente, se hace para compensar la diferencia entre el peralte de la riostra y el espesor de la placa huella: (0.25 m-0.15m=0.10m).

- ✓ Se hace claridad en el hecho de que constructivamente la subbase, debe ser extendida, conformada y compactada en toda su longitud y ancho de proyecto, y posteriormente se procede a conformas las franjas transversales para la construcción de las riostras.

- ✓ Lo longitud total de la riostra es variables y debe ajustarse al ancho de la sección transversal, en todas las condiciones que se presenten en la geometría del proyecto: tangente, en curva, en transición del sobreancho o en zona de cruce.

7.7 Resistencia y Especificaciones Técnicas del Concreto para Placa-Huella.

El concreto debe cumplir con los estándares dispuestos en las Especificaciones Técnicas para Construcción de Carreteras del Invías, según el Art. INV-500-13.

Dentro de las características que debe cumplir el concreto, se encuentran las siguientes:

- ✓ Resistencias a la compresión mínima solicitada debe ser de F'c= 210 Kg/Cm2 o 21 Mpa, a los 28 días de fraguado.

- ✓ El tamaño máximo del agregado grueso debe ser de 38 mm o 1 ½" (T máx.=38mm)

- ✓ Asentamiento máximo permitid= 5 cm (Norma de ensayo INV-404-13)

7.8 Características del Acero de Refuerzo de la Placa-Huella.

Para la configuración del acero se hacen las siguientes recomendaciones de construcción. Se procederá a construir parrillas de acero # 3 tanto longitudinal con transversal con el fin de trabajar las losas por modulo, dado que en la CARTILLA COLOMBIA RURAL, no lo describe enfáticamente, pero leer las los planos que estipulan los aceros se observa que específicamente no se concluye que los aceros deben ser continuos, esto se sustenta con las oscilaciones o variaciones volumétricas tenga la el modulo una vez actúe el careciente térmico y efectos contracción, siendo así se estipula que las funciones de los aceros en este tipo de placa huella no aplican para establecer esfuerzos, si no como recomendaciones constructivas para que al combinar con el concreto lleguen a una resistencia ultima, simulando una losa constructiva.

- ✓ Refuerzo Longitudinal placa huella.

Una Varilla número #3 cada veinte centímetros (1#3@0,20).

- ✓ Refuerzo Transversal placa huella.

Una Varilla numero 3 cada veinte centímetros (1#3@0,20).

- ✓ Viga Riostra.

Refuerzo Longitudinal. Cuatro Varillas No 3 (4#3). • Estribos. Una varilla No 3 cada 25 centímetros (1#3Q@0,25)

- ✓ Refuerzo en bordillos:

Refuerzo longitudinal.

Para el bordillo se estipulan 2 varillas # 3 separadas a una altura de 25 cm con un traslapo cada 0.54 m.

Refuerzo transversal.

Se trabajará de forma monolítica, es decir el acero transversal de huella o berma cuneta servirá de amarré para las varillas longitudinales del bordillo, siendo así este acero de refuerzo será de # 3

7.9 Características de la Piedra Pegada.

En las franjas de piedra pegada, la conformación del material utilizado es simular a un concreto ciclópeo, se recomienda seguir las disposiciones de las Especificaciones Técnicas

para Construcción de Carreteras del INVIAS Art-630-13, ya que, aunque estas franjas no se diseñan para soportar constantemente el peso de los ejes de los vehículos que circulan por la vía, si estarán expuestos en algunas ocasiones al desgaste por el tránsito vehicular y la acción del clima.
Se recomiendan las siguientes características para la piedra pegada:

- ✓ La piedra pegada es una capa de concreto cuyo espesor es de 15 cm.
- ✓ Se recomienda que la piedra sea de canto rodado, esto por el hecho de que este tipo de piedra tiene una mayor resistencia al desgaste frente al efecto abrasivo de las ruedas de los vehículos.
- ✓ El tamaño máximo de la piedra debe oscilar entre 8 cm y 12 cm.

7.10 Las características a tener en cuenta para el concreto simple.

- ✓ Resistencia a la compresión mínima es de F´c= 210 Kg/cm2 o 21 Mpa, a los 28 días de fraguado.
- ✓ Asentamiento permitido es de 5 cm (Norma de Ensayo INV 404-13)
- ✓ Tamaño máximo de agregado grueso debe ser de 38 mm o 1 ½" (Tmax=37 mm).

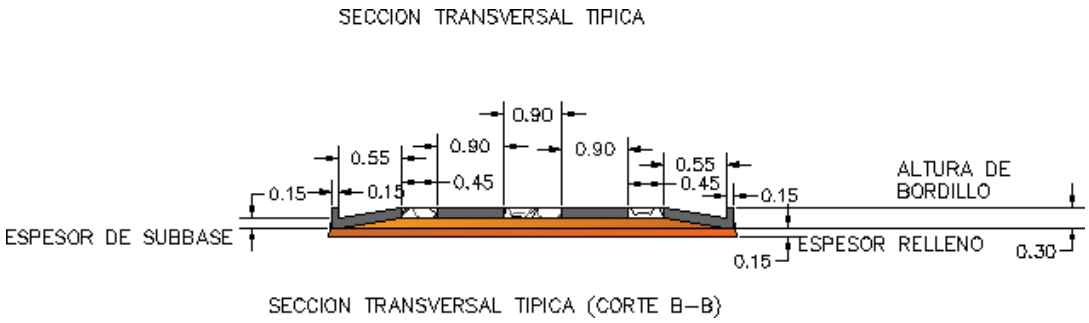
Las características de los agregados pétreos que se empleen en la construcción de la subbase granular, en acuerdo con lo contratado SUBBASE GRANULAR CLASE C y de acuerdo con el estudio de transito este arrojó que esta entre T0- T1, Una vez se vaya a construir la cantera debe cumplir con los requisitos que se indican en la Tabla 400.3.

