- Continuación Diseño Geométrico

"ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE 10 KM DE VÍAS URBANAS Y/O RURALES EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DE ACUERDO CON LAS METAS E INDICADORES ESTABLECIDOS EN EL PLAN DE DESARROLLO "GOBIERNO DE LA GENTE "2020-2023".

DISEÑO GEOMÉTRICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO HIDRÁULICO EN LOS BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

INTRODUCCIÓN.

De acuerdo con la solicitud presentada por el MUNICIPIO DE MONTERÍA, se realizó el diseño geométrico para la construcción de pavimento en concreto hidráulico en los barrios San Francisco y Robles del Norte en el municipio de Montería - departamento de Córdoba.

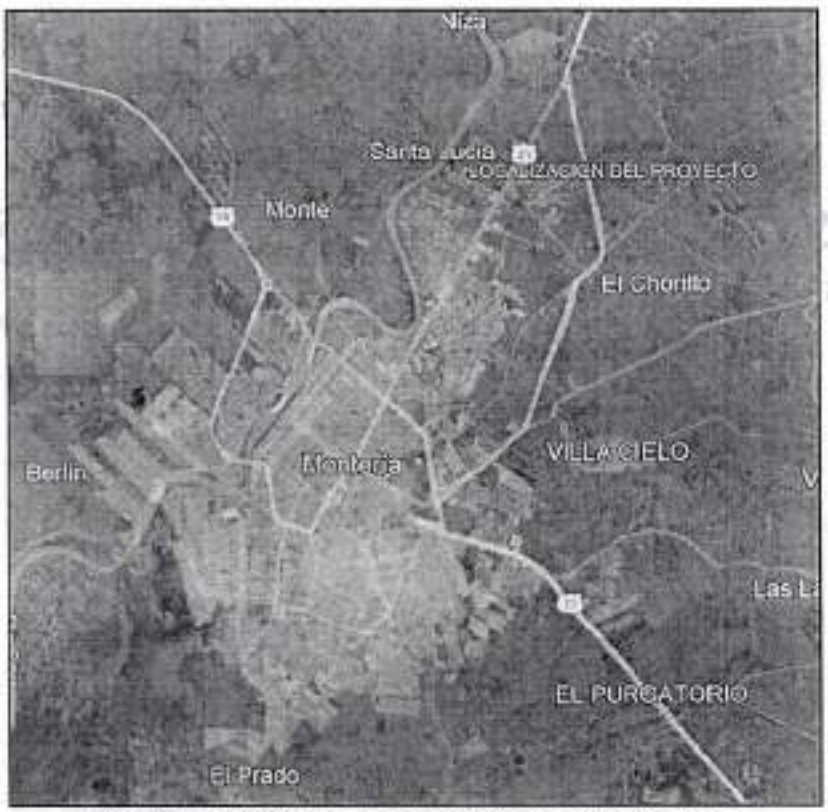


Figura 1. Localización del proyecto en el municipio.
Fuente: Google Earth.

El proyecto consiste en la construcción de 0.66 Km m de pavimento hidráulico (DOBLE CALZADA) correspondiente al siguiente tramo:

ITEM	DIRECCIÓN	COMUNA/ CORREGIMIENTO	BARRIO/VEREDA
12	Carrera 4 entre las calles 73 Y 77 (DOBLE CALZADA)	8	SAN FRANCISCO – ROBLES DEL NORTE

Tabla 1. Tramos de vías a construir.
Fuente: Suministrado por el solicitante.

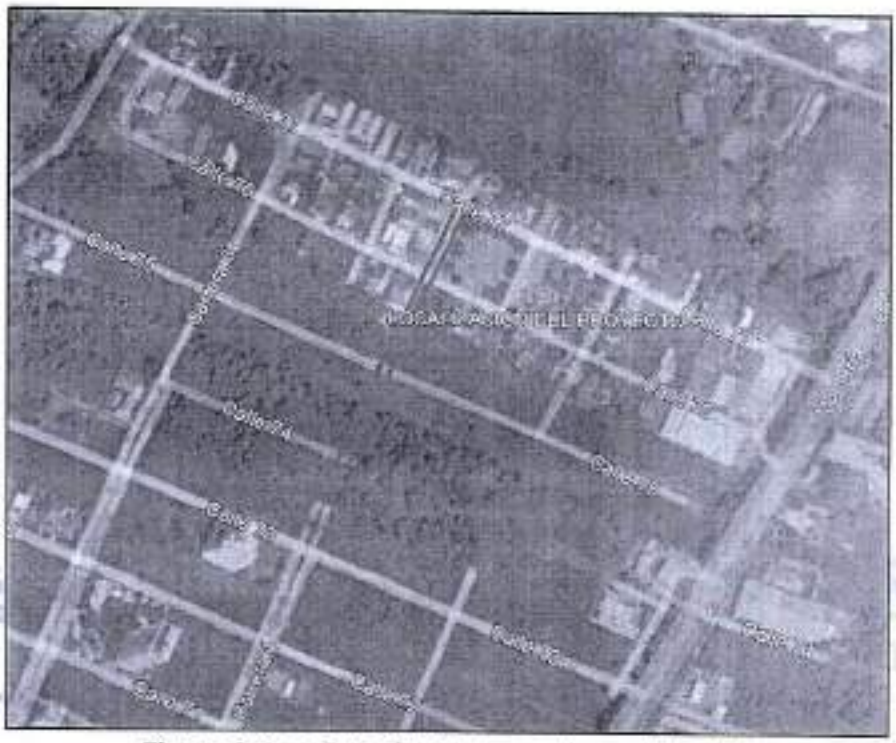


Figura 2. Localización del proyecto en el barrio.
Fuente: Google Earth.

2. OBJETIVOS Y ALCANCES.

2.1. Objetivo.

Diseñar un modelo de carretera sobre el plano topográfico para la construcción de pavimento en concreto rígido en la vía que es objeto de estudio, siguiendo los parámetros y lineamientos establecidos por el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

2.2. Alcances.

- Determinar criterios y normas establecidas que se puedan adoptar a las condiciones actuales de la topografía de nuestra vía existente, ajustándonos a los parámetros del

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

- Determinar los valores típicos que cumplan con las expectativas de ancho transversal, pendiente longitudinal mínima, bombeo y peralte mínimo, de acuerdo a las condiciones topográficas de la zona.
- Ajustar a condiciones óptimas todos los parámetros de diseños en trazado horizontal y vertical determinadas por velocidad de diseño.
- Garantizar la seguridad en el recorrido de la vía tanto a los conductores como a los peatones ajustando la velocidad al tipo de zona.
- Presentar los criterios y carteras de diseños relacionados en el programa AutoCAD Civil 3D con los elementos de curvatura horizontal, vertical, coordenadas de localización del trazado, cotas de diseño y movimiento de tierras serán presentadas en ANEXOS.

3. GENERALIDADES.

3.1. Generalidades del municipio.

El municipio de Montería está situado en la zona centro del departamento de Córdoba, correspondiente a las tierras planas y ligeramente onduladas, de los valles de los ríos San Jorge y Sinú, entre las coordenadas 08° 45´27" de latitud Norte y 75° 53´24" de longitud Oeste, cubre un área total de 3141 Km^2.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales



Figura 3. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba. Fuente: Wikipedia, la enciclopedia libre. "Montería", [En línea]. Julio de 2013, [julio de 2013]. Disponible en la web: https://es.wikipedia.org/wiki/Monter%C3%ADa.

Limita al Norte con el municipio de Cereté, Puerto Escondido y San Pelayo; al este con San Carlos y Planeta Rica; al sur con Tierralta y Valencia; al oeste con el departamento de Antioquia y los municipios de Canalete y San Carlos.



Figura 4. Mapa subregiones del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.2. Geología.

El municipio de Montería hace parte de la unidad estratigráfica del Cinturón de San Jacinto y las unidades litoestratigráficas del anticlinorio de San Jerónimo conformado por rocas ígneas y rocas sedimentarias.

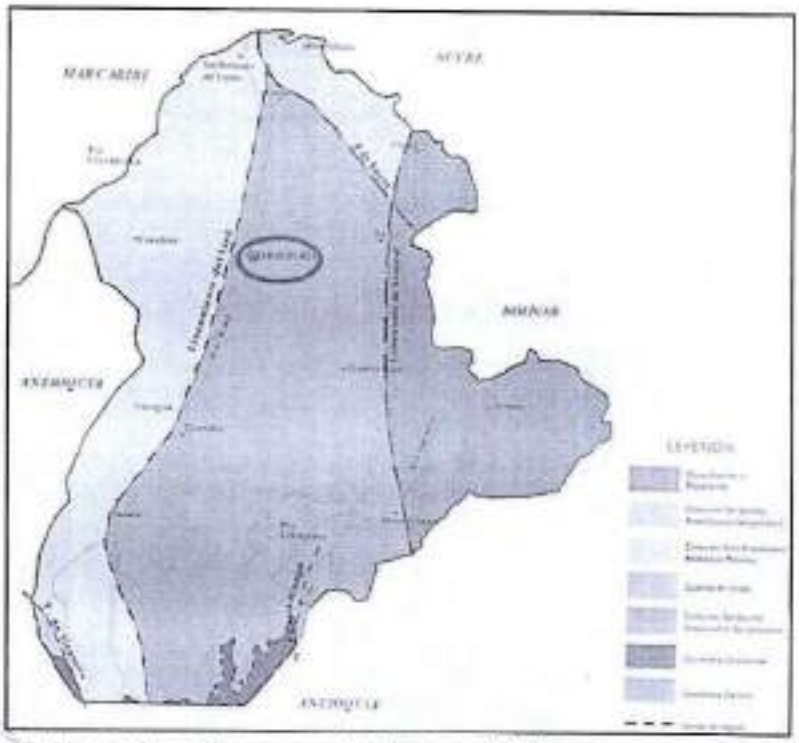


Figura 5. Mapa de regiones geotectónicas del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

PABLO CASTILLA NEGRETE

El depósito encontrado en el proyecto corresponde a:

Q-al

Depósitos aluviales y llanuras aluviales.

