

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. ALCANCE	8
3. OBJETIVOS	9
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
4. LOCALIZACIÓN	10
4.1. INFORMACIÓN CLIMÁTICA.....	11
4.1.1. Temperatura	11
4.1.2. Precipitación	12
5. INFORMACIÓN GEOTÉCNICA.....	13
5.1. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS	15
5.2. CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUBRASANTE	18
5.3. MÓDULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE	19
6. FUENTES DE MATERIALES	20
6.1. TRABAJO DE CAMPO.....	20
7. TRÁNSITO DE DISEÑO	23
7.1. AFOROS VEHICULARES	24
8. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	27
8.1. PERIODO DE DISEÑO	27
8.2. VEHÍCULO DE DISEÑO	27
8.3. SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA VÍA	27
8.4. RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE	28
8.5. MATERIAL GRANULAR DE SOPORTE DE LA PLACA – HUELLA	29
8.6. MODULO DE CONSTRUCCIÓN PLACA – HUELLA Y RIOSTRA.....	30
8.6.1. Placa Huella	30
8.6.2. Riostra	31
8.6.3. Resistencia y especificaciones técnicas del concreto para placa - huella.....	33
8.6.4. Características y dimensiones del acero de refuerzo de la placa - huella.....	33
8.6.5. Características y especificaciones técnicas de la piedra pegada	35
8.6.6. Berma – Cuneta y Bordillo	36
8.6.7. Juntas constructivas	38
9. CONCLUSIONES.....	40
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

Listado de Tablas

Tabla 1 Estaciones Climatológicas próximas a la zona del proyecto	11
Tabla 2 Temperatura media mensual	11
Tabla 3 Precipitación media mensual	12
Tabla 4 Ubicación apiques sector La Cancha - Puracé	13
Tabla 5 Ubicación apiques sector Palmera - Monos.....	13
Tabla 6 Resumen de resultados de ensayos de laboratorio.....	14
Tabla 7 Clasificación del potencial de hinchamiento de suelos.....	14
Tabla 8 Resumen de resultados de ensayo de CBR	18
Tabla 9 Modulo resiliente de la subrasante	19
Tabla 10 Análisis de resultados de laboratorio para subbase granular fuente El Cairo	22
Tabla 11 Diseño de mezcla para concreto de 3.000 psi (21 MPa).....	22
Tabla 10 Transito Promedio diario Semanal, por sentido y por tipo de vehículo – La Cancha – Puracé	25
Tabla 11 Transito Promedio diario Semanal, por sentido y por tipo de vehículo – Palmera - Monos	26
Tabla 12 Modulo de reacción de la subrasante K.....	29

Listado de Figuras

Figura 1 Localización de los Sectores viales La Cancha – Puracé y Palmera - Monos.....	10
Figura 2 Localización de fuentes de materiales.....	20
Figura 2 Vehículo de diseño – Camión C3	23
Figura 3 Sección transversal típica	28
Figura 4 Vista en planta de una sección típica placa – huella y riostra	30
Figura 5 Vista en planta de acero de refuerzo de la riostra	32
Figura 6 Corte transversal con detalles constructivos de la riostra	32
Figura 7 Vista en planta de distribución de acero de refuerzo en la placa - huella	34
Figura 7 Corte transversal de distribución de acero de refuerzo en la placa - huella.....	34
Figura 9 Corte transversal con longitudes y posición de acero de refuerzo en la placa - huella	35
Figura 10 Corte longitudinal de distribución de acero de refuerzo en la placa - huella.....	35
Figura 11 Vista en planta con detalles constructivos de la berma - cuneta.....	37
Figura 12 Corte transversal con detalles constructivos de la berma - cuneta	37
Figura 13 Detalle de junta transversal de construcción en la placa - huella.....	38
Figura 14 Detalle de junta transversal de construcción en berma - cuneta.....	38
Figura 15 Detalle de junta transversal de construcción en riostra	39
Figura 16 Detalle de junta longitudinal entre placa – huella, riostra o berma – cuneta y piedra pegada.....	39

Listado de fotografías

Fotografía 1. Exploraciones de apique № 1 K0+200 La Cancha - Puracé.....	17
Fotografía 2. Exploraciones de apique № 7 K3+700 La Cancha – Puracé.....	17
Fotografía 3. Exploraciones de apique № 10 K2+300 Palmera - Monos	17
Fotografía 4. Exploraciones de apique № 15 K6+100 Palmera - Monos	18

1. INTRODUCCIÓN

La Empresa de Energía de Pereira S.A. ESP, ha encomendado a la firma Interestudios Ingeniería S.A.S, realizar los *Estudios y Planes Complementarios del Mejoramiento de las Vías Terciarias en el Municipio de Balboa – Risaralda*, para los sectores comprendidos entre La Cancha – Puracé y Palmera – Monos, según se lista a continuación:

Vía La Cancha – Puracé:

TRAMO	DESDE	HASTA	LONGITUD (m)
1	K0+100	K0+300	200
2	K0+350	K0+400	50
3	K0+500	K0+600	100
4	K0+650	K0+750	100
5	K0+800	K0+900	100
6	K1+000	K1+100	100
7	K2+700	K2+900	200
8	K3+200	K3+384.91	184.91
9	K3+600	K3+751.45	151.45

Vía Palmera – Monos:

TRAMO	DESDE	HASTA	LONGITUD (m)
1	K0+300	K0+600	300
2	K1+900	K2+000	100
3	K2+200	K2+400	200
4	K2+800	K3+000	200
5	K3+800	K3+900	100
6	K4+300	K4+800	500
7	K6+100	K6+407.8	307.8

Para conocer el tipo de suelos que se tienen a nivel de subrasante o suelo e fundación, se programó la ejecución de quince (15) 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 o hasta la profundidad que el suelo existente permitía, 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 Límites de Consistencia, Humedad Natural, Granulometría, Clasificación, Densidades y CBR.

Respecto del tránsito de diseño, se llevaron a cabo aforos vehiculares durante siete (7) días, en periodos de doce (12) horas, estableciendo dos (2) puntos de aforo para el sector de La Cancha – Puracé y así mismo, dos (2) puntos de aforo para el sector Palmera – Monos.

El objetivo de los aforos vehiculares es obtener la demanda de cada uno de los tramos y así mismo los horarios de mayor afluencia vehicular.

En cuanto a la metodología de diseño utilizada para definir la alternativa de pavimentación, se implementó la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella – Versión 2015 del Instituto Nacional de Vías - INVÍAS, así como las Especificaciones Generales Para Construcción de Carreteras del INVÍAS en su versión 2013.

2. ALCANCE

En el presente documento se presenta la alternativa de pavimentación mediante el sistema de placa-huella para el mejoramiento de las vías terciarias en el municipio de Balboa – Risaralda, atendiendo los sectores comprendidos entre las veredas de La Cancha - Puracé y Palmera – Monos.

Para tal fin se definen las variables de diseño como son clima, geotecnia y tránsito, aplicando los criterios previstos en la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa – Huella y las Especificaciones Técnicas para Construcción de Carreteras del INVÍAS, dando a conocer la sección típica de pavimento a construir en cada uno de los tramos en estudio, así como los esquemas y planos de detalle para el proceso constructivo.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Presentar una alternativa de pavimentación para cada uno de los tramos en estudio, implementando el sistema de Placa – Huella.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

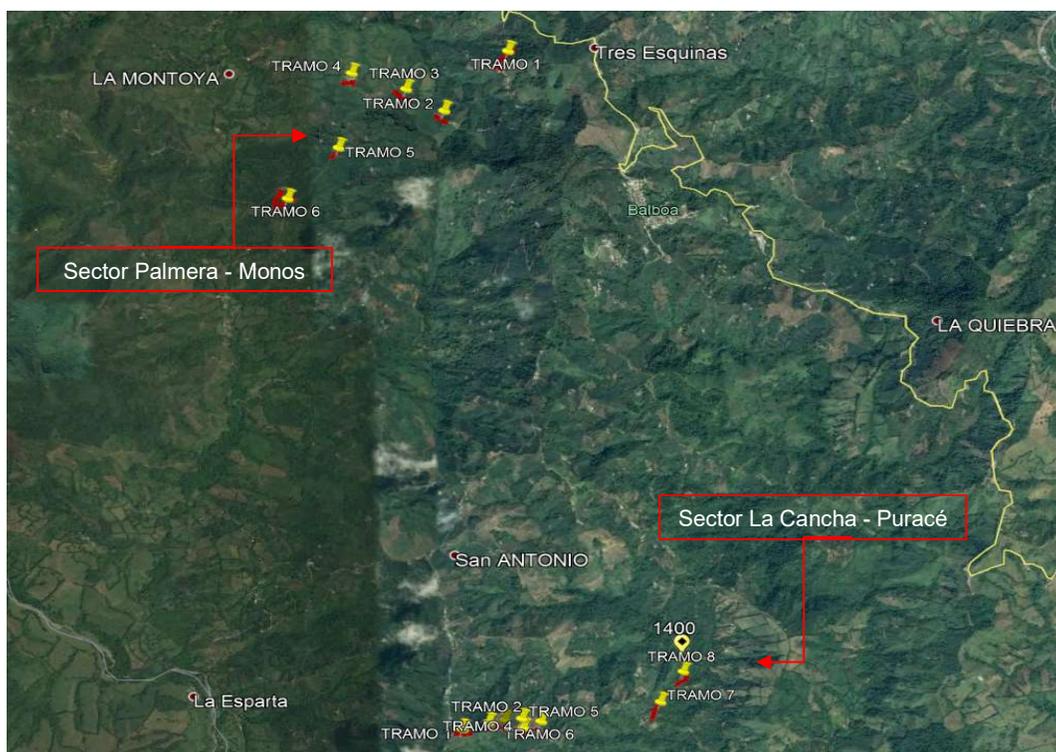
- Definir las variables de diseño para la estructura de pavimento, como son Clima, tránsito y capacidad portante de la subrasante o suelo de fundación.
- Proponer algunas recomendaciones técnicas a seguir durante el proceso constructivo, según lo dispuesto en la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa – Huella y las Especificaciones Técnicas para Construcción de Carreteras del INVÍAS.

4. LOCALIZACIÓN

El proyecto vial se encuentra ubicado en el municipio de Balboa - Risaralda y comprende algunos tramos de las vías veredales Palmera – Monos y La cancha – Puracé, los cuales se encuentran localizados en la subregión de Occidente y Sur del municipio respectivamente.

El municipio de Balboa – Risaralda limita por el norte con los municipios de La Celia y Santuario y Viterbo, por el sur con los municipios de Anserma Nuevo y Cartago que hacen parte del Valle del Cauca, por el oriente con los municipios de La Virginia y Belalcazar y por el occidente con el municipio de El Águila. La cabecera municipal de Balboa está aproximadamente a 52 kilómetros de la ciudad de Pereira, capital del Departamento y pertenece a región centro – occidental del país en la vertiente oriental de la cordillera occidental, y sus laderas descienden hacia los ríos Cauca, Risaralda, Cañaveral, Monos y Totuí.