7.11 Berma-Cuneta y Bordillo

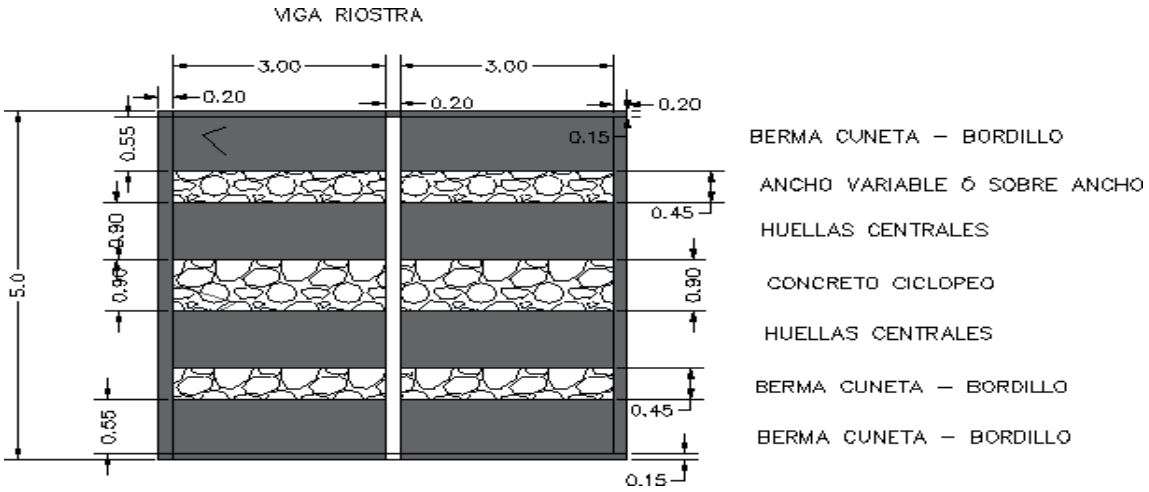
La Berma cuneta y bordillo son elementos de drenaje superficial construidos en concreto reforzado construido en concreto reforzado, fundidos monolíticamente y articulado estructuralmente con la riostra.
El refuerzo requerido y la característica de los materiales debe ser similares a los utilizado en la placa huella, la berma cuneta tiene adosado el bordillo de confinamiento a nivel de berma enterrado.

• Resistencia a la compresión a los 28 días f "c= 210 kg/cm2
CONFORMACION LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LA CAPA DE RODADURA.

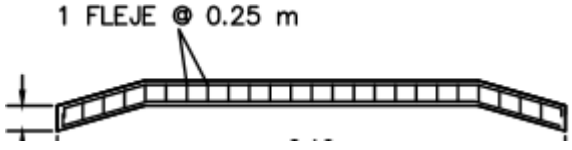
TRANSVERAL TIPICA – ZONA CUNETAS



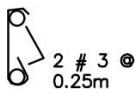
VISTA EN PLANTA SECCIÓN TIPICA – ZONA CUNETAS



CORTE LONGITUDINAL – VIGA RIOSTRA



CORTE LONGITUDINAL DE ACERO – BORDILLO DE CONFINAMIENTO



RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

-Analizando los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio desarrollados para la caracterización de los suelos de subrasante existentes en cada uno de los tramos a diseñar, se encontró que la capacidad portante de los suelos de fundación es inferior a un CBR de 3.0%, con lo cual se hace necesario el planteamiento de alternativas de mejoramiento o estabilización de dichos suelos, en dicho caso se utilizó IVANOV

- De acuerdo a los estudio realizados en laboratorio se debe hacer un mejoramiento de la subrasante con material de relleno, con el fin de que sea apto para subrasante de fundación, el espesor de la subbase por recomendaciones ya estipuladas en la cartilla Colombia rural e INVIAS debe tener un espesor de 15 cm por la granulometrías de los agregaos, y un espesor de losa de 15 cm también estipulado por los mismo debido a que las modulaciones con elementos finitos son inferiores para vehículos livianos a 15 cm.

- Trabajará con el bordillo enterrado teniendo en cuenta varios factores:
  1 como es un terreno relativamente plano por pendientes no se puede trabajar las escorrentías por lo que a través del bombeo se pretende que evacue el agua a los laterales y así no crear falsas películas de agua una vez termine de llover, otra recomendación del bordillo confinado es evitar las accidentalidades que hace un bordillo a la vista debido al ancho reducido de la calzada y por ultimo como es una zona no definida por entradas y salidas de vivienda en el tiempo los habitantes de nuevos predios fracturan estos sin medir las consecuencias que produce al eliminar los bordillos de confinamiento, y por último se busca mitigar el factor erosión.



ERWIN LUDWIG POLO OSORIO.
INGENIERO CIVIL
Esp. Vías Terrestres
MP: 091036-0559420 CND


MATRICULA PROFESIONAL
091037-0559420 CND
R2021061570
REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería
INGENIERIA CIVIL
ERWIN LUDWIG
POLO OSORIO
ID: 1007801333
UNIVERSIDAD DE LA SALLE