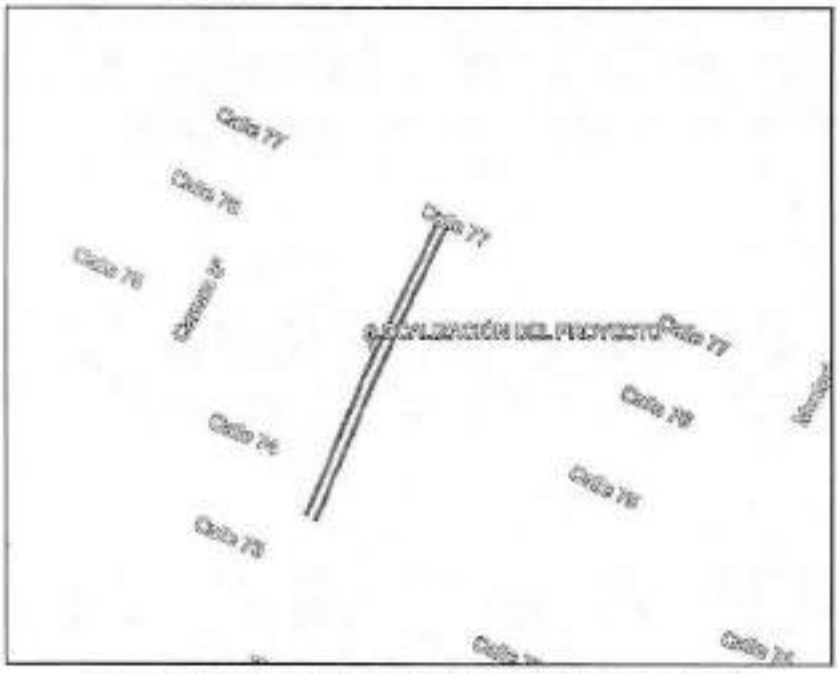


Figura 6. Mapa geológico del municipio de Montería.
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Los depósitos aluviales son suelos anisotrópicos en su distribución, con propiedades geotécnicas altamente variables, estrechamente relacionadas con la granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos en materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría. Generalmente presentan un nivel freático alto.

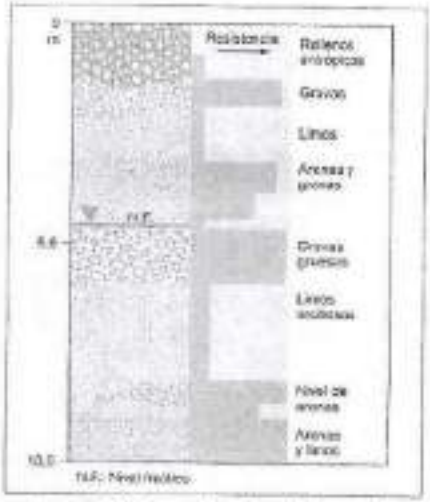


Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales.
Fuente: González Vallejo, "Ingeniería geológica", editorial: PRENTICE HALL.

3.3. Geomorfología.

El río Sinú se caracteriza por formar valles aluviales amplios, entre los cuales está el depósito aluvial del municipio de Montería el cual aflora desde el corregimiento de Santa Isabel, hasta la población de El Vidrial al norte de Montería, donde se forman las zonas planas de gran extensión que incluye las ciudades de Montería y Cereté.

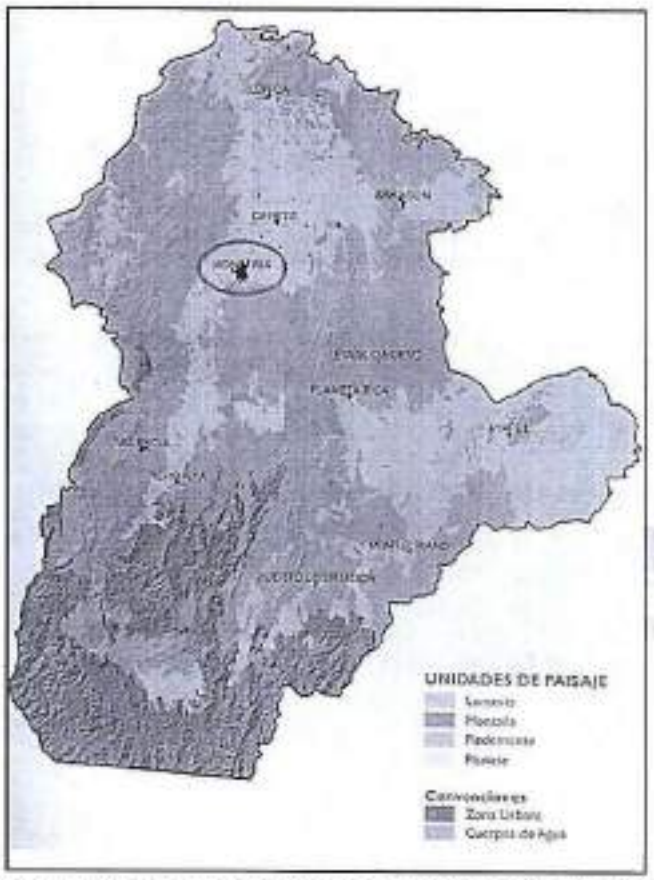


Figura 8. Unidades de paisaje del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El sitio de construcción del proyecto corresponde a un paisaje tipo planicie, con un relieve de plano de inundación y terrazas, con una litología de sedimentos medios y finos.

El paisaje de planicie es una geoforma caracterizada por ser una zona amplia y plana a ligeramente plana, cuyas pendientes son menores a 3.00%. Corresponde a los diferentes aportes de origen aluvial, marino o eólico.

3.4. Geoestructura y ambiente morfométrico.

El municipio de Montería se localiza en la geoestructura correspondiente a la megacuenca de sedimentación ubicada al norte y occidente de la cordillera y se extiende hasta el mar caribe, cubriendo 23.788,87 Km^2, lo que equivale al 95.40% del territorio del departamento de Córdoba. Geográficamente a esta pertenecen las serranías de Abibe, San Jerónimo, y Ayapel.



Figura 9. Mapa de Geoestructura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.5. Clima.

El municipio de Montería dada su fisiografía y su posición en la llanura del caribe colombiano, se localiza con respecto a los vientos provenientes del mar en una posición de sotavento ocasionando climas predominantemente secos la mayor parte del año, con una alta humedad relativa por la presencia del río Sinú y sus sistemas de ciénagas y humedales, presenta lluvias con vientos (vendavales) en épocas húmedas y unos

microrrelieves en las serranías de las Palomas y de San Carlos que se comportan como barloventos aumentando la nubosidad y la generación de lluvias.

El municipio de Montería posee una altura promedio de 18 msnm, con una precipitación media anual de 1200 mm.

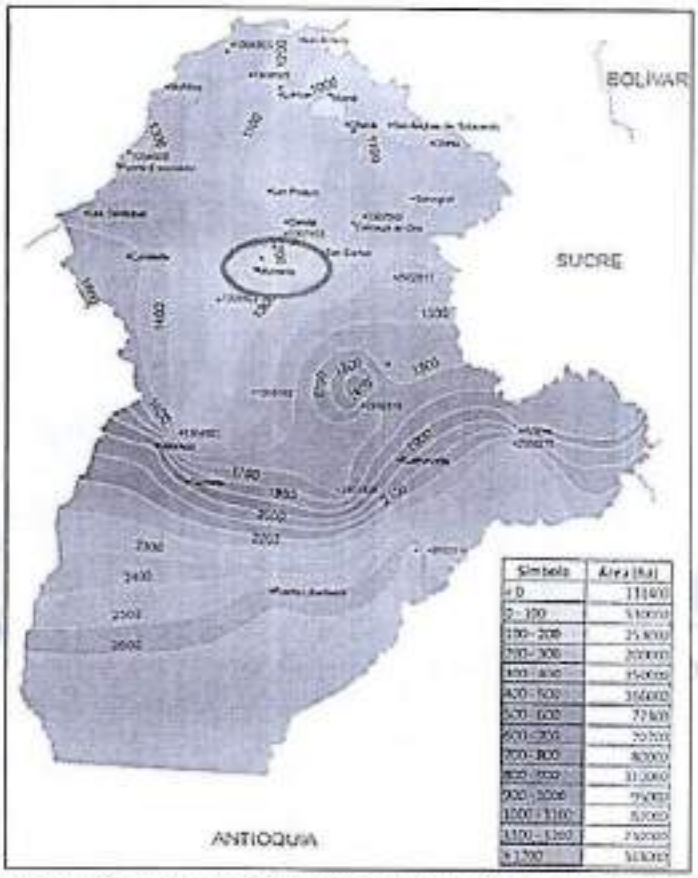


Figura 10. Mapa de Precipitación del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El municipio presenta dos temporadas de lluvia: La primera es en parte de abril y mayo, y la segunda entre los meses de septiembre y noviembre; una temporada de menor intensidad de lluvias entre los meses de junio y agosto, y por último una temporada seca entre los meses de diciembre a marzo.

El promedio anual de la temperatura es de 26.90 °C, con un ligero aumento en los meses de marzo, abril y mayo. La Variación no es muy significativa, pues el 98.20% del territorio se encuentra en el piso térmico cálido. Por ello, puede considerarse que el promedio anual de 26.90 °C es representativo para el municipio de Montería.