Figura 1 Localización de los Sectores viales La Cancha – Puracé y Palmera - Monos



Fuente: Adaptación de Google Earth

4.1. INFORMACIÓN CLIMÁTICA

Para la información climática del proyecto, se tomaron los datos suministrados por las estaciones hidrometeorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); se escogieron las estaciones más cercanas al proyecto y representativas de las características climáticas de la zona. A continuación se relacionan las estaciones empleadas:

Tabla 1 Estaciones Climatológicas próximas a la zona del proyecto

Código	Estación	Tipo Estación	Coordenadas		Altitud (m.s.n.m.)	Municipio
			Latitud	Longitud		
26210110	La Alerta	Climatológica	4°53'33"N	75°52'58"E	922	La Virginia
26215020	La Virginia	Climatológica	4°54'00"N	75°53'00"E	950	La Virginia

Fuente: IDEAM, 2017.

4.1.1. Temperatura

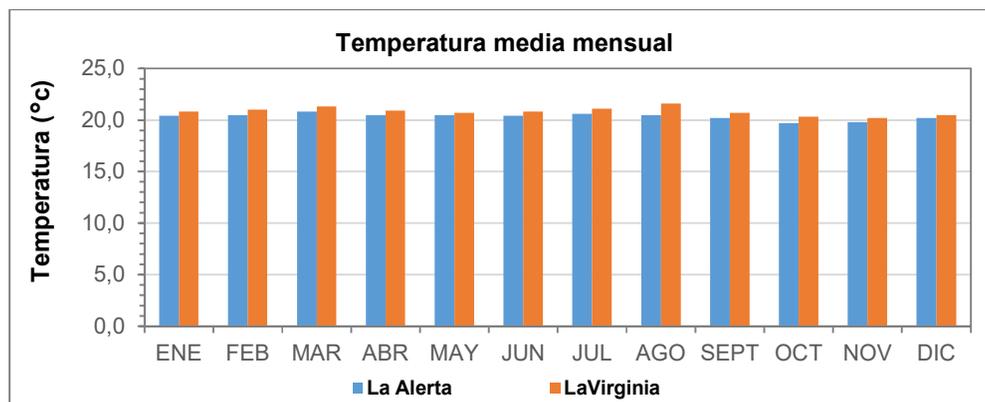
De acuerdo con los datos de las estaciones climatológicas analizadas, se observa que en la zona del proyecto se tiene un rango de variación de temperaturas que oscila desde los 19 °C hasta los 21 °C. En la siguiente tabla se encuentra la temperatura media registrada a lo largo del año, en las dos estaciones y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa el comportamiento anual.

Tabla 2 Temperatura media mensual

Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
La Alerta	20.4	20.5	20.8	20.5	20.5	20.4	20.6	20.5	20.2	19.7	19.8	20.2
La Virginia	20.8	21.0	21.3	20.9	20.7	20.8	21.1	21.6	20.7	20.3	20.2	20.5

Fuente: Base de datos estaciones climatológicas IDEAM

Gráfica 1 Temperatura media mensual



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

De acuerdo a los valores reportados anteriormente se establece como temperatura promedio del proyecto, **20.6 ° C.**

4.1.2. Precipitación

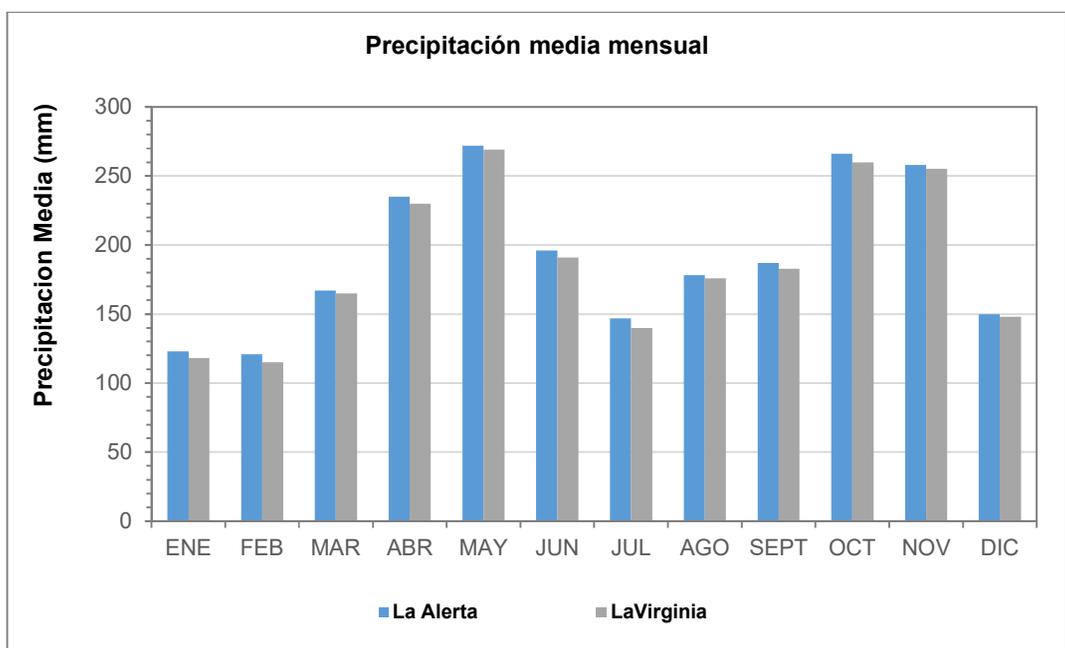
El régimen de precipitación para el área de influencia del proyecto muestra un comportamiento bimodal, presentándose dos periodos bien definidos: el primero entre los meses de abril a mayo, y el segundo de octubre a noviembre. Los meses de menos precipitación son Enero y Febrero con 122 mm de promedio, mientras que Mayo y Octubre, conforman la época de mayor precipitación del año, con un promedio de 282 mm. A continuación se presentan los datos registrados en las estaciones y su comportamiento:

Tabla 3 Precipitación media mensual

Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
La Alerta	123	121	167	235	272	196	147	178	187	266	258	150
La Virginia	118	115	165	230	269	191	140	176	183	260	255	148

Fuente: Base de datos estaciones climatológicas IDEAM

Gráfica 2 Precipitación Media Anual



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Se establece una precipitación media anual de **2275 mm**, para el presente proyecto.

5. INFORMACIÓN GEOTÉCNICA

Para conocer la capacidad de soporte de la subrasante se programó la ejecución de quince (15) apiques a una profundidad promedio de 1.50 m, de los cuales siete (7) fueron distribuidos en el sector vial de La Cancha – Puracé y los ocho (8) restantes en el sector de Palmera – Monos. En cada uno de los apiques se tomaron muestras del suelo encontrado a nivel de subrasante o suelo de fundación de la estructura de pavimento, a las cuales se les practico los siguientes ensayos, finalidad es determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales:

- Límites de consistencia o límites de Atterberg
- Granulometría y clasificación de suelos
- Humedad natural
- CBR con muestra inalterada (según el tipo de suelo encontrado)

Tabla 4 Ubicación apiques sector La Cancha - Puracé

Apique	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m)
	Norte	Este	
1	N4 54.583	W75 58.215	1550
2	N4 54.616	W75 58.096	1562
3	N4 54.598	W75 58.016	1525
4	N4 54.570	W75 57.921	1497
5	N4 54.631	W75 57.427	1215
6	N4 54.750	W75 57.324	1160
7	N4 54.848	W75 57.307	1110

Fuente: Estudio de Suelos Geotransvial S.A.S

Tabla 5 Ubicación apiques sector Palmera - Monos

Apique	Coordenadas		Elevación (m.s.n.m)
	Norte	Este	
1	N4 57.672	W75 58.084	1536
2	N4 57.404	W75 58.332	1551
3	N4 57.515	W75 58.474	1530
4	N4 57.595	W75 58.655	1457
5	N4 57.255	W75 58.748	1396
6	N4 57.013	W75 58.980	1363
7	N4 57.087	W75 58.989	1338
8	N4 56.777	W75 59.165	1225

Fuente: Estudio de Suelos Geotransvial S.A.S

Los resultados de laboratorio de los apiques y los perfiles estratigráficos se presentan en el **Anexo 1**. A continuación se describe de forma resumida los resultados obtenidos en cada una de las exploraciones ejecutadas, así como los espesores encontrados.

Tabla 6 Resumen de resultados de ensayos de laboratorio

SECTOR LA CANCHA - PURACÉ									
Apique	Abscisa	Profundidad (m)	W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Pasa №200 (%)	SUCS	CBR Inalterado
1	K0+200	0,00 - 1,50	63.2	NL	NP	NIP	57.6	ML	7.9
2	K0+500	0,30 - 1,50	44	NL	NP	NIP	61.4	ML	3.1
3	K0+850	0,00 - 1,50	76.7	NL	NP	NIP	56.3	ML	3.1
4	K1+050	0,00 - 1,50	20.5	NL	NP	NIP	57	ML	8.1
5	K2+800	0,10 - 1,50	36.9	NL	NP	NIP	65.3	ML	5.5
6	K3+300	0,30 - 1,50	31.1	NL	NP	NIP	66.2	ML	5.5
7	K3+700	0,80 - 1,50	14.9	NL	NP	NIP	62.1	ML	7.9
SECTOR LA PALMERA - MONOS									
8	K0+450	0,05 - 1,50	54.9	NL	NP	NIP	66.7	ML	8.6
9	K1+950	0,50 - 1,50	46.9	NL	NP	NIP	60.9	ML	3.1
10	K2+300	0,10 - 1,50	19.9	NL	NP	NIP	10.9	SP	15.6
11	K2+900	0,20 - 1,50	30.1	NL	NP	NIP	64.3	ML	6
12	K3+850	0,00 - 1,50	24.5	34.6	19.7	14.9	63.9	CL	4.5
13	K4+400	0,05 - 1,50	38.4	NL	NP	NIP	64.7	ML	4.4
14	K4+700	0,30 - 1,50	24.8	NL	NP	NIP	67.1	ML	9.2
15	K6+100	0,00 - 1,50	15.8	63.4	39.7	23.7	11.2	SC	13.0

Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Revisando los resultados de los límites de consistencia se observa que en la mayoría de los tramos, estos no tienen límite líquido ni límite plástico (NL, NP), lo cual resulta favorable para el proyecto dando cuenta de suelos de buena calidad. Por otra parte se realizó el análisis de potencial de expansión y contractibilidad, teniendo en cuenta los criterios de potencial de hinchamiento con los límites de Atterberg, como se muestra a continuación:

Tabla 7 Clasificación del potencial de hinchamiento de suelos

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

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito

De acuerdo con la calificación propuesta en la tabla anterior, se tiene que teóricamente en el tramo 15 (K6+100) de sector Palmera – Monos existen suelos con un potencial de hinchamiento alto, sin embargo al revisar los resultados del expansión en el ensayo de CBR para la misma muestra de suelo se obtuvo un valor menor al 2%, por lo que no se recomienda realizar ningún mejoramiento.

5.1. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

De acuerdo con los trabajos de campo realizados, se evidencia una estructura de pavimento conformada principalmente por una capa de rodadura en material granular tipo afirmado con presencia de zonas con césped y materia orgánica cuyo espesor varía entre 5.0 cm y 50.0 cm, no obstante en algunos de los tramos se reportó a nivel de rasante o capa de rodadura material tipo limo-arenoso.