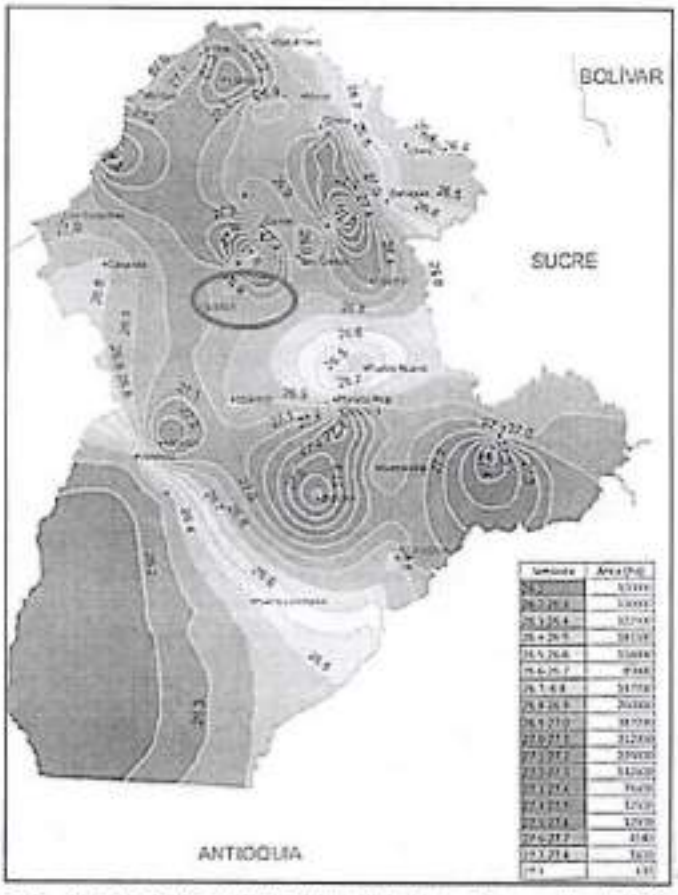


Figura 11. Mapa de Temperatura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El brillo solar anual varía entre 1.400 y 1.800 horas de luz.
La humedad ambiente (84.00%), se relaciona con el brillo solar y con los intensos procesos de evapotranspiración.

La evapotranspiración potencial (E.T.P.), presenta un área definida como de núcleo central regional del valle del Sinú que va desde Montería hasta el norte con un valor ubicado en el rango de 1700 - 1750 mm anuales decreciendo hacia las zonas extremas de la cuenca hasta los 1650 mm/año.

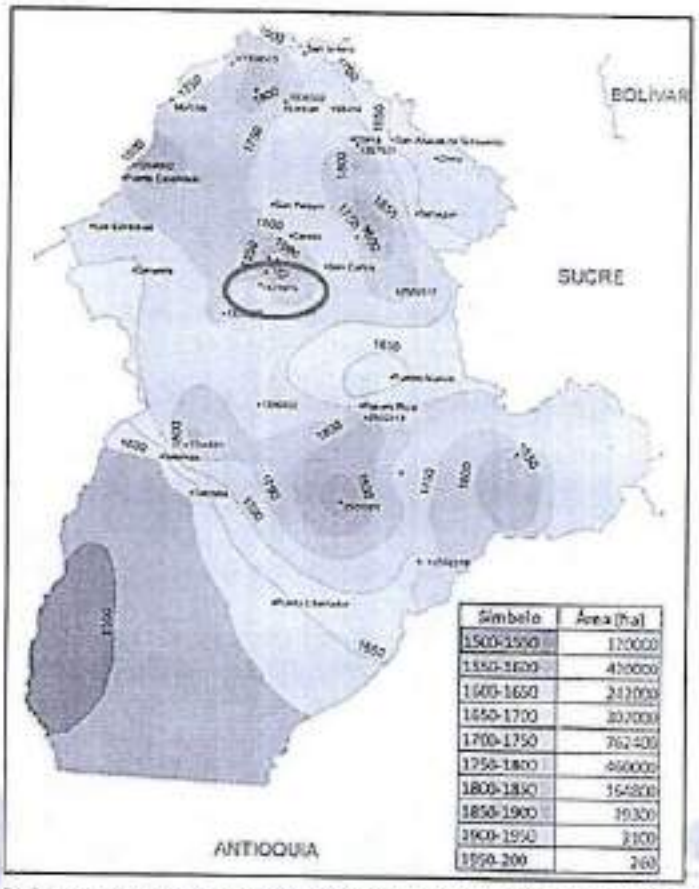


Figura 12. Mapa de Evapotranspiración del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwalte, el municipio presenta una franja alineada a lado y lado del plano de inundación del río en el clima cálido -seco; en el resto del área de Montería sigue siendo cálido, pero con un régimen de humedad semi-húmedo.

Estación	msnm	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	ETP (mm)	Déficit (mm)	Exceso (mm)	Piso Térmico	Clase Clima	Símbolo
Montería	18	1200	26,9	1711,4	558,0	46,6	Cálido	Seco	c-s

Tabla 2. Datos climáticos de la Estación Meteorológica Montería.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.6. Vegetación.

El municipio de Montería tiene área de su territorio dentro de la parte media y baja del río Sinú, la vegetación original ha sido completamente degradada sólo a pequeños

bosques o zonas de bosque de galería, por la transformación y/o adecuación de las tierras de los ecosistemas para extensas áreas de praderas para el desarrollo de sistemas pecuarios semi - intensivos y extensivos y la agricultura comercial y de subsistencia. A los alrededores del municipio se encuentra áreas agrícolas heterogéneas, áreas que presentan heterogeneidad en la cobertura, ya sea por condiciones locales de clima o de suelos que hacen difícil la separación de unidades cartográficas homogéneas, y pastos de territorios agrícolas que son tierras ocupadas principalmente para la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho.

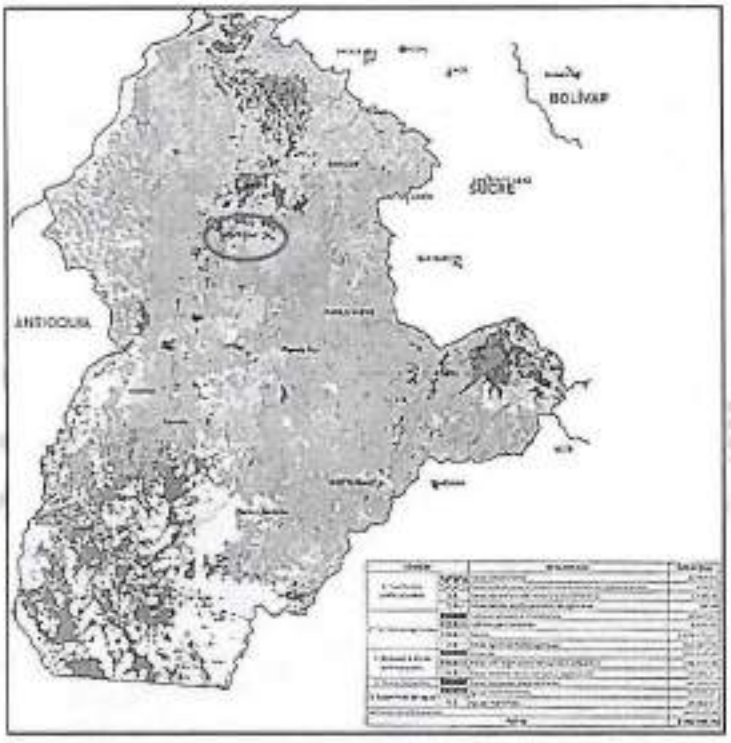


Figura 13. Mapa de Cobertura Vegetal del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

4. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO.

4.1. Reglamento de diseño y software empleado.

4.1.1. Reglamentos de diseños utilizados.

Para el diseño geométrico se adoptaron las consideraciones establecidas en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (INVIAS).

4.1.2. Software de diseño utilizado.

Adicionalmente para la elaboración del diseño geométrico se utilizó principalmente el programa de diseño de ingeniería AutoCAD Civil 3D 2019 y herramientas informáticas para la realización automatizada de cálculos, búsqueda, transformación de coordenadas y otras actividades tales como Microsoft Excel y Google earth.

5. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO.

Las vías cuentan con una topografía plana ya que sus pendientes longitudinales y transversales son relativamente bajas.

5.1. Características propuestas de diseño geométrico de la vía.

De acuerdo con los lineamientos de diseño, las limitantes correspondientes a paramentos y pavimentos existentes, se definen las siguientes características:

Clasificación de la Vía:	Vías urbanas predominante planas.
Longitud de Diseño:	326.131 m sentido Norte-Sur 325.544 m sentido Sur-Norte
Velocidad de Diseño:	30 km/h
Velocidad de Especifica:	30 km/h
Ancho de Carril:	3.50 m por sentido.
Bombeo Normal (BN):	2.00%

Tabla 3. Características de las vías.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría.

5.2. Velocidad de diseño y clasificación de la carretera.

En el proceso de asignación de la velocidad de diseño se debe otorgar la máxima prioridad a la seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del

trazado debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido.

También se busca garantizar la consistencia en la velocidad, debe identificarse a lo largo del corredor de ruta a los que por las condiciones topográficas se les pueda asignar una misma velocidad.

La velocidad de diseño se determina con base al tipo del terreno y a la categoría de la vía.

CATEGORIA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGENEO V_{DH} (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Primaria de una calzada	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Secundaria	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										
Terciana	Plano										
	Ondulado										
	Montañoso										
	Escarpado										

Tabla 4. Valores de la Velocidad de Diseño de los Tramos Homogéneos (VTR) en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno.
Fuente: Tabla 2.1 M.D.G. INVIAS

Las vías a diseñar están constituidas por un terreno plano y están localizadas en el casco urbano de municipio, que podría ser clasificada como de categoría terciaria de una sola calzada. La velocidad de diseño para estas especificaciones es de 40 Km/hr, sin embargo, por tratarse de vías urbanas con vías que la interceptan y con flujo de vehículos considerable se limita a 30 Km/hr.

5.3. Velocidad especifica de la curva horizontal.

Para asignar la Velocidad Específica (VCH) a las curvas horizontales incluidas en un tramo homogéneo, se considera como parámetro la velocidad de diseño del Tramo homogéneo (VTR) en que se encuentra la curva horizontal.

La Velocidad Específica de las curvas horizontales (VCH) no puede ser menor que la velocidad de diseño del tramo (VCH ≥ VTR) ni superior a ésta en veinte kilómetros por

hora (VCH ≤ VTR + 20). Por lo tanto, la velocidad específica se encuentra en 30 Km/hr.

5.4. Selección del radio de curvatura mínimo y peralte máximo

El radio mínimo (RC mín.) se adopta para el límite de curvatura para una Velocidad Específica (VCH) de acuerdo con el peralte máximo (e máx.) y el coeficiente de fricción transversal máxima (fT máx.).

El radio mínimo de curvatura será usado en situaciones extremas, donde sea imposible la aplicación de radios mayores.

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V_{CH}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{Tmáx}$	TOTAL $e_{máx} + f_{Tmáx}$	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
20	6,0	0,35	0,41	7,7	15 (1)
30	6,0	0,28	0,34	20,8	21
40	6,0	0,23	0,29	43,4	43
50	6,0	0,19	0,25	78,7	79
60	6,0	0,17	0,23	123,2	123

Tabla 5. Radios mínimos para peralte máximo e máx=6% y fricción máxima
Fuente: Tabla 3.3 M.D.G. INVIAS

De acuerdo con la velocidad específica se determina un radio mínimo de 21 m.

5.5. Cálculo de la rasante y curvas verticales.

Para la determinación de las curvas verticales ya sean simétricas o asimétricas, cóncavas o convexas se deben considerar diferentes criterios

- **Criterio de seguridad:** Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para que en toda su trayectoria la distancia de visibilidad sea mayor o igual a la de parada (DP). Es pertinente manifestar que en algunos casos el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales que satisfagan la distancia de visibilidad de adelantamiento (Da).

- **Criterio de operación:** Establece una longitud mínima que debe tener la curva vertical para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

- **Criterio de drenaje:** Establece una longitud máxima que puede tener la curva vertical para evitar que, por ser muy extensa, en su parte central resulte muy plana dificultándose el drenaje de la calzada. Resaltando que el parámetro a utilizar para el cálculo de las curvas circulares en el presente estudio es el

parámetro K, ya que la adopción de este valor tiene como finalidad garantizar unas mínimas condiciones de estética a las carreteras, y por consiguiente de comodidad para los usuarios.

El diseño vertical se definió con base al nivel superior de la rasante de pavimento, ajustándose lo mejor posible a la topografía actual del terreno y mejorando las condiciones en la zona, de acuerdo con los puntos obligados como lo son los pavimentos ya construidos, y los puntos bajos de drenaje del agua.

El diseño de curvas verticales se realizó con base al parámetro K, de igual manera buscando la mejor condición al terreno y mejora en la visibilidad de parada. Se define una pendiente mínima del 0.20%, teniendo en cuenta el comportamiento de la escorrentía en la zona y la topografía mayormente plana. El diseño planteado busca garantizar el buen recorrido de las escorrentías superficiales a puntos claves de estructuras hidráulicas existentes o por construir.

En algunas abscisas se realizó las mejoras del alineamiento vertical para proporcionar condiciones adecuadas de visibilidad, comodidad y seguridad a los usuarios de la vía.

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{ce} (km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA (m)	VALORES DE K_{min}				LONGITUD MÍNIMA SEGÚN CRITERIO DE OPERACIÓN (m)
		CURVA CONVEXA		CURVA CONCAVA		
		CALCULADO	REDONDEADO	CALCULADO	REDONDEADO	
20	20	0.6	1.0	2.1	3.0	20 (1)
30	35	1.9	2.0	5.1	6.0	20 (1)
40	50	3.8	4.0	8.5	9.0	24
50	65	6.4	7.0	12.2	13.0	30
60	85	11.0	11.0	17.3	18.0	36
70	105	16.8	17.0	22.6	23.0	42
80	130	25.7	26.0	29.4	30.0	48
90	160	38.9	39.0	37.6	38.0	54
100	185	52.0	52.0	44.6	45.0	60
110	220	73.6	74.0	54.4	56.0	66
120	250	95.0	95.0	62.8	63.0	72
130	285	123.4	124.0	72.7	73.0	78

Tabla 6. Valores de K mín. para el control de la distancia de visibilidad de parada y longitudes mínimas según criterio de operación en curvas verticales.
Fuente: Tabla 4.4 M.D.G. INVIAS.

El valor de K min seleccionado para curvas convexas es 2 y para curvas cóncavas es 6.

5.6. Diseño transversal, ancho de calzada y bombeo.

Se indica el ancho de la calzada en función de la categoría de la carretera, del tipo de

terreno y de la velocidad de diseño del tramo homogéneo (VTR).

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGENEO (V_{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Ancho de calzada en metros.
Fuente: Tabla 5.2 M.D.G. INVIAS.

De acuerdo con la velocidad de diseño y el tipo de terreno, el manual recomienda el uso de vías de 6.00 m de ancho, sin embargo en este caso se utilizara 7.00 m para cada sentido por la disponibilidad de espacio y el empalme con vías de esas medidas.

En la siguiente tabla se indica la inclinación transversal denominada bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura:

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	BOMBEO (%)
Superficie de concreto hidráulico o asfáltico	2
Tratamientos superficiales	2 – 3
Superficie de tierra o grava	2 – 4

Tabla 8. Determinación del bombeo de la vía a diseñar.
Fuente: Tabla 5.3 M.D.G. INVIAS.

Para el presente estudio geométrico se adopta un doble bombeo del 2.00%.

5.7. Rotación de la calzada respecto al eje de la carretera.

El método más empleado en el diseño de carreteras, consiste en girar el pavimento de alrededor de su línea central, permitiendo un desarrollo más armónico y generando menor distorsión de los bordes de la corona.

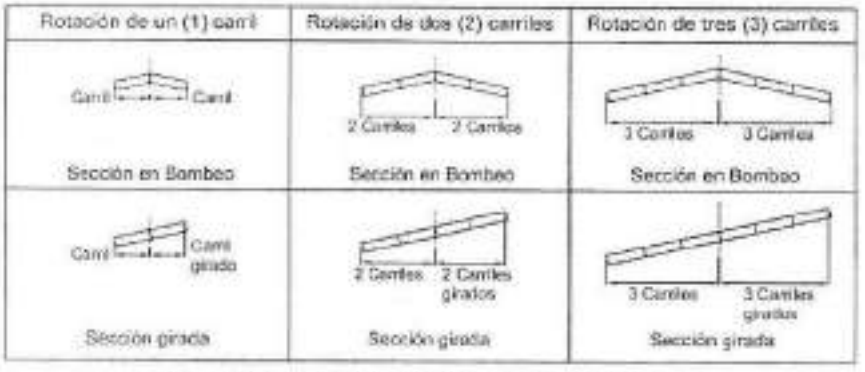


Figura 14. Calzada girada alrededor del eje.
Fuente: Manual Diseño Geométrico de Vías INVIAS.

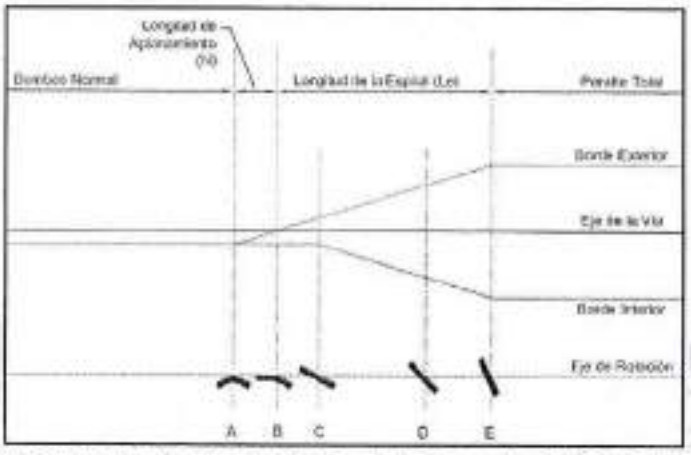


Figura 15. Calzada girada alrededor del eje en longitud de transición.
Fuente: Manual Diseño Geométrico de Vías INVIAS.

5.8. Secciones transversales típicas de diseño.

A continuación, se presenta la sección típica utilizada en el diseño de las vías:

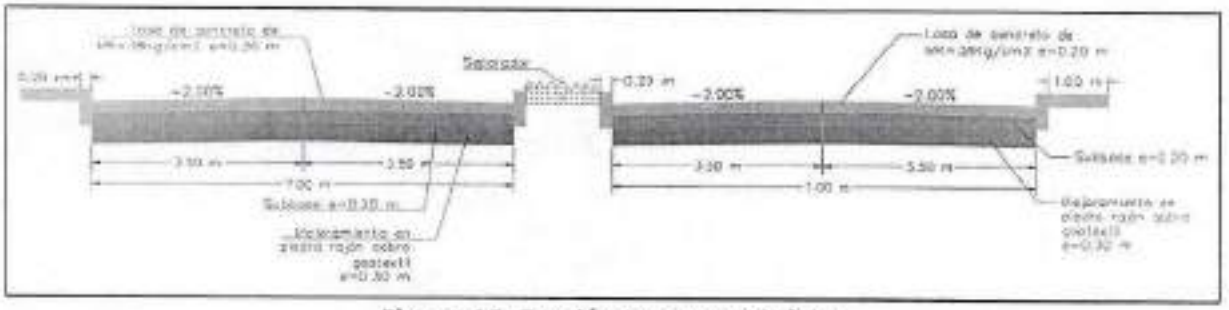


Figura 16. Sección transversal típica.
Fuente: laborada por la presente consultoria.

6. ANEXOS.

En los próximos anexos 1, 2, 3, 4 y 5 se puede observar la información suministrada de cada una de las características propuestas por el diseñador para la mejor ejecución de las vías a construir:

- Cantidades de corte y de relleno.
- Perfil longitudinal con diseño vertical.
- Proyección vial con diseño horizontal.
- Secciones transversales.
- Cotas del terreno natural.
- Cotas de diseño (Eje de Vía).
- Cotas de bordes de diseño (Borde Izquierdo y Derecho).
- Ancho de calzada de diseño.
- Pendiente longitudinal.

7. CONCLUSIONES.

Al realizar el presente informe se generan las siguientes conclusiones:

- Los parámetros de diseño de las vías se determinan a partir de la velocidad de diseño de 30 Km/h, ajustándose el diseño al manual de diseño geométrico del INVIAS y en algunos casos a las condiciones actuales de las vías.
- La vía a diseñar corresponde a una vía doble calzada, y se realiza el diseño para ambos sentidos de forma independiente, verificando al final el empalme a través del separador.
- Se diseñan las vías para un ancho de 7.00 m por calzada.
- Se utiliza un andén de 1.20 m de ancho.