Seguido de la capa de material de afirmado, se reportaron suelos de tipo limo arenosos y conglomerados coluviales cuyo espesor varía desde 0.05 m hasta 1.50 m. Es importante destacar que en ningunos de los apiques se reportó presencia de nivel freático.

A continuación se describe en detalle el perfil estratigráfico reportado para cada uno de los apiques ejecutados:

APIQUE Nº 1 (K0+200)

0.00 – 1.50 Limo arenoso color café. Clasificado como ML Limos inorgánicos y arenas muy finas, arenas finas arcillosas o limosas con ligera plasticidad. Con un promedio de humedad de 63.2%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 2 (K0+500)

0.00 – 0.05 Afirmado.

0.05 – 1.50 Limo arenoso color café. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 44.0%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 3 (K0+850)

0.00 – 1.50 Limo arenoso color café. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 76.7%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 4 (K1+050)

0.00 – 1.50 Limo arcilloso de color café con trazas amarillas en estado de consolidación. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 20.5%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 5 (K2+800)

0.00 – 0.10 Afirmado.

0.10 – 1.50 Limo arenoso color café. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 36.9%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 6 (K3+300)

0.00 – 0.30 Materia orgánica

0.30 – 1.50 Limo arenoso color café. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 31.1%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 7 (K3+700)

0.00 – 0.80 Limo arenoso color café con presencia de grava

0.80 – 1.50 Limo arenoso color café con presencia de grava parte de saprolito. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 14.9%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 8 (K0+450)

0.00 – 0.05 Limo arenoso color café

0.05 – 1.50 Limo arenoso color amarillo. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 54.9%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 9 (K1+950)

0.00 – 0.50 Afirmado y materia orgánica

0.50 – 1.50 Limo arenoso color café. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 54.9%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 10 (K2+300)

0.00 – 0.50 Afirmado

0.50 – 1.50 Conglomerado tipo coluvial de matriz limo arenosa color rojo claro con trazas amarillas. Clasificado como SP arenas mal gradadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos. Con un promedio de humedad de 19.9%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 11 (K2+900)

0.00 – 0.20 Afirmado

0.20 – 1.50 Conglomerado coluvial rojo claro con matriz limo arenosa. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 30.1%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 12 (K3+850)

0.00 – 1.50 Conglomerado coluvial rojo claro con trazas amarillas con matriz limo arenosa. Clasificado como CL arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas o limosas. Con un promedio de humedad de 24.5%. Límite líquido 34.6% límite plástico 19.7% e índice de plasticidad 14.9 %.

APIQUE Nº 13 (K4+400)

0.00 – 0.05 Afirmado

0.05 – 1.50 Limo arenoso color café. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 38.4%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 14 (K4+700)

0.00 – 0.10 Afirmado

0.10 – 0.30 Materia orgánica

0.30 – 1.50 Limo arenoso color café. Clasificado como ML. Con un promedio de humedad de 24.8%. Sin presencia de plasticidad.

APIQUE Nº 15 (K6+100)

0.00 – 1.50 Conglomerado coluvial rojo claro con trazas amarillas con matriz limo arenosa. Clasificado como SC arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla mal gradadas. Con un promedio de humedad de 15.8%. Límite líquido 63.4% límite plástico 39.7% e índice de plasticidad 23.7 %.

A manera ilustrativa, a continuación se muestra algunas fotografías logradas durante la campaña de exploración geotécnica.

Fotografía 1. Exploraciones de apique Nº 1 K0+200 La Cancha - Puracé



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Fotografía 2. Exploraciones de apique Nº 7 K3+700 La Cancha – Puracé



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Fotografía 3. Exploraciones de apique Nº 10 K2+300 Palmera - Monos



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

5.2. CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUBRASANTE

La capacidad de soporte de la subrasante es determinante en el comportamiento estructural de la estructura de pavimento, razón por la cual 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:

Tabla 8 Resumen de resultados de ensayo de CBR

SECTOR LA CANCHA - PURACÉ					
Apique	Abscisa	Profundidad (m)	SUCS	CBR Inalterado	% Expansión
1	K0+200	0,00 - 1,50	ML	7.9	0.76
2	K0+500	0,30 - 1,50	ML	3.1	0.38
3	K0+850	0,00 - 1,50	ML	3.1	0.22
4	K1+050	0,00 - 1,50	ML	8.1	0.76
5	K2+800	0,10 - 1,50	ML	5.5	0.29
6	K3+300	0,30 - 1,50	ML	5.5	0.71
7	K3+700	0,80 - 1,50	ML	7.9	0.59
SECTOR LA PALMERA - MONOS					
8	K0+450	0,05 - 1,50	ML	8.6	0.41
9	K1+950	0,50 - 1,50	ML	3.1	0.94
10	K2+300	0,10 - 1,50	SP	15.6	0.25
11	K2+900	0,20 - 1,50	ML	6	1.04
12	K3+850	0,00 - 1,50	CL	4.5	1.06
13	K4+400	0,05 - 1,50	ML	4.4	0.83
14	K4+700	0,30 - 1,50	ML	9.2	0.54
15	K6+100	0,00 - 1,50	SC	13.0	0.76

Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Como se observa en la tabla anterior, para cada uno de los tramos se obtuvo que la capacidad portante de los suelos de subrasante estimada en términos del ensayo de CBR es superior al 3.0%, por lo que siguiendo las recomendaciones de la Guía de diseño de Pavimentos con Placa-Huella del Instituto Nacional de Vías – INVÍAS, se tiene que cada uno de los tramos a diseñar cuenta con suelos de fundación que garantizan una buena plataforma de apoyo para la estructura de pavimento a construir, de tal forma que no se hace necesario plantear el mejoramiento o tratamiento de dichos suelos. Se destaca que los valores de CBR reportados corresponden a la condición crítica, es decir en condición de sumergido.

Ahora bien, al revisar el potencial de expansión de cada una de las muestras de suelo analizadas, se encontró que a pesar de tener suelos limosos y arcillosos, estos tienen un potencial de expansión bajo, pues el porcentaje de expansión obtenido en cada uno de los casos es inferior al 2.0%.

5.3. 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 2.002:

$$MR = 2555(CBR)^{0.64}$$

Donde:

MR = Modulo resiliente de la subrasante (psi)

Tabla 9 Modulo resiliente de la subrasante

SECTOR LA CANCHA - PURACÉ						
Apique	Abscisa	Profundidad (m)	SUCS	CBR Inalterado	MR (psi)	MR (MPa)
1	K0+200	0,00 - 1,50	ML	7.9	9591	66
2	K0+500	0,30 - 1,50	ML	3.1	5271	36
3	K0+850	0,00 - 1,50	ML	3.1	5271	36
4	K1+050	0,00 - 1,50	ML	8.1	9746	67
5	K2+800	0,10 - 1,50	ML	5.5	7607	52
6	K3+300	0,30 - 1,50	ML	5.5	7607	52
7	K3+700	0,80 - 1,50	ML	7.9	9591	66
SECTOR LA PALMERA - MONOS						
8	K0+450	0,05 - 1,50	ML	8.6	10127	70
9	K1+950	0,50 - 1,50	ML	3.1	5271	36
10	K2+300	0,10 - 1,50	SP	15.6	14825	102
11	K2+900	0,20 - 1,50	ML	6	8043	55
12	K3+850	0,00 - 1,50	CL	4.5	6690	46
13	K4+400	0,05 - 1,50	ML	4.4	6595	45
14	K4+700	0,30 - 1,50	ML	9.2	10573	73
15	K6+100	0,00 - 1,50	SC	13.0	13192	91

Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

6. FUENTES DE MATERIALES

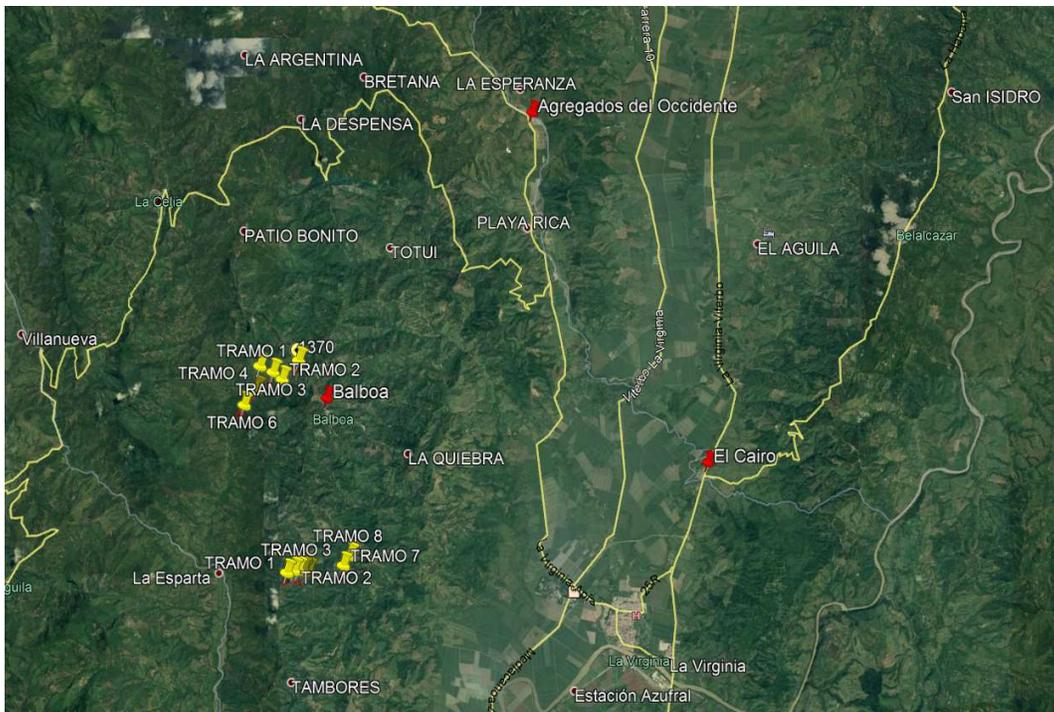
Para la realización del análisis de fuentes de materiales se hizo una investigación, teniendo en cuenta las fuentes en explotación en la zona del proyecto, así como las fuentes identificadas en el estudio de geología del proyecto y el análisis de las unidades geológicas que están aflorando en la vía y sus alrededores.

Como metodología de identificación de las fuentes de materiales, inicialmente se realizó un recorrido de inspección visual en los predios aledaños al corredor vial en estudio y su área de influencia, una vez determinadas las posibles áreas de explotación de material, se inició la exploración de campo mediante apiques manuales para tomar las muestras del material existente y su posterior análisis en el laboratorio.

6.1. TRABAJO DE CAMPO

Como parte de los trabajos de campo realizados se identificaron dos fuentes de materiales potenciales, las cuales corresponden a Construcciones El Cairo y Agregados de Occidente. Dichas fuentes de materiales se encuentran localizadas en cercanías a la cabecera municipal de Balboa, a una distancia aproximada de 25 Km.

Figura 2 Localización de fuentes de materiales



Fuente: Adaptación de Google Earht

Dada la localización de cada una de las fuentes de materiales seleccionadas, las cuales están próximas al Río Mapa, en la frontera entre los departamentos de Caldas y Risaralda, se tiene que por su naturaleza el material de cantera es proveniente de peña y corrientes aluviales.