8. RECOMENDACIONES.

Al realizar el presente informe se generan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda durante el proceso de localización y replanteo, conservar el mismo sistema de coordenadas y hacer uso de los puntos de control materializados en campo con la finalidad de conservar el mismo sistema de elevaciones que aparece en las carteras de control y localización.
- Se recomienda conservar las pendientes longitudinales planteadas en el presente informe durante el proceso constructivo, ya que la información fue recolectada del levantamiento topográfico, reflejada en un plano de donde se pudo observar

las direcciones de flujo de escorrentías superficiales.

9. BIBLIOGRAFÍA.

Como parte de este estudio se utilizó la siguiente bibliografía:

- Instituto geográfico Agustín Codazzi, "Estudio general de suelos y zonificación de tierras – Departamento de Córdoba". Imprenta nacional de Colombia, Bogotá D.C. 2009.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- González Vallejo, "Ingeniería geológica", editorial: PRENTICE HALL.
- Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS. 2008.

10.LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

El presente documento se elabora en función de unas condiciones de tránsito adoptadas y consideraciones particulares de los suelos y capas existentes. Es indispensable que durante las obras se lleven a cabo los controles de calidad del caso, en cuanto a idoneidad de los materiales y garantizar los espesores del diseño. Cualquier cambio que se realice sin previo conocimiento por parte del consultor durante las obras no garantizará tales situaciones.

En los casos en que las verificaciones durante la etapa de obra arrojen la conclusión de que los supuestos de diseño se han alterado, deberá llevarse a cabo el correspondiente proceso de ajuste de los diseños, de modo que éstos se validen.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Ingeniero Civil
Especialista en mecánica de suelos y cimentaciones.
Especialista en ingeniería ambiental.
Especialista en Prevención, atención y reducción de desastres.
Especialista en gerencia para ingenieros.
M.P. 1320251172BLV
Montería, noviembre de 2022.

ANEXO 1.
CARTERA DE VOLÚMENES

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

FABIO CASTILLA NEGRETE

CANTIDADES DE CORTE Y RELLENO

Localización:	Carrera 4 entre las calles 73 Y 77 (sentido S-N)					
Abscisa inicial:	K0+000.00		Abscisa final:	0+325.537		
	VOLUMEN DE CORTE			VOLUMEN DE RELLENO		
ABSCISA	Área de corte (m2)	Volumen de corte (m3)	Volumen de corte acumulado (m3)	Área de relleno (m2)	Volumen de relleno (m3)	Volumen de relleno acumulado (m3)
0+000.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+005.000	4.86	12.14	12.14	0.15	0.38	0.38
0+010.000	3.87	21.82	33.97	0.30	1.12	1.50
0+015.000	3.05	17.30	51.26	0.43	1.81	3.31
0+020.000	2.62	14.18	65.44	0.51	2.34	5.66
0+025.000	2.97	13.99	79.43	0.40	2.28	7.94
0+030.000	3.38	15.87	95.30	0.29	1.72	9.65
0+035.000	3.82	17.99	113.30	0.18	1.16	10.81
0+040.000	4.25	20.18	133.48	0.08	0.64	11.45
0+045.000	4.70	22.39	155.86	0.02	0.24	11.69
0+050.000	5.16	24.67	180.53	0.00	0.07	11.75
0+055.000	5.56	26.81	207.34	0.00	0.02	11.78
0+060.000	5.92	28.70	236.04	0.00	0.00	11.78
0+065.000	6.05	29.92	265.96	0.00	0.00	11.78
0+070.000	5.63	29.22	295.18	0.00	0.00	11.78
0+075.000	5.22	27.14	322.32	0.00	0.00	11.78
0+080.000	4.93	25.39	347.71	0.01	0.03	11.81
0+085.000	4.68	24.03	371.74	0.02	0.08	11.89
0+090.000	4.53	23.02	394.76	0.03	0.12	12.01
0+095.000	4.47	22.51	417.28	0.05	0.19	12.20
0+100.000	4.48	22.38	439.66	0.07	0.31	12.51
0+105.000	4.69	22.92	462.59	0.10	0.44	12.95
0+110.000	4.67	23.40	485.99	0.13	0.57	13.52
0+115.000	4.60	23.19	509.17	0.15	0.70	14.23
0+120.000	4.54	22.87	532.04	0.18	0.82	15.05
0+125.000	4.48	22.57	554.61	0.20	0.93	15.98
0+130.000	4.43	22.28	576.89	0.21	1.03	17.01
0+135.000	4.39	22.04	598.93	0.21	1.06	18.07
0+140.000	4.40	21.97	620.91	0.16	0.92	18.99
0+145.000	4.51	22.28	643.18	0.12	0.70	19.69
0+150.000	4.60	22.77	665.95	0.17	0.73	20.42
0+155.000	4.55	22.90	688.85	0.26	1.08	21.51
0+160.000	4.64	23.01	711.86	0.39	1.62	23.13
0+165.000	4.66	23.27	735.13	0.45	2.09	25.21
0+170.000	4.41	22.67	757.80	0.49	2.33	27.54
0+175.000	4.09	21.26	779.06	0.57	2.63	30.17
0+180.000	3.44	18.85	797.90	0.61	2.95	33.12
0+185.000	2.83	15.67	813.57	0.61	3.05	36.17
0+190.000	3.74	16.41	829.98	0.34	2.36	38.53
0+195.000	4.56	20.74	850.72	0.08	1.05	39.58
0+200.000	5.17	24.33	875.05	0.00	0.23	39.81
0+205.000	5.75	27.30	902.36	0.00	0.02	39.84
0+210.000	6.42	30.41	932.77	0.00	0.00	39.84
0+215.000	5.86	30.70	963.47	0.00	0.00	39.84
0+220.000	4.94	27.00	990.47	0.03	0.07	39.91
0+225.000	4.23	22.93	1013.40	0.20	0.57	40.48
0+230.000	3.92	20.39	1033.79	0.23	1.07	41.55
0+235.000	3.58	18.75	1052.54	0.23	1.15	42.69
0+240.000	3.58	17.90	1070.45	0.23	1.17	43.86
0+245.000	3.84	18.56	1089.01	0.21	1.10	44.96

PABLO CASTILLA NEGRETE	CANTIDADES DE CORTE Y RELLENO

Localización:	Carrera 4 entre las calles 73 Y 77 (sentido S-N)					
Abscisa inicial:	K0+000.00		Abscisa final:	0+325.537		
ABSCISA	VOLUMEN DE CORTE			VOLUMEN DE RELLENO		
	Área de corte (m2)	Volumen de corte (m3)	Volumen de corte acumulado (m3)	Área de relleno (m2)	Volumen de relleno (m3)	Volumen de relleno acumulado (m3)
0+250.000	4.21	20.13	1109.14	0.16	0.92	45.89
0+255.000	4.61	22.05	1131.19	0.00	0.40	46.28
0+260.000	4.59	23.00	1154.19	0.00	0.02	46.30
0+265.000	4.35	22.36	1176.55	0.00	0.03	46.33
0+270.000	4.10	21.12	1197.67	0.01	0.05	46.39
0+275.000	3.85	19.86	1217.53	0.02	0.08	46.46
0+280.000	3.83	19.19	1236.72	0.02	0.08	46.55
0+285.000	3.89	19.31	1256.03	0.01	0.08	46.62
0+290.000	4.02	19.77	1275.80	0.01	0.06	46.68
0+295.000	4.19	20.51	1296.31	0.00	0.05	46.73
0+300.000	4.38	21.43	1317.74	0.00	0.03	46.76
0+305.000	4.55	22.33	1340.07	0.00	0.03	46.79
0+310.000	4.66	23.02	1363.09	0.00	0.03	46.82
0+315.000	4.75	23.53	1386.62	0.00	0.02	46.84
0+320.000	4.83	23.96	1410.58	0.00	0.02	46.86
0+325.000	4.91	24.35	1434.93	0.00	0.02	46.88
0+325.537	5.13	2.70	**1437.63**	0.00	0.00	**46.89**

PABLO CASTILLA NEGRETE

CANTIDADES DE CORTE Y RELLENO

Localización:	Carrera 4 entre las calles 73 Y 77 (sentido N-S)					
Abscisa inicial:	K0+000.00		Abscisa final:	0+326.131		
	VOLUMEN DE CORTE			VOLUMEN DE RELLENO		
ABSCISA	Área de corte (m2)	Volumen de corte (m3)	Volumen de corte acumulado (m3)	Área de relleno (m2)	Volumen de relleno (m3)	Volumen de relleno acumulado (m3)
0+000.000	2.53	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
0+005.000	3.16	14.21	14.21	0.65	2.00	2.00
0+010.000	2.58	14.35	28.56	0.71	3.40	5.40
0+015.000	2.21	11.97	40.53	0.80	3.78	9.18
0+020.000	2.06	10.66	51.19	0.80	4.00	13.18
0+025.000	2.00	10.16	61.35	0.75	3.87	17.05
0+030.000	1.94	9.87	71.22	0.75	3.73	20.77
0+035.000	2.21	10.38	81.59	0.68	3.56	24.33
0+040.000	2.73	12.34	93.94	0.53	3.03	27.36
0+045.000	3.20	14.82	108.75	0.40	2.33	29.70
0+050.000	3.67	17.17	125.92	0.30	1.75	31.45
0+055.000	3.73	18.50	144.42	0.35	1.62	33.07
0+060.000	3.71	18.62	163.03	0.41	1.89	34.97
0+065.000	3.60	18.29	181.33	0.46	2.16	37.12
0+070.000	3.67	18.18	199.51	0.47	2.31	39.43
0+075.000	3.82	18.73	218.24	0.47	2.35	41.78
0+080.000	3.99	19.54	237.78	0.48	2.37	44.15
0+085.000	3.64	19.09	256.87	0.46	2.35	46.51
0+090.000	3.21	17.12	273.99	0.46	2.32	48.82
0+095.000	2.79	14.99	288.98	0.47	2.32	51.14
0+100.000	2.40	12.97	301.94	0.47	2.34	53.48
0+105.000	2.36	11.90	313.84	0.46	2.33	55.81
0+110.000	2.51	12.17	326.01	0.45	2.27	58.08
0+115.000	2.68	12.97	338.99	0.43	2.20	60.28
0+120.000	2.81	13.73	352.72	0.41	2.12	62.40
0+125.000	2.94	14.36	367.08	0.40	2.03	64.43
0+130.000	3.06	14.98	382.06	0.38	1.95	66.37
0+135.000	3.17	15.57	397.63	0.36	1.85	68.22
0+140.000	3.28	16.14	413.77	0.30	1.64	69.87
0+145.000	3.41	16.73	430.50	0.22	1.29	71.16
0+150.000	3.44	17.12	447.62	0.18	0.99	72.14
0+155.000	3.55	17.47	465.10	0.15	0.81	72.95
0+160.000	3.50	17.62	482.72	0.15	0.73	73.68
0+165.000	3.49	17.48	500.20	0.08	0.56	74.24
0+170.000	3.98	18.69	518.89	0.03	0.26	74.50
0+175.000	4.12	20.27	539.15	0.02	0.12	74.61
0+180.000	4.27	20.99	560.14	0.02	0.10	74.72
0+185.000	4.45	21.81	581.95	0.02	0.10	74.81
0+190.000	4.40	22.12	604.07	0.02	0.10	74.91
0+195.000	4.30	21.75	625.82	0.04	0.14	75.05
0+200.000	4.56	22.15	647.97	0.03	0.16	75.21
0+205.000	5.13	24.23	672.20	0.00	0.09	75.30
0+210.000	5.81	27.35	699.55	0.00	0.01	75.32
0+215.000	6.07	29.70	729.25	0.00	0.00	75.32
0+220.000	6.00	30.17	759.42	0.00	0.00	75.32
0+225.000	5.91	29.77	789.19	0.00	0.00	75.32
0+230.000	5.79	29.25	818.44	0.00	0.00	75.32
0+235.000	5.30	27.72	846.16	0.00	0.01	75.33
0+240.000	5.04	25.84	871.99	0.02	0.06	75.38
0+245.000	4.81	24.61	896.60	0.07	0.23	75.61

PABLO CASTILLA NEGRETE

CANTIDADES DE CORTE Y RELLENO

Localización:	Carrera 4 entre las calles 73 Y 77 (sentido N-S)					
Abscisa inicial:	K0+000.00		Abscisa final:	0+326.131		
ABSCISA	VOLUMEN DE CORTE			VOLUMEN DE RELLENO		
	Área de corte (m2)	Volumen de corte (m3)	Volumen de corte acumulado (m3)	Área de relleno (m2)	Volumen de relleno (m3)	Volumen de relleno acumulado (m3)
0+250.000	3.93	21.85	918.45	0.13	0.50	76.11
0+255.000	5.24	23.02	941.47	0.00	0.33	76.45
0+260.000	5.42	26.65	968.12	0.00	0.00	76.45
0+265.000	5.61	27.58	995.70	0.00	0.00	76.45
0+270.000	5.75	28.41	1024.11	0.00	0.00	76.45
0+275.000	5.59	28.36	1052.48	0.00	0.00	76.45
0+280.000	5.60	27.99	1080.46	0.00	0.00	76.45
0+285.000	5.62	28.06	1108.53	0.00	0.00	76.45
0+290.000	5.72	28.37	1136.89	0.00	0.00	76.45
0+295.000	5.93	29.14	1166.04	0.00	0.00	76.45
0+300.000	6.18	30.28	1196.31	0.00	0.00	76.45
0+305.000	5.83	30.02	1226.33	0.00	0.00	76.45
0+310.000	5.42	28.12	1254.45	0.00	0.02	76.47
0+315.000	5.04	26.14	1280.58	0.03	0.08	76.55
0+320.000	4.83	24.66	1305.25	0.07	0.25	76.79
0+325.000	4.82	24.12	1329.37	0.07	0.35	77.14
0+326.131	5.27	5.71	**1335.07**	0.00	0.04	**77.18**

ANEXO 2.
CONTROL DE BORDES

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Informe de líneas características

Nombre de obra lineal: OBRA LINEAL CRA 4 ENTRE CLL73-77 (N-S)
Descripción:
Nombre de alineación base: EJE CRA 4 ENTRE CLL73-77 (N-S)
Intervalo de P.K.: Inicial: 0+000.00, Final: 0+326.13

	ETW Izquierda			Generatriz interior superior			ETW Derecha		
P.K.	Abscisa	Ordenada	Elevación	Abscisa	Ordenada	Elevación	Abscisa	Ordenada	Elevación
0+000.00	1,133,530.44	1,463,388.70	13.81	1,133,533.61	1,463,387.30	13.80	1,133,536.80	1,463,385.90	13.79
0+005.00	1,133,532.45	1,463,393.28	13.81	1,133,535.62	1,463,391.88	13.81	1,133,538.82	1,463,390.47	13.82
0+010.00	1,133,534.47	1,463,397.86	13.82	1,133,537.64	1,463,396.46	13.82	1,133,540.84	1,463,395.05	13.83
0+015.00	1,133,536.48	1,463,402.43	13.82	1,133,539.66	1,463,401.03	13.83	1,133,542.85	1,463,399.62	13.83
0+020.00	1,133,538.49	1,463,407.01	13.82	1,133,541.68	1,463,405.61	13.84	1,133,544.87	1,463,404.20	13.83
0+025.00	1,133,540.51	1,463,411.58	13.82	1,133,543.69	1,463,410.18	13.85	1,133,546.89	1,463,408.77	13.83
0+030.00	1,133,542.52	1,463,416.16	13.83	1,133,545.71	1,463,414.76	13.86	1,133,548.91	1,463,413.35	13.84
0+035.00	1,133,544.54	1,463,420.74	13.83	1,133,547.73	1,463,419.33	13.87	1,133,550.92	1,463,417.92	13.84
0+040.00	1,133,546.55	1,463,425.31	13.83	1,133,549.74	1,463,423.91	13.88	1,133,552.94	1,463,422.50	13.84
0+045.00	1,133,548.56	1,463,429.89	13.84	1,133,551.76	1,463,428.48	13.89	1,133,554.96	1,463,427.07	13.84
0+050.00	1,133,550.58	1,463,434.47	13.84	1,133,553.78	1,463,433.06	13.90	1,133,556.98	1,463,431.65	13.85
0+055.00	1,133,552.59	1,463,439.04	13.84	1,133,555.79	1,463,437.63	13.91	1,133,559.00	1,463,436.22	13.85
0+060.00	1,133,554.61	1,463,443.62	13.85	1,133,557.81	1,463,442.21	13.92	1,133,561.01	1,463,440.79	13.85
0+065.00	1,133,556.63	1,463,448.19	13.86	1,133,559.83	1,463,446.78	13.93	1,133,563.03	1,463,445.37	13.86
0+070.00	1,133,558.64	1,463,452.77	13.87	1,133,561.85	1,463,451.36	13.94	1,133,565.05	1,463,449.94	13.87
0+075.00	1,133,560.66	1,463,457.34	13.88	1,133,563.86	1,463,455.93	13.95	1,133,567.07	1,463,454.52	13.88
0+080.00	1,133,562.68	1,463,461.92	13.89	1,133,565.88	1,463,460.51	13.96	1,133,569.08	1,463,459.10	13.89
0+085.00	1,133,564.69	1,463,466.49	13.90	1,133,567.90	1,463,465.08	13.97	1,133,571.10	1,463,463.67	13.90
0+090.00	1,133,566.71	1,463,471.07	13.91	1,133,569.91	1,463,469.66	13.98	1,133,573.12	1,463,468.25	13.91
0+095.00	1,133,568.73	1,463,475.64	13.92	1,133,571.93	1,463,474.23	13.99	1,133,575.13	1,463,472.82	13.92
0+100.00	1,133,570.74	1,463,480.22	13.93	1,133,573.95	1,463,478.81	14.00	1,133,577.15	1,463,477.40	13.93
0+105.00	1,133,572.76	1,463,484.79	13.94	1,133,575.96	1,463,483.38	14.01	1,133,579.17	1,463,481.97	13.94
0+110.00	1,133,574.78	1,463,489.37	13.95	1,133,577.98	1,463,487.95	14.02	1,133,581.18	1,463,486.55	13.95
0+115.00	1,133,576.80	1,463,493.94	13.96	1,133,580.00	1,463,492.53	14.03	1,133,583.20	1,463,491.12	13.96
0+120.00	1,133,578.81	1,463,498.52	13.97	1,133,582.02	1,463,497.11	14.04	1,133,585.22	1,463,495.70	13.97
0+125.00	1,133,580.83	1,463,503.10	13.98	1,133,584.03	1,463,501.68	14.05	1,133,587.23	1,463,500.27	13.98
0+130.00	1,133,582.85	1,463,507.67	13.99	1,133,586.05	1,463,506.26	14.06	1,133,589.25	1,463,504.85	13.99
0+135.00	1,133,584.86	1,463,512.25	14.00	1,133,588.07	1,463,510.83	14.07	1,133,591.27	1,463,509.42	14.00
0+140.00	1,133,586.88	1,463,516.82	14.01	1,133,590.08	1,463,515.41	14.08	1,133,593.28	1,463,514.00	14.01
0+145.00	1,133,588.90	1,463,521.40	14.02	1,133,592.10	1,463,519.98	14.09	1,133,595.30	1,463,518.57	14.02
0+150.00	1,133,590.91	1,463,525.97	14.03	1,133,594.12	1,463,524.56	14.10	1,133,597.32	1,463,523.15	14.03
0+155.00	1,133,592.93	1,463,530.55	14.04	1,133,596.13	1,463,529.13	14.11	1,133,599.34	1,463,527.72	14.04
0+160.00	1,133,594.95	1,463,535.12	14.05	1,133,598.15	1,463,533.71	14.12	1,133,601.35	1,463,532.30	14.05
0+165.00	1,133,596.97	1,463,539.70	14.06	1,133,600.17	1,463,538.28	14.13	1,133,603.37	1,463,536.87	14.06
0+170.00	1,133,598.98	1,463,544.27	14.07	1,133,602.18	1,463,542.86	14.14	1,133,605.39	1,463,541.45	14.07
0+175.00	1,133,601.00	1,463,548.85	14.08	1,133,604.20	1,463,547.43	14.15	1,133,607.40	1,463,546.02	14.08
0+180.00	1,133,603.02	1,463,553.42	14.09	1,133,606.22	1,463,552.01	14.16	1,133,609.42	1,463,550.60	14.09
0+185.00	1,133,605.03	1,463,558.00	14.10	1,133,608.24	1,463,556.58	14.17	1,133,611.44	1,463,555.17	14.10
0+190.00	1,133,607.05	1,463,562.57	14.11	1,133,610.25	1,463,561.16	14.18	1,133,613.46	1,463,559.75	14.11
0+195.00	1,133,609.07	1,463,567.15	14.12	1,133,612.27	1,463,565.74	14.19	1,133,615.47	1,463,564.32	14.12
0+200.00	1,133,611.08	1,463,571.72	14.13	1,133,614.29	1,463,570.31	14.20	1,133,617.49	1,463,568.90	14.13
0+205.00	1,133,613.10	1,463,576.30	14.14	1,133,616.30	1,463,574.89	14.21	1,133,619.51	1,463,573.47	14.14
0+210.00	1,133,615.12	1,463,580.87	14.15	1,133,618.32	1,463,579.46	14.22	1,133,621.52	1,463,578.05	14.15
0+215.00	1,133,617.14	1,463,585.45	14.16	1,133,620.34	1,463,584.04	14.23	1,133,623.54	1,463,582.62	14.16
0+220.00	1,133,619.15	1,463,590.02	14.17	1,133,622.35	1,463,588.61	14.24	1,133,625.56	1,463,587.20	14.17
0+225.00	1,133,621.17	1,463,594.60	14.18	1,133,624.37	1,463,593.19	14.25	1,133,627.57	1,463,591.77	14.18
0+230.00	1,133,623.19	1,463,599.17	14.19	1,133,626.39	1,463,597.76	14.26	1,133,629.59	1,463,596.35	14.19
0+235.00	1,133,625.20	1,463,603.75	14.20	1,133,628.41	1,463,602.34	14.27	1,133,631.61	1,463,600.92	14.20