Para el estudio y la caracterización de los materiales obtenidos, se realizaron una serie de ensayos de laboratorio propuestos en las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras del INVÍAS para cada uno de los materiales requeridos para la construcción de las obras, como Subbase Granular (INV-320-13) y Concretos (INV-500-13). A continuación, se listan los ensayos de laboratorio realizados:

- Análisis granulométrico para subbase granular, base granular y concretos (INV E 320-13, INV E 330-13 e INV E 500-13).
- Determinación de limite líquido y limite plástico (INV E-125-13 e INV E-126-13).
- Equivalente de arena de suelos y agregados finos (INV E-133-13).
- Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½) por medio de la máquina de los ángeles (INV E-218-13).
- Sanidad de los agregados frente a la acción de las soluciones de sulfato de sodio o magnesio (INV E-220-13).
- Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznales en los agregados (INV E -211-13).
- Desgaste de los agregados en el equipo microdeval (INV E-238-13).
- Relaciones de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación INV E-142-13).
- CBR suelos compactados en laboratorio y sobre muestra inalterada (INV E 148-13).

Tabla 10 Análisis de resultados de laboratorio para subbase granular fuente El Cairo

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUB-BASE GRANULAR				
		CLASE C	CLASE B	CLASE A	EL CAIRO	CUMPLE/ NO CUMPLE
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	E-218	50	50	50	25.6	CUMPLE
500 revoluciones (%)						
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	35	30	16	CUMPLE
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220					
Sulfato de sodio		12	12	12	8.7	CUMPLE
Sulfato de magnesio		18	18	18	-	-
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25	NL	CUMPLE
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 Y E-126	6	6	6	NP	CUMPLE
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25	35	CUMPLE
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2	2	0.7	CUMPLE
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo	E-148	30	30	40	44	CUMPLE

Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Tabla 11 Diseño de mezcla para concreto de 3.000 psi (21 MPa)

Dosificación	Cemento	Arena	Grava
	1	2.5	3

Dosificación por bulto de cemento

Material	Peso (Kg)	Volumen (m3)	Nº de Baldes
Grava	126.4	0.083	9
Arena	125.7	0.076	8
Agua	24.5	0.025	3

Dosificación para probeta de muestra o testigo

Material	Peso (Kg)	Volumen (m3)
Cemento	2.5	0.00082
Grava	6.3	0.00233
Arena	6.2	0.00219
Agua	1.2	0.00124

7. TRÁNSITO DE DISEÑO

El tránsito es un parámetro importante para la definición del tipo de intervención a ejecutar en cada tramo, pues en función del uso vehicular y las características geotécnicas y climáticas de la zona se dimensionan las alternativas de pavimentación.

Como parte de los estudios realizados por esta consultoría se llevaron a cabo aforos vehiculares durante siete (7) días, en periodos de doce (12) horas, estableciendo dos (2) puntos de aforo para el sector de La Cancha – Puracé y así mismo, dos (2) puntos de aforo para el sector Palmera – Monos.

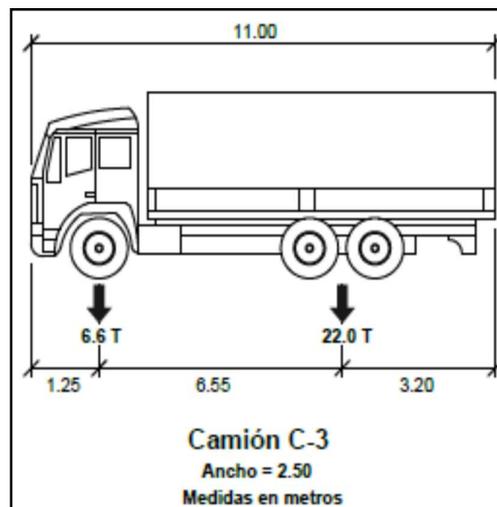
El objetivo de los aforos vehiculares es obtener la demanda de cada uno de los tramos y así mismo los horarios de mayor afluencia vehicular.

No obstante al conocer que en el presente proyecto se pretende implementar el sistema de pavimentación con placa – huella, no resulta indispensable elaborar un estudio de tránsito debido a que el mecanismo de falla de dichos pavimentos ocurre cuando las secciones de losas en concreto reforzado están expuestas a cargas que superan la resistencia última de diseño y no por repeticiones de carga.

Dicho lo anterior, lo relevante al momento de plantear una alternativa de pavimentación con placa – huella es la selección del vehículo de diseño, puesto que de él depende el peso y configuración del eje de referencia y la adecuación geométrica con la que se debe construir a la vía para que dicho vehículo pueda circular adecuadamente.

Atendiendo a las recomendaciones técnicas y razones constructivas expuestas en la Guía de Diseño para Pavimentos con Placa – Huella, se toma como eje de referencia para el diseño estructural del pavimento el eje tándem de 22 toneladas de un camión tipo C-3, cuya distribución de cargas se ilustra a continuación:

Figura 3 Vehículo de diseño – Camión C3



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

7.1. AFOROS VEHICULARES

Como parte de los trabajos de campo se programaron aforos vehiculares durante siete (7) días, en periodos de doce (12) horas, estableciendo dos (2) puntos de aforo para el sector de La Cancha – Puracé y así mismo, dos (2) puntos de aforo para el sector Palmera – Monos.

Los puntos de aforo para el sector de La Cancha – Puracé se ubicaron en el K0+100 y K4+200 (La Cancha – La Bodega), mientras que los puntos de aforo para el sector de Palmera – Monos se ubicaron en el K0+300 y K6+400 (La Alejandría – La Planta).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, a continuación se presenta el consolidado de los aforos vehiculares realizados en lo que corresponde al Estudio de Tránsito:

Tabla 12 Transito Promedio diario Semanal, por sentido y por tipo de vehículo – La Cancha – Puracé

LA CANCHA – LA BODEGA K0+100

ACCESO	MOVIMIENTO	LIVIANOS, MOTOCICLETAS Y BICICLETAS			CAMIONES					JEEP	TRANSPORTE PUBLICO COLECTIVO (TPC)	MIXTOS
		MOTO	AUTO	MOTOCICLETAS Y AUTOS	C2P	C2G	C3	C4	CAM	J	INT	MIXTOS
OCCIDENTE	3	14	1	15	4	1	0	0	4	6	0	25
ORIENTE	4	18	1	19	2	1	0	0	2	2	0	23
TOTAL PERIODO DE TOMA		32	2	34	6	2	0	0	6	8	0	48
COMPOSICIÓN		66.7%	4.2%	70.8%	12.5%	4.2%	0.0%	0.0%	12.5%	16.7%	0.0%	100.0%

Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

LA CANCHA – LA BODEGA K4+200

ACCESO	MOVIMIENTO	LIVIANOS, MOTOCICLETAS Y BICICLETAS			CAMIONES					JEEP	TRANSPORTE PUBLICO COLECTIVO (TPC)	MIXTOS
		MOTO	AUTO	MOTOCICLETAS Y AUTOS	C2P	C2G	C3	C4	CAM	J	INT	MIXTOS
OCCIDENTE	3	4	1	5	1	0	0	0	1	1	0	7
ORIENTE	4	2	1	3	1	0	0	0	1	1	0	5
TOTAL PERIODO DE TOMA		6	2	8	2	0	0	0	2	2	0	12
COMPOSICIÓN		50.0%	16.7%	66.7%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%	16.7%	16.7%	0.0%	100.0%

Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Tabla 13 Transito Promedio diario Semanal, por sentido y por tipo de vehículo – Palmera - Monos
LA ALEJANDRÍA – LA PLANTA K0+300

ACCESO	MOVIMIENTO	LIVIANOS, MOTOCICLETAS Y BICICLETAS			CAMIONES					JEEP	TRANSPORTE PUBLICO COLECTIVO (TPC)	MIXTOS
		MOTO	AUTO	MOTOCICLETAS Y AUTOS	C2P	C2G	C3	C4	CAM	J	INT	MIXTOS
OCCIDENTE	3	68	4	72	2	1	0	0	3	8	1	84
ORIENTE	4	61	4	65	4	1	0	0	5	11	1	82
TOTAL PERIODO DE TOMA		129	8	137	6	2	0	0	8	19	2	164
COMPOSICIÓN		78.7	4.2%	83.5%	12.5%	1.2%	0.0%	0.0%	4.9%	11.6%	1.2%	100.0%

Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

LA ALEJANDRÍA – LA PLANTA K6+400

ACCESO	MOVIMIENTO	LIVIANOS, MOTOCICLETAS Y BICICLETAS			CAMIONES					JEEP	TRANSPORTE PUBLICO COLECTIVO (TPC)	MIXTOS
		MOTO	AUTO	MOTOCICLETAS Y AUTOS	C2P	C2G	C3	C4	CAM	J	INT	MIXTOS
OCCIDENTE	3	25	0	25	1	0	0	0	1	5	1	32
ORIENTE	4	70	0	70	3	0	0	0	3	12	1	86
TOTAL PERIODO DE TOMA		95	0	95	4	0	0	0	4	17	2	116
COMPOSICIÓN		81.9%	0.0%	81.9%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	3.4%	14.7%	1.7%	100.0%

Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Analizando los resultados obtenidos en los aforos vehiculares, para el sector de La Cancha – Puracé se tiene que aproximadamente del 66% de los usuarios de los sectores viales en estudio transitan en automóvil o motocicleta. Otro 17% está compuesto por camiones tipo C2P Y C2G y el 17% restante lo conforman vehículos camperos tipo JEEP.

Respecto del tramo Palmera – Monos se tiene que aproximadamente del 82% de los usuarios de los sectores viales en estudio transitan en automóvil o motocicleta. Otro 3.4% está compuesto por camiones tipo C2P Y C2G y el 14.6% restante lo conforman vehículos camperos tipo JEEP.

Con los aforos vehiculares se logró constatar que el vehículo de mayor peso que circula por los corredores viales a diseñar es el camión tipo C2G, por lo que la hipótesis de diseño en la cual se toma como vehículo de diseño el camión C3 resulta apropiada para las características del proyecto.

8. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Los criterios de diseño y las recomendaciones técnicas y constructivas que se desarrollan a continuación, obedecen a los lineamientos preestablecidos en la Guía de Diseño para Pavimentos con Placa – Huella del Instituto Nacional de Vías – INVÍAS en su versión 2015.

8.1. PERIODO DE DISEÑO

Se adopta un periodo de diseño de 20 años siguiendo lo dispuesto en la Guía de Diseño de Pavimentos en Placa – Huella del INVÍAS en su versión 2015, requiriendo únicamente del mantenimiento rutinario como lo es la limpieza de las obras de drenaje y la rocería de las zonas laterales.

8.2. VEHÍCULO DE DISEÑO

Considerando que las estructuras de pavimentos con el sistema de placa – huella proporcionan una solución de transitabilidad principalmente para vías terciarias o veredales, se debe prever la circulación de camiones que transporten los productos agropecuarios, forestales, mineros o industriales que se extraigan o fabriquen en la zona del proyecto y asimismo en zonas aledañas, por lo que se ha adoptado para el presente diseño como vehículo de diseño el camión de tipo C3, cuyas características en cuanto a dimensiones y carga por eje se ilustran en la figura 2 del presente documento.