415/K

0+240.00	1,133,627.22	1,463,608.32	14.21	1,133,630.42	1,463,606.91	14.28	1,133,633.63	1,463,605.50	14.21
0+245.00	1,133,629.24	1,463,613.90	14.22	1,133,632.44	1,463,611.49	14.29	1,133,635.64	1,463,610.07	14.22
0+250.00	1,133,631.25	1,463,617.47	14.23	1,133,634.46	1,463,616.06	14.30	1,133,637.66	1,463,614.65	14.23
0+255.00	1,133,633.34	1,463,622.16	14.24	1,133,636.49	1,463,620.63	14.31	1,133,639.64	1,463,619.10	14.24
0+260.00	1,133,635.53	1,463,626.66	14.25	1,133,638.68	1,463,625.13	14.32	1,133,641.82	1,463,623.59	14.25
0+265.00	1,133,637.72	1,463,631.15	14.25	1,133,640.86	1,463,629.62	14.32	1,133,644.01	1,463,628.09	14.25
0+270.00	1,133,639.90	1,463,635.65	14.25	1,133,643.05	1,463,634.12	14.32	1,133,646.20	1,463,632.59	14.25
0+275.00	1,133,642.09	1,463,640.15	14.24	1,133,645.24	1,463,638.61	14.31	1,133,648.38	1,463,637.08	14.24
0+280.00	1,133,644.28	1,463,644.64	14.23	1,133,647.42	1,463,643.11	14.30	1,133,650.57	1,463,641.58	14.23
0+285.00	1,133,646.46	1,463,649.14	14.21	1,133,649.61	1,463,647.61	14.29	1,133,652.76	1,463,646.08	14.22
0+290.00	1,133,648.65	1,463,653.64	14.19	1,133,651.80	1,463,652.10	14.28	1,133,654.95	1,463,650.57	14.21
0+295.00	1,133,650.84	1,463,658.13	14.17	1,133,653.99	1,463,656.60	14.27	1,133,657.13	1,463,655.07	14.20
0+300.00	1,133,653.02	1,463,662.63	14.15	1,133,656.17	1,463,661.10	14.26	1,133,659.32	1,463,659.56	14.19
0+305.00	1,133,655.21	1,463,667.13	14.13	1,133,658.36	1,463,665.59	14.25	1,133,661.51	1,463,664.06	14.18
0+310.00	1,133,657.39	1,463,671.62	14.11	1,133,660.55	1,463,670.09	14.24	1,133,663.69	1,463,668.56	14.17
0+315.00	1,133,659.58	1,463,676.12	14.09	1,133,662.73	1,463,674.58	14.23	1,133,665.88	1,463,673.06	14.16
0+320.00	1,133,661.77	1,463,680.62	14.07	1,133,664.92	1,463,679.08	14.22	1,133,668.07	1,463,677.55	14.15
0+325.00	1,133,663.95	1,463,685.11	14.04	1,133,667.11	1,463,683.58	14.21	1,133,670.26	1,463,682.04	14.13
0+326.13	1,133,664.46	1,463,686.13	14.14	1,133,667.60	1,463,684.59	14.21	1,133,670.76	1,463,683.06	14.13

Informe de líneas características

Nombre de obra lineal: OBRA LINEAL CRA 4 ENTRE CL173-77 (S-N)
Descripción:
Nombre de alineación base: EJE CRA 4 ENTRE CL173-77 (S-N)
Intervalo de P.K.: Inicial: 0+000.00, Final: 0+325.54

	ETW Izquierda			Generatriz interior superior			ETW Derecha		
P.K.	Abscisa	Ordenada	Elevación	Abscisa	Ordenada	Elevación	Abscisa	Ordenada	Elevación
0+000.00	1,133,540.27	1,463,384.71	13.72	1,133,543.49	1,463,383.30	13.76	1,133,546.74	1,463,381.88	13.69
0+005.00	1,133,542.27	1,463,389.29	13.73	1,133,545.49	1,463,387.88	13.77	1,133,548.74	1,463,386.47	13.75
0+010.00	1,133,544.28	1,463,393.87	13.73	1,133,547.49	1,463,392.47	13.78	1,133,550.73	1,463,391.05	13.76
0+015.00	1,133,546.28	1,463,398.45	13.74	1,133,549.49	1,463,397.05	13.79	1,133,552.73	1,463,395.63	13.76
0+020.00	1,133,548.28	1,463,403.03	13.74	1,133,551.49	1,463,401.63	13.80	1,133,554.73	1,463,400.22	13.76
0+025.00	1,133,550.29	1,463,407.61	13.74	1,133,553.49	1,463,406.21	13.81	1,133,556.72	1,463,404.80	13.77
0+030.00	1,133,552.29	1,463,412.19	13.75	1,133,555.50	1,463,410.79	13.82	1,133,558.72	1,463,409.39	13.77
0+035.00	1,133,554.29	1,463,416.78	13.76	1,133,557.50	1,463,415.38	13.83	1,133,560.72	1,463,413.97	13.77
0+040.00	1,133,556.29	1,463,421.36	13.77	1,133,559.50	1,463,419.96	13.84	1,133,562.71	1,463,418.55	13.78
0+045.00	1,133,558.29	1,463,425.94	13.78	1,133,561.50	1,463,424.54	13.85	1,133,564.71	1,463,423.14	13.78
0+050.00	1,133,560.29	1,463,430.52	13.79	1,133,563.50	1,463,429.12	13.86	1,133,566.71	1,463,427.72	13.79
0+055.00	1,133,562.30	1,463,435.10	13.80	1,133,565.50	1,463,433.70	13.87	1,133,568.71	1,463,432.30	13.80
0+060.00	1,133,564.30	1,463,439.69	13.81	1,133,567.50	1,463,438.29	13.88	1,133,570.71	1,463,436.88	13.81
0+065.00	1,133,566.30	1,463,444.27	13.82	1,133,569.51	1,463,442.87	13.89	1,133,572.71	1,463,441.47	13.82
0+070.00	1,133,568.30	1,463,448.85	13.83	1,133,571.51	1,463,447.45	13.90	1,133,574.72	1,463,446.05	13.83
0+075.00	1,133,570.30	1,463,453.43	13.84	1,133,573.51	1,463,452.03	13.91	1,133,576.72	1,463,450.63	13.84
0+080.00	1,133,572.30	1,463,458.01	13.85	1,133,575.51	1,463,456.61	13.92	1,133,578.72	1,463,455.21	13.85
0+085.00	1,133,574.31	1,463,462.60	13.86	1,133,577.51	1,463,461.19	13.93	1,133,580.72	1,463,459.79	13.86
0+090.00	1,133,576.31	1,463,467.18	13.87	1,133,579.51	1,463,465.78	13.94	1,133,582.72	1,463,464.38	13.87
0+095.00	1,133,578.31	1,463,471.76	13.88	1,133,581.52	1,463,470.36	13.95	1,133,584.72	1,463,468.96	13.88
0+100.00	1,133,580.31	1,463,476.34	13.89	1,133,583.52	1,463,474.94	13.96	1,133,586.72	1,463,473.54	13.89
0+105.00	1,133,582.31	1,463,480.92	13.90	1,133,585.52	1,463,479.52	13.97	1,133,588.73	1,463,478.12	13.90
0+110.00	1,133,584.31	1,463,485.51	13.91	1,133,587.52	1,463,484.10	13.98	1,133,590.73	1,463,482.70	13.91
0+115.00	1,133,586.31	1,463,490.09	13.92	1,133,589.52	1,463,488.69	13.99	1,133,592.73	1,463,487.29	13.92
0+120.00	1,133,588.32	1,463,494.67	13.93	1,133,591.52	1,463,493.27	14.00	1,133,594.73	1,463,491.87	13.93
0+125.00	1,133,590.32	1,463,499.25	13.94	1,133,593.52	1,463,497.85	14.01	1,133,596.73	1,463,496.45	13.94
0+130.00	1,133,592.32	1,463,503.83	13.95	1,133,595.53	1,463,502.43	14.02	1,133,598.73	1,463,501.03	13.95
0+135.00	1,133,594.32	1,463,508.42	13.96	1,133,597.53	1,463,507.01	14.03	1,133,600.73	1,463,505.61	13.96
0+140.00	1,133,596.32	1,463,513.00	13.97	1,133,599.53	1,463,511.60	14.04	1,133,602.74	1,463,510.20	13.97
0+145.00	1,133,598.32	1,463,517.58	13.98	1,133,601.53	1,463,516.18	14.05	1,133,604.74	1,463,514.78	13.98
0+150.00	1,133,600.32	1,463,522.16	13.99	1,133,603.53	1,463,520.76	14.06	1,133,606.74	1,463,519.36	13.99
0+155.00	1,133,602.33	1,463,526.74	14.00	1,133,605.53	1,463,525.34	14.07	1,133,608.74	1,463,523.94	14.00
0+160.00	1,133,604.33	1,463,531.32	14.01	1,133,607.53	1,463,529.92	14.08	1,133,610.74	1,463,528.52	14.01
0+165.00	1,133,606.33	1,463,535.91	14.02	1,133,609.54	1,463,534.51	14.09	1,133,612.74	1,463,533.10	14.02
0+170.00	1,133,608.33	1,463,540.49	14.03	1,133,611.54	1,463,539.09	14.10	1,133,614.74	1,463,537.69	14.03
0+175.00	1,133,610.33	1,463,545.07	14.04	1,133,613.54	1,463,543.67	14.11	1,133,616.75	1,463,542.27	14.04
0+180.00	1,133,612.33	1,463,549.65	14.05	1,133,615.54	1,463,548.25	14.12	1,133,618.75	1,463,546.85	14.05
0+185.00	1,133,614.33	1,463,554.23	14.06	1,133,617.54	1,463,552.83	14.13	1,133,620.75	1,463,551.43	14.06
0+190.00	1,133,616.34	1,463,558.82	14.07	1,133,619.54	1,463,557.42	14.14	1,133,622.75	1,463,556.01	14.07
0+195.00	1,133,618.34	1,463,563.40	14.08	1,133,621.54	1,463,562.00	14.15	1,133,624.75	1,463,560.60	14.08
0+200.00	1,133,620.34	1,463,567.98	14.09	1,133,623.55	1,463,566.58	14.16	1,133,626.75	1,463,565.18	14.09
0+205.00	1,133,622.34	1,463,572.56	14.10	1,133,625.55	1,463,571.16	14.17	1,133,628.76	1,463,569.76	14.10
0+210.00	1,133,624.34	1,463,577.14	14.11	1,133,627.55	1,463,575.74	14.18	1,133,630.76	1,463,574.34	14.11
0+215.00	1,133,626.34	1,463,581.73	14.12	1,133,629.55	1,463,580.33	14.19	1,133,632.76	1,463,578.92	14.12
0+220.00	1,133,628.34	1,463,586.31	14.13	1,133,631.55	1,463,584.91	14.20	1,133,634.76	1,463,583.51	14.13
0+225.00	1,133,630.35	1,463,590.89	14.14	1,133,633.56	1,463,589.49	14.21	1,133,636.76	1,463,588.09	14.14
0+230.00	1,133,632.35	1,463,595.47	14.15	1,133,635.56	1,463,594.07	14.22	1,133,638.76	1,463,592.67	14.15
0+235.00	1,133,634.35	1,463,600.05	14.16	1,133,637.56	1,463,598.65	14.23	1,133,640.76	1,463,597.25	14.16