8.3. SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA VÍA

Aun cuando la definición de la sección transversal de la vía es un tema que se encuentra directamente asociado al diseño geométrico de la vía, se deben considerar otros aspectos fundamentales dentro de los cuales se encuentra el mecanismo de falla de los pavimento con placa – huella.

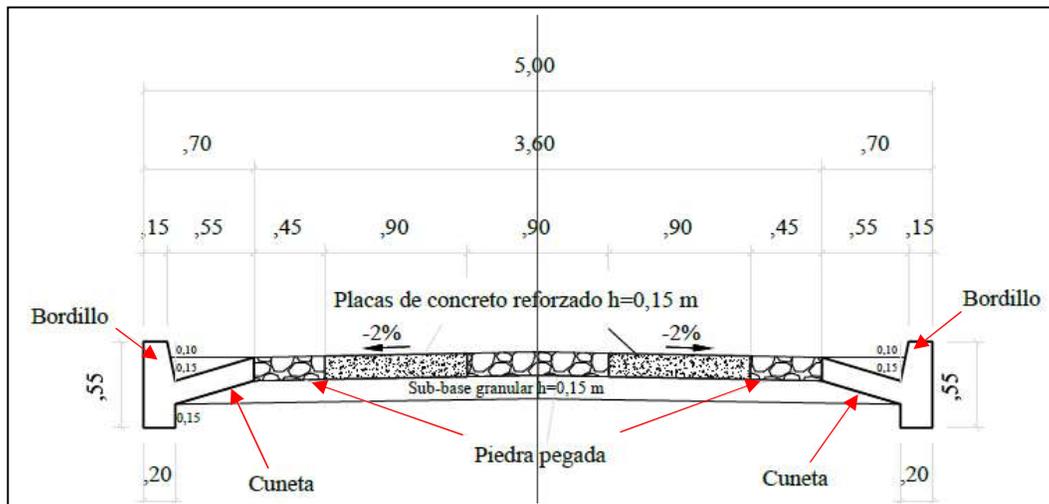
De acuerdo con lo expuesto en la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa – Huella del INVÍAS, para garantizar la seguridad y el confort de los usuarios, además de la durabilidad de la estructura de pavimento se recomienda una sección transversal para los tramos en tangente de cinco (5.0) metros de ancho. La razón principal por la cual se adopta este ancho obedece a evitar, hasta donde sea posible, que los vehículos circulen sobre las secciones en piedra pegada, debido a que su comportamiento ante la acción de cargas impartidas por el tránsito vehicular es incierto.

Una sección transversal con ancho superior a cinco (5.0) metros no es recomendable, debido a que permitiría que los vehículos se puedan cruzar en cualquier punto de la vía con alta probabilidad de que una de las ruedas del eje cargado circule sobre la sección en piedra pegada. Adicionalmente al tener anchos de vía mayores a cinco (5.0) metros implicarían mayores costos de obra, haciendo que la alternativa de pavimentación no sea competitiva frente a los sistemas de pavimentación convencional.

Para el caso de las secciones en curva, los camiones tipo C3 al girar pueden seguir trayectorias con sus ruedas traseras en las que estas circulen sobre la sección en piedra pegada, por lo que se hace necesario sustituir las secciones en piedra pegada por franjas con placa – huella reforzadas.

La estructura de pavimento de placa - huella para las zonas en curva se debe construir ajustándola al diseño geométrico, utilizando secciones rectangulares o trapezoidales con anchos preestablecidos de 0.45 m, 0.90 m, 1.35, y 1.80 m. y longitudes entre 1.00 m y 2.80 m.

Figura 4 Sección transversal típica



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

8.4. RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE

Tomando como referencia el análisis de capacidad portante de la subrasante realizado en el numeral 5.3 del presente documento, se obtuvieron los siguientes valores de módulo resiliente para cada tramo, a través de los cuales se estimó el módulo de reacción de la subrasante “K”.

SECTOR LA CANCHA - PURACÉ							
Apique	Abscisa	Profundidad (m)	SUCS	CBR Inalterado	MR (psi)	MR (MPa)	K (MPa/m)
1	K0+200	0,00 - 1,50	ML	7.9	9591	66	49
2	K0+500	0,30 -1,50	ML	3.1	5271	36	29
3	K0+850	0,00 - 1,50	ML	3.1	5271	36	29
4	K1+050	0,00 - 1,50	ML	8.1	9746	67	50
5	K2+800	0,10 - 1,50	ML	5.5	7607	52	41
6	K3+300	0,30 - 1,50	ML	5.5	7607	52	41
7	K3+700	0,80 - 1,50	ML	7.9	9591	66	49
SECTOR LA PALMERA – MONOS							
8	K0+450	0,05 - 1,50	ML	8.6	10127	70	51
9	K1+950	0,50 - 1,50	ML	3.1	5271	36	29
10	K2+300	0,10 - 1,50	SP	15.6	14825	102	64
11	K2+900	0,20 - 1,50	ML	6.0	8043	55	43
12	K3+850	0,00 - 1,50	CL	4.5	6690	46	37
13	K4+400	0,05 - 1,50	ML	4.4	6595	45	36
14	K4+700	0,30 -1,50	ML	9.2	10573	73	53
15	K6+100	0,00 - 1,50	SC	13.0	13192	91	60

Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Como parte de los resultados que se obtuvieron en las modelaciones realizadas para estructurar la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa – Huella, se realizó el análisis de sensibilidad de las variables que inciden en el comportamiento del pavimento con placa – huella, donde pudo concluir que las dimensiones de la placa - huella y la cuantía de acero de refuerzo no son sensibles a la rigidez de la superficie de apoyo.

Ahora bien, es importante mencionar que la capacidad portante de la subrasante en términos del ensayo de CBR mínima a garantizar en los diseños debe ser del 3.0 %, por lo que los resultados obtenidos para el ensayo de CBR en cada uno de los tramos a diseñar en el presente proyecto estarían cumpliendo.

La subrasante que se evalúa para calificar su capacidad de soporte es el estrato subyacente al afirmado existente. El aporte estructural de la capa de afirmado que pueda existir no se toma en cuenta y se considera como un factor de seguridad, según lo dispuesto en la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa – Huella.

8.5. MATERIAL GRANULAR DE SOPORTE DE LA PLACA – HUELLA

Previo a la instalación del material de subbase granular se debe realizar la conformación del suelo de fundación conforme con lo indicado en el artículo INV-310-13 de las especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVÍAS. Una vez se tiene conformado el terreno de fundación de acuerdo con los alineamientos y cota previstos en el diseño geométrico, y se encuentre adecuadamente compactada se deberá extender, conformar y compactar una capa de subbase granular tipo A que cumpla la especificación general vigente en el Instituto Nacional de Vías INV-320-13.

La subbase granular deberá tener como mínimo un espesor de 15 cm en todo el ancho de la sección transversal. Si la conformación de la superficie existente no permite configurar el bombeo en las tangentes (-2%) y el peralte y su transición en las curvas (2%) ésta labor se deberá ejecutar al momento de construir la subbase.

Lo anterior implica que la subbase tendría en la zona central de la calzada y en la parte externa de las curvas horizontales un espesor superior al mínimo de quince centímetros (0,15 m).

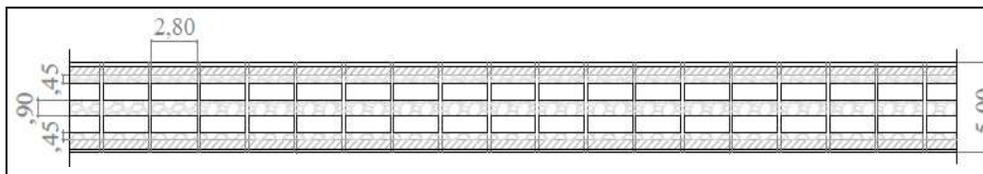
Las funciones de la subbase son:

- Constituir una superficie de trabajo limpia para construir sobre ella los elementos restantes que conforman el pavimento con Placa-huella.
- Incrementar la rigidez de la superficie de apoyo de las placas-huellas, de la piedra pegada y de las berma-cunetas.

8.6. MODULO DE CONSTRUCCIÓN PLACA – HUELLA Y RIOSTRA

Considerando que el conjunto de placa – huella y riostras se funden monolíticamente, se dice que son un módulo debido a que estructuralmente trabajan en conjunto. Tanto las placas – huella como las riostras se deben construir en concreto reforzado.

Figura 5 Vista en planta de una sección típica placa – huella y riostra



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Como se observa en la figura anterior, la sección típica de construcción de pavimentos con el sistema de placa huella consta de una franja central en piedra pegada de 90 cm de ancho, la cual esta confinada longitudinalmente en ambos extremos por una losa de concreto de 90 cm de ancho y 2.80 m de largo. Posteriormente cuando ya se tiene las placa huellas conformadas, se construye en los costados externos de cada placa una sección de piedra pegada de 45 cm. Finalmente cada uno de los extremos laterales de la vía se debe confinar mediante la berma – cuneta prevista, cuyo ancho es de 70 cm incluidos los 15 cm de ancho del bordillo.

8.6.1. Placa Huella

La placa-huella es una losa de concreto reforzado fundida sobre la subbase granular en la que el acero de refuerzo se entrecruza con el acero de refuerzo de la riostra y con el acero de refuerzo de la placa - huella del módulo siguiente.

Dentro de las principales funciones de la placa – huella está soportar los esfuerzos que se producen por el paso de los ejes de los vehículos, así como canalizar la circulación vehicular permitiendo sustituir en las franjas de la sección transversal no sometidas al paso de los ejes un material relativamente costoso como es el concreto simple por uno más económico como lo es la piedra pegada (concreto ciclópeo), lo que genera una menor inversión.

- La longitud máxima de la placa - huella es de dos metros con ochenta centímetros (2,80 m). Como el ancho de la riostra siempre es de veinte centímetros (0,20 m) la longitud máxima de un módulo es de tres metros (3,0 m) y corresponde a la longitud del módulo en tangente.
- En las curvas horizontales la longitud de la placa - huella puede fluctuar entre un (1,00) metro y dos metros con ochenta centímetros (2,80 m).
- El ancho de la placa - huella en tangente es de noventa centímetros (0,90 m).
- Dependiendo de su deflexión y radio de curvatura las curvas horizontales pueden requerir placas - huella de anchos mayores. De acuerdo con la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa – Huella se establece para las secciones en curva tres valores de ancho: noventa centímetros (0,90 m), un metro con treinta y cinco centímetros (1,35 m) y un metro con ochenta centímetros (1,80 m).
- El espesor de la placas - huella es de quince centímetros (0,15 m), el cual obedece a los resultados obtenidos en las diferentes modelaciones mediante las cuales se estructuro la Guía de Diseño del INVÍAS, donde se consideró los espesores de recubrimiento de las barras de acero y la facilidad constructiva.

8.6.2. Riostra

La riostra es una viga transversal de concreto reforzado en la que su acero de refuerzo se entrecruza con el acero de refuerzo de la placa-huella del módulo anterior y con el acero de refuerzo de la placa-huella del módulo siguiente.

La función de la riostra es exclusivamente de confinamiento transversal y longitudinal de los elementos del pavimento que se construyen sobre la subbase, como son las placas-huella, la piedra pegada, la berma-cuneta y el bordillo. Dado que el acero de refuerzo de la placa-huella anterior pasa a través de la riostra y se traslapa con el acero de refuerzo de la placa-huella siguiente son estas placas-huella, que están totalmente apoyadas sobre la subbase, las que sostienen la riostra por lo que la rigidez de su apoyo resulta irrelevante.

- El ancho de la riostra es de veinte centímetros (0,20 m).

La longitud máxima de la riostra deberá ser de 6.80 m.

Para el acero de refuerzo longitudinal se requieren 4 varillas número 4 (4#4)

Para el acero de refuerzo transversal o de los estribos se requiere 1 varilla número 2 cada 15 cm (1#2@0.15).

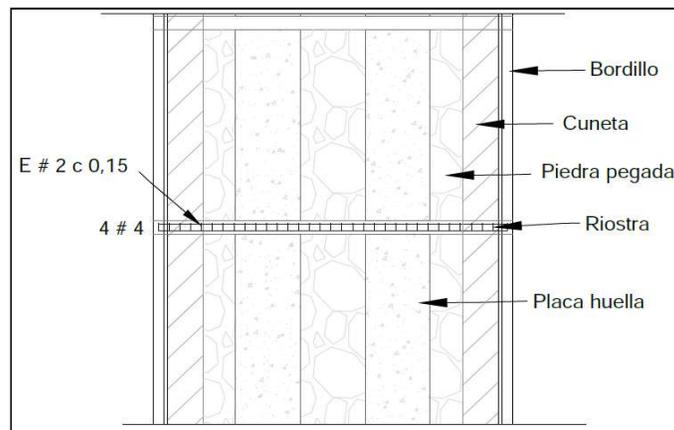
El recubrimiento de las varillas longitudinales #4 es de 7.5 cm en la parte inferior y de 4.0 cm en la parte superior.

- El peralte de la riostra es de treinta centímetros (0,30 m). Dicha riostra se apoya totalmente sobre la superficie existente, es decir en la superficie sobre la que se construye la subbase granular, previa la colocación de un solado de limpieza de tres centímetros (0,03 m) de espesor.

Lo anterior implica:

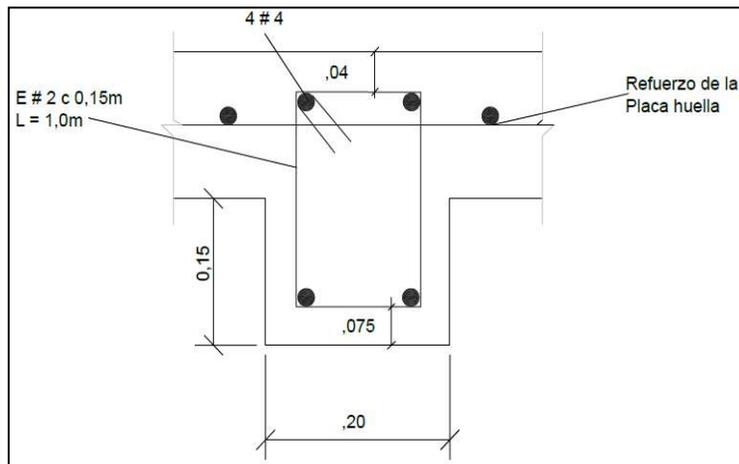
- Excavar, en la subbase, una zanja transversal de veinte centímetros (0,20 m) de ancho y dieciocho centímetros (0,18 m) de profundidad en la sección donde se debe construir la riostra.
- Lo anterior se requiere para compensar la diferencia entre el peralte de la riostra + el solado de limpieza y el espesor de la placa-huella (0,33 m - 0,15 m) = 0,18 m.
- Se aclara que la subbase granular se extiende, se conforma y se compacta en toda su longitud y ancho y posteriormente se procede a conformar las zanjas transversales para construir las riostras.
- La longitud de la riostra es variable y se ajusta al ancho de la sección transversal sea ésta en tangente, en curva, en transición del sobrecancho o en Zona de Cruce.

Figura 6 Vista en planta de acero de refuerzo de la riostra



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Figura 7 Corte transversal con detalles constructivos de la riostra



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

8.6.3. Resistencia y especificaciones técnicas del concreto para placa - huella

Considerando que los pavimentos construidos con el sistema de placa – huella implican una inversión importante, durante la ejecución de la obra se debe garantizar la producción de un concreto de buena calidad, que cumpla con los estándares de las Especificaciones Técnicas para Construcción de Carreteras del INVÍAS, según el artículo INV – 500 – 13.

Dentro de las principales características que debe cumplir el concreto se destacan las siguientes:

- La resistencia a la compresión mínima solicitada para la construcción de este tipo de estructuras es de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (21 MPa) a los 28 días de fraguado.
- El tamaño máximo del agregado grueso debe ser de 38 mm ($T_{\max} = 38 \text{ mm}$)
- El asentamiento máximo permitido es de 5 cm (Norma de ensayo INV-404-13)

Ahora bien, si la producción del concreto se realiza en la obra, se deberá establecer un protocolo de control de calidad básico, el cual consistente en utilizar en la vía una mezcladora de un saco de cemento, verificar la limpieza de los agregados mediante inspección visual rechazando los que contengan limos, arcillas o materia orgánica. Así mismo se recomienda dosificar por volumen haciendo uso de cajones de madera correctamente dimensionados tanto para el agregado grueso como para el agregado fino y ejercer un permanente control del asentamiento de la mezcla, garantizando una resistencia a la compresión a los 28 días de $f'c = 210 \text{ kg /cm}^2$ (21 MPa).

8.6.4. Características y dimensiones del acero de refuerzo de la placa - huella

Tomando como referencia las modelaciones realizadas para los distintos tipos de estructuras analizadas en la Guía para el Diseño de Pavimentos con el Sistema de Placa – Huella, mediante los cuales se optimizó las dimensiones y espesores de la placa huella, así como de las franjas de piedra pegada, se hacen las siguientes recomendaciones para la configuración del acero de refuerzo de la placa – huella:

El tipo de acero por utilizar deberá tener una resistencia a la fluencia de 60.000 psi (280 Mpa).

El acero de refuerzo deberá ser de tipo corrugado.

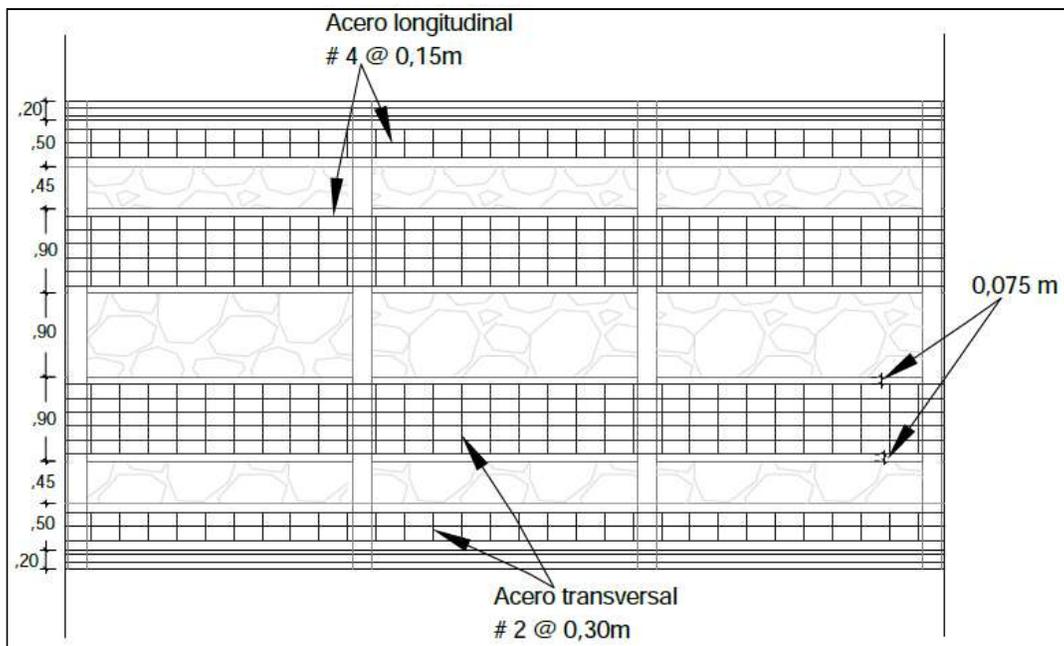
Para el acero de refuerzo longitudinal se recomienda una varilla número 4 cada quince centímetros (1#4@0.15).

En cuanto al acero de refuerzo transversal se recomienda una varilla número 2 cada treinta centímetros (1#2@0.30).

La longitud de traslape de las varillas longitudinales #4 deberá ser mínimo de 60 cm.

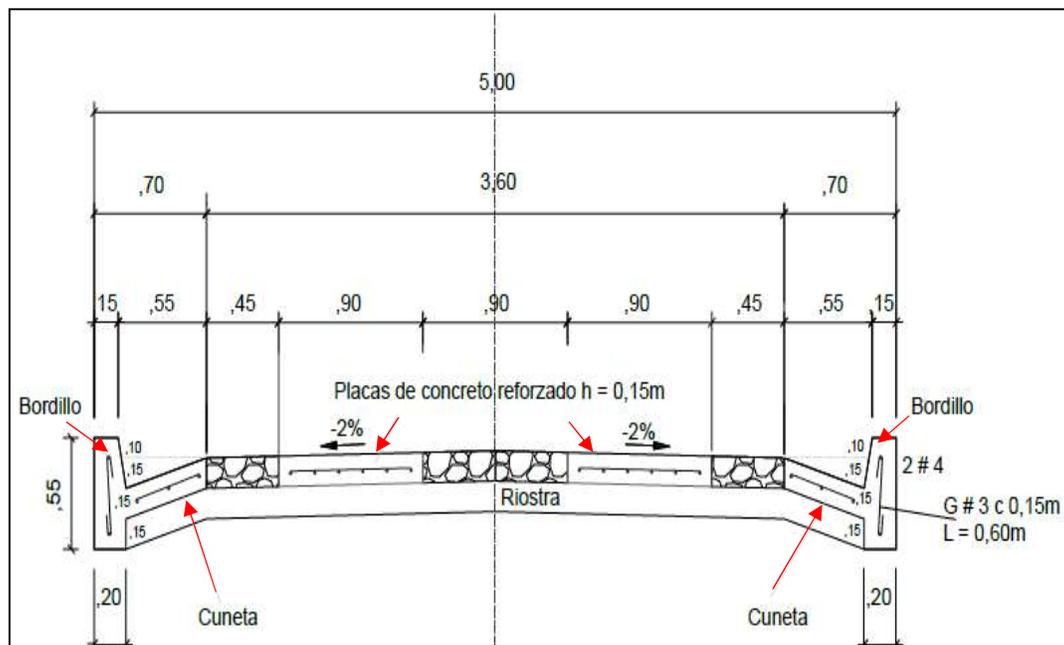
El acero de refuerzo se debe colocar en la mitad del espesor de la placa-huella, lo que implica un recubrimiento de 7.5 cm tanto en la cara superior como en la inferior.

Figura 8 Vista en planta de distribución de acero de refuerzo en la placa - huella

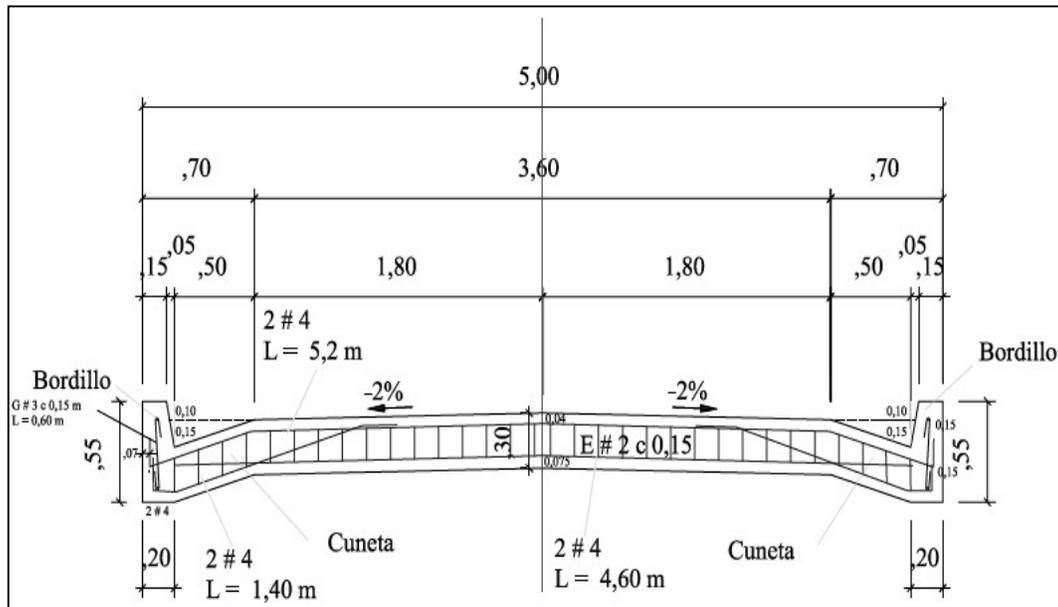


Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Figura 9 Corte transversal de distribución de acero de refuerzo en la placa - huella

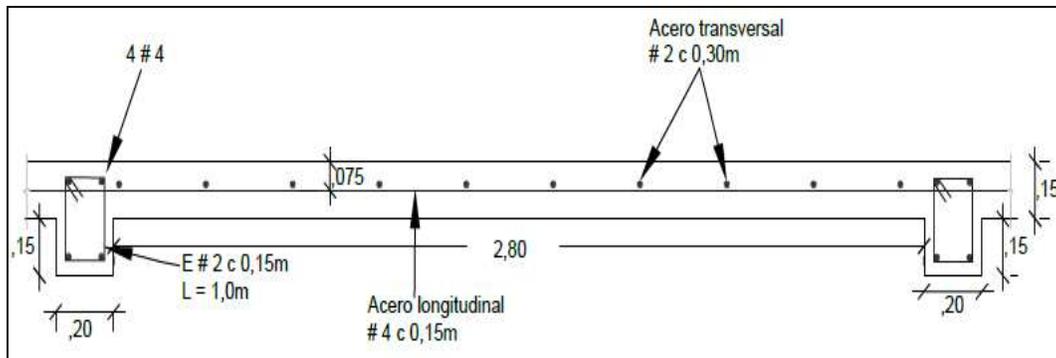


Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Figura 11 Corte longitudinal de distribución de acero de refuerzo en la placa - huella



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

8.6.5. Características y especificaciones técnicas de la piedra pegada

Respecto de las franjas de piedra pegada, donde el material utilizado para su conformación resulta similar a un concreto ciclópeo, se recomienda seguir lo dispuesto en el artículo INV – 630- 13 de las Especificaciones Técnicas para Construcción de Carreteras del INVÍAS, puesto que dichos materiales también estarán expuestos a la acción del clima y el desgaste por la acción de tránsito vehicular.

En cuanto a las características técnicas de la piedra pegada, se destacan las siguientes:

- La piedra pegada es una capa de concreto ciclópeo con espesor de quince centímetros (0,15 m).
Se recomienda que esta sea de canto rodado, lo que le permite tener una mayor resistencia al desgaste ante el efecto abrasivo de las ruedas de los vehículos.
- La piedra pegada conformada por un concreto ciclópeo, está compuesto por 60% de concreto simple y 40% de agregado pétreo.
- El tamaño máximo de la piedra pegada debe estar entre 8 cm y 12 cm.
- Las características que debe cumplir el concreto simple son las siguientes:
 - La resistencia a la compresión mínima solicitada para la construcción de este tipo de estructuras es de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (21 MPa) a los 28 días de fraguado.
 - El tamaño máximo del agregado grueso debe ser de 38 mm ($T_{max} = 38 \text{ mm}$)
 - El asentamiento máximo permitido es de 5 cm (Norma de ensayo INV-404-13)

Dentro de las funciones de la piedra pegada se destacan las siguientes:

- Disminuir los costos de construcción del pavimento ya que es un material menos costoso que el concreto simple.
- Inducir la canalización del tránsito dado que la alta rugosidad que presenta la piedra pegada desestimula a los conductores a circular por fuera de las placas-huella.

Contribuir a la estética del camino.

Para la colocación de la piedra pegada se recomienda colocar una capa de concreto simple de 5cm directamente sobre la subbase granular, previo a la fundida y fraguado de la placa – huella, la riostra y la berma – cuneta que permitan el confinamiento.

Posteriormente se debe colocar el material pétreo manualmente, generando una distribución uniforme y asegurando que la proporción de 60% de concreto simple y 40% de agregado pétreo se cumpla.

8.6.6. Berma – Cuneta y Bordillo

La berma – cuneta y el bordillo constituyen elementos de drenaje superficial, los cuales deben ser fundidos monolíticamente en concreto reforzado en secciones dilatadas o articuladas estructuralmente con la riostra.

Dentro de las funciones de la piedra pegada se destacan las siguientes:

- Servir como franja de estacionamiento temporal en el caso de que un vehículo lo requiera por fallas totalmente mecánicas u otra causa de fuerza mayor permitiendo que el flujo vehicular no se interrumpa.

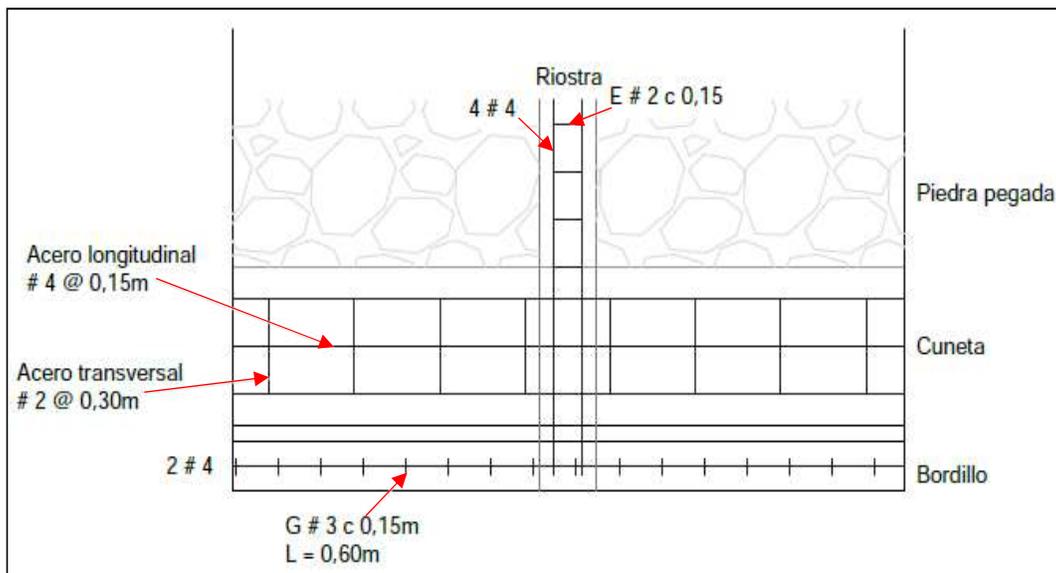
Permitir la recolección de las aguas lluvias y conducir las hasta las alcantarillas y aliviaderos para su evacuación.

Brindar confinamiento a la subbase.

Es importante considerar que dada la geometría de la vía, donde se tiene un ancho de la sección transversal típica de 5.0 m, existe la posibilidad de que la berma – cuneta sea transitada por los vehículos, por lo que se hace necesario que el espesor, el acero de refuerzo requerido y las características de los materiales a utilizar para su construcción sean de características similares a las de la placa – huella.

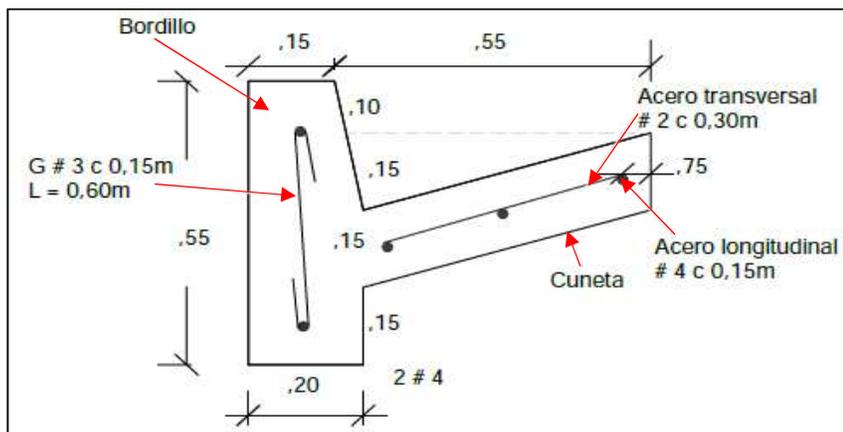
A continuación se presentan los esquemas de planta y perfil de los detalles constructivos de la de la berma – cuneta:

Figura 12 Vista en planta con detalles constructivos de la berma - cuneta



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

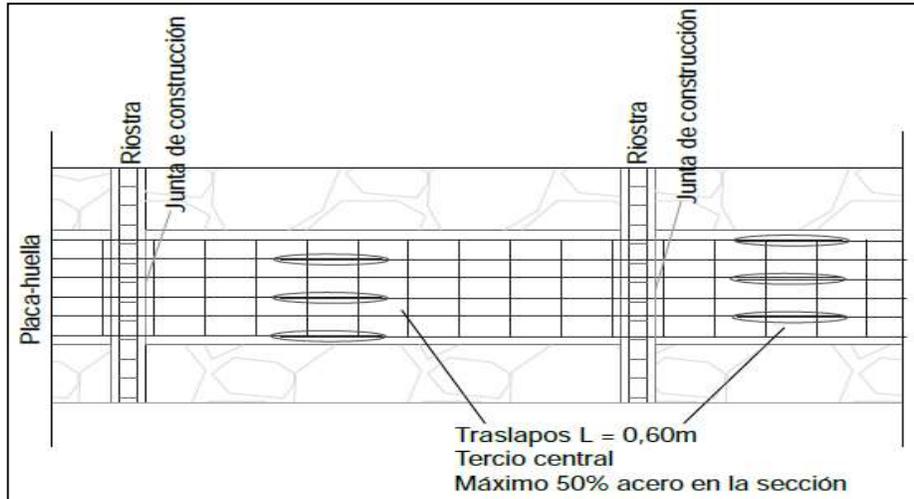
Figura 13 Corte transversal con detalles constructivos de la berma - cuneta



8.6.7. Juntas constructivas

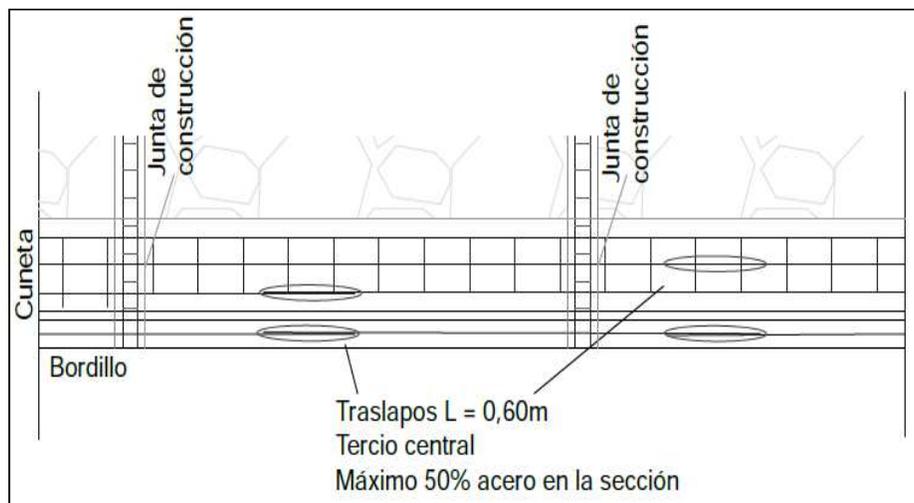
Considerando que los pavimentos construidos con el sistema de placa – huella deben funcionar como una estructura monolítica, se debe garantizar la adecuada transmisión de esfuerzos y deformaciones en cada uno de los elementos que la conforman. Atendiendo a este requerimiento, a continuación se muestran algunos esquemas donde se sugiere algunas recomendaciones constructivas para llevar a cabo los traslapos entre barras de acero:

Figura 14 Detalle de junta transversal de construcción en la placa - huella



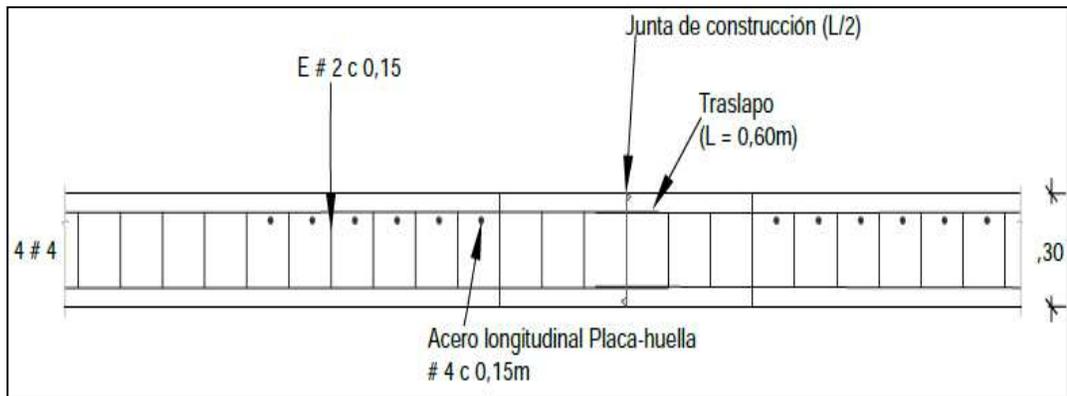
Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Figura 15 Detalle de junta transversal de construcción en berma - cuneta



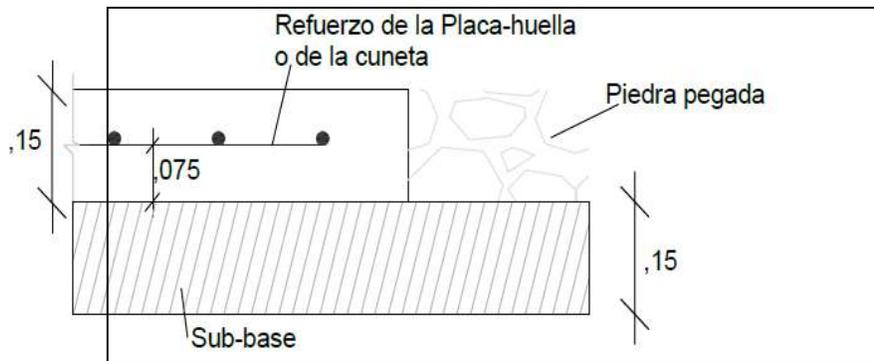
Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Figura 16 Detalle de junta transversal de construcción en riostra



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

Figura 17 Detalle de junta longitudinal entre placa – huella, riostra o berma – cuneta y piedra pegada



Fuente: Interestudios Ingeniería S.A.S

9. 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 superior a un CBR de 3.0%, con lo cual no se hace necesario el planteamiento de alternativas de mejoramiento o estabilización de dichos suelos.

Por otra parte, al conocer los resultados de los límites de consistencia y el reporte del porcentaje de expansión obtenido en cada una de las muestras de suelo recuperadas, para cada uno de los tramos se tiene una condición favorable, donde los suelos encontrados presentan un potencial de expansión bajo.

Se destaca además que en ninguno de los apiques ejecutados se reportó la presencia de nivel freático, no obstante para evaluar la capacidad portante de la subrasante mediante el ensayo de CBR, se consideró la condición más desfavorable que corresponde al CBR en condición sumergida.

- Respecto del tránsito utilizado para el diseño de la estructura de pavimento en placa – huella es importante resaltar que, no resulta indispensable elaborar un estudio de tránsito debido a que el mecanismo de falla de dichos pavimentos ocurre cuando las secciones de losas en concreto reforzado están expuestas a cargas que superan la resistencia última de diseño y no por repeticiones de carga, de tal forma que el objetivo de los aforos vehiculares es obtener la demanda de cada uno de los tramos y así mismo los horarios de mayor afluencia vehicular.

Analizando los resultados obtenidos en los aforos vehiculares, para el sector de La Cancha – Puracé se tiene que aproximadamente del 66% de los usuarios de los sectores viales en estudio transitan en automóvil o motocicleta. Otro 17% está compuesto por camiones tipo C2P Y C2G y el 17% restante lo conforman vehículos camperos tipo JEEP.

Para el tramo Palmera – Monos se tiene que aproximadamente del 82% de los usuarios de los sectores viales en estudio transitan en automóvil o motocicleta. Otro 3.4% está compuesto por camiones tipo C2P Y C2G y el 14.6% restante lo conforman vehículos camperos tipo JEEP.

Por lo anterior, lo relevante al momento de plantear una alternativa de pavimentación con placa – huella es la selección del vehículo de diseño, puesto que de él depende el peso y configuración del eje de referencia y la adecuación geométrica con la que se debe construir a la vía para que dicho vehículo pueda circular adecuadamente.

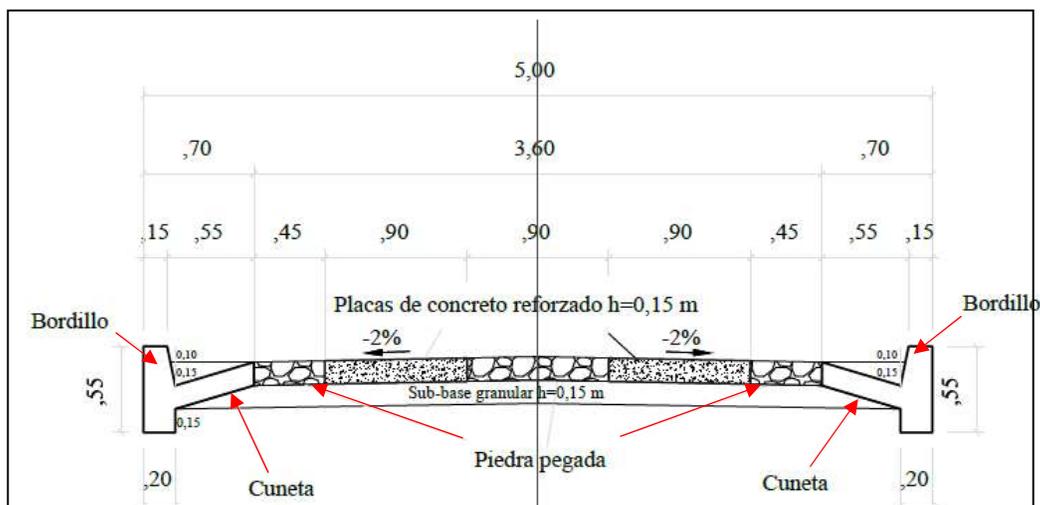
Atendiendo a las recomendaciones técnicas y razones constructivas expuestas en la Guía de Diseño para Pavimentos con Placa – Huella, para el presente proyecto se tomó como eje de referencia para el diseño estructural del pavimento el eje tándem de 22 toneladas de un camión tipo C-3.

- En cuanto al dimensionamiento de la estructura de pavimento en placa – huella es importante mencionar que no se hizo un análisis particular para cada uno de los tramos, lo anterior debido a que una vez se estableció el vehículo de diseño y las características geotécnicas de cada una de las zonas, se encontró que los lineamientos y criterios de diseño con los cuales se estructuró la Guía para Diseño de Pavimentos con Placa – Huella del INVÍAS versión 2015, resultan apropiados para las características del proyecto, por lo que la estructura de pavimentación propuesta es aplicable para cada uno de los tramos analizados.

No obstante, se aclara que la modulación de las secciones de placa – huella de cada uno de los tramos resulta diferente, pues el trazado y la longitud de cada uno de estos requieren de un análisis particular, de tal forma que en los planos anexos al presente documento se muestra el detalle de la modulación de las placa – huellas de cada uno de los tramos.

La sección transversal típica propuesta como alternativa de pavimentación es la siguiente:

Sección transversal típica



- Durante el proceso constructivo se debe garantizar el cumplimiento de las condiciones mínimas de diseño contempladas en el presente informe, dentro de las cuales se destacan las siguientes:
 - La capacidad portante de la subrasante en terminos del ensayo de CBR debe ser de $CBR \geq 3.0\%$.
 - El espesor mínimo de subbase granular por colocar debe ser de 15 cm.
 - La subrasante y la subbase granular deben ser debidamente compactadas hasta alcanzar la resistencia se diseño.
 - Se debe garantizar el confinamiento de la subbase granular mediante la riostra y el bordillo.

- Las cuantías de acero de refuerzo propuestas corresponden a la cuantía de acero mínima requerida según el diseño, de tal manera que una variación en los espaciamientos, diámetro o longitud de las barras puede dar lugar a fallas estructurales.
- Las juntas de construcción de la placa-huella deben hacerse a un tercio de la longitud de la misma, medido desde la riostra y en ese punto se permite traslape de máximo el 50% del refuerzo longitudinal
- La Junta de construcción de la riostra debe hacerse a 30 cm del punto donde termina la placa-huella, en este punto se permite traslape de máximo el 50% del acero longitudinal.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guía para el Diseño de Pavimentos con Placa – Huella - INVÍAS Versión 2015.
- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras – INVÍAS 2013