0+240.00	1,133,636.35	1,463,604.64	14.17	1,133,639.56	1,463,603.23	14.24	1,133,642.77	1,463,601.83	14.17
0+245.00	1,133,638.35	1,463,609.22	14.18	1,133,641.56	1,463,607.82	14.25	1,133,644.77	1,463,606.42	14.18
0+250.00	1,133,640.35	1,463,613.80	14.19	1,133,643.56	1,463,612.40	14.26	1,133,646.77	1,463,611.00	14.19
0+255.00	1,133,642.41	1,463,618.45	14.20	1,133,645.58	1,463,616.97	14.27	1,133,648.76	1,463,615.49	14.20
0+260.00	1,133,644.53	1,463,622.98	14.21	1,133,647.70	1,463,621.50	14.28	1,133,650.87	1,463,620.02	14.21
0+265.00	1,133,646.65	1,463,627.51	14.22	1,133,649.82	1,463,626.03	14.29	1,133,652.99	1,463,624.55	14.22
0+270.00	1,133,648.77	1,463,632.04	14.23	1,133,651.94	1,463,630.56	14.30	1,133,655.11	1,463,629.08	14.23
0+275.00	1,133,650.88	1,463,636.57	14.24	1,133,654.06	1,463,635.09	14.31	1,133,657.23	1,463,633.61	14.24
0+280.00	1,133,653.00	1,463,641.10	14.25	1,133,656.17	1,463,639.62	14.32	1,133,659.34	1,463,638.14	14.25
0+285.00	1,133,655.12	1,463,645.63	14.24	1,133,658.29	1,463,644.15	14.31	1,133,661.46	1,463,642.66	14.24
0+290.00	1,133,657.24	1,463,650.16	14.24	1,133,660.41	1,463,648.68	14.31	1,133,663.58	1,463,647.19	14.24
0+295.00	1,133,659.36	1,463,654.68	14.23	1,133,662.53	1,463,653.21	14.30	1,133,665.70	1,463,651.72	14.23
0+300.00	1,133,661.47	1,463,659.22	14.22	1,133,664.64	1,463,657.74	14.29	1,133,667.81	1,463,656.26	14.22
0+305.00	1,133,663.59	1,463,663.75	14.21	1,133,666.76	1,463,662.26	14.28	1,133,669.90	1,463,660.79	14.21
0+310.00	1,133,665.71	1,463,668.27	14.20	1,133,668.88	1,463,666.79	14.27	1,133,672.00	1,463,665.33	14.21
0+315.00	1,133,667.86	1,463,672.79	14.19	1,133,671.00	1,463,671.32	14.26	1,133,674.10	1,463,669.87	14.20
0+320.00	1,133,670.00	1,463,677.31	14.18	1,133,673.11	1,463,675.85	14.25	1,133,676.20	1,463,674.41	14.20
0+325.00	1,133,672.14	1,463,681.83	14.17	1,133,675.23	1,463,680.38	14.24	1,133,678.29	1,463,678.95	14.19
0+325.54	1,133,672.29	1,463,682.36	14.17	1,133,675.46	1,463,680.87	14.24	1,133,678.52	1,463,679.44	14.19

ANEXO 3.
DIFERENCIA DE ELEVACIÓN

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

417/k

Informe de diferencias de elevación de perfil

Alineación vertical: RASANTE CRA 4 ENTRE CLL73-77 (N-S)
Perfil existente: Terreno - Superficie (170)
Descripción:
Intervalo de P.K.: Inicio: 0+000.00, Fin: 0+326.13

VAV	P.K.	Abscisa	Ordenada	Elevación existente	Diseño de elevación	Diferencia de elevación
0	0+000.00	1133533.608	1463387.305	13.804m	13.804m	-0.000m
1	0+005.00	1133535.625	1463391.880	13.575m	13.814m	-0.239m
2	0+010.00	1133537.642	1463396.455	13.523m	13.824m	-0.301m
3	0+015.00	1133539.659	1463401.030	13.470m	13.834m	-0.364m
4	0+020.00	1133541.676	1463405.606	13.450m	13.844m	-0.394m
5	0+025.00	1133543.693	1463410.181	13.467m	13.854m	-0.387m
6	0+030.00	1133545.710	1463414.756	13.446m	13.864m	-0.418m
7	0+035.00	1133547.727	1463419.331	13.475m	13.874m	-0.399m
8	0+040.00	1133549.744	1463423.906	13.551m	13.884m	-0.333m
9	0+045.00	1133551.761	1463428.481	13.619m	13.894m	-0.275m
10	0+050.00	1133553.778	1463433.056	13.686m	13.904m	-0.218m
11	0+055.00	1133555.795	1463437.631	13.707m	13.914m	-0.207m
12	0+060.00	1133557.812	1463442.207	13.728m	13.924m	-0.196m
13	0+065.00	1133559.829	1463446.782	13.745m	13.934m	-0.189m
14	0+070.00	1133561.846	1463451.357	13.749m	13.944m	-0.194m
15	0+075.00	1133563.862	1463455.932	13.774m	13.954m	-0.180m
16	0+080.00	1133565.879	1463460.507	13.799m	13.964m	-0.165m
17	0+085.00	1133567.896	1463465.082	13.762m	13.974m	-0.212m
18	0+090.00	1133569.913	1463469.657	13.715m	13.984m	-0.269m
19	0+095.00	1133571.930	1463474.232	13.668m	13.994m	-0.326m
20	0+100.00	1133573.947	1463478.808	13.614m	14.004m	-0.390m
21	0+105.00	1133575.964	1463483.383	13.611m	14.014m	-0.403m
22	0+110.00	1133577.981	1463487.958	13.645m	14.024m	-0.379m
23	0+115.00	1133579.998	1463492.533	13.679m	14.034m	-0.355m
24	0+120.00	1133582.015	1463497.108	13.708m	14.044m	-0.336m
25	0+125.00	1133584.032	1463501.683	13.732m	14.054m	-0.322m
26	0+130.00	1133586.049	1463506.258	13.757m	14.064m	-0.307m
27	0+135.00	1133588.066	1463510.834	13.781m	14.074m	-0.293m
28	0+140.00	1133590.083	1463515.409	13.806m	14.084m	-0.278m
29	0+145.00	1133592.100	1463519.984	13.830m	14.094m	-0.265m
30	0+150.00	1133594.117	1463524.559	13.833m	14.104m	-0.271m
31	0+155.00	1133596.134	1463529.134	13.835m	14.114m	-0.278m
32	0+160.00	1133598.151	1463533.709	13.837m	14.124m	-0.287m
33	0+165.00	1133600.168	1463538.284	13.884m	14.134m	-0.250m
34	0+170.00	1133602.185	1463542.859	13.984m	14.144m	-0.159m
35	0+175.00	1133604.202	1463547.435	14.016m	14.154m	-0.138m
36	0+180.00	1133606.219	1463552.010	14.048m	14.164m	-0.116m
37	0+185.00	1133608.236	1463556.585	14.061m	14.174m	-0.113m
38	0+190.00	1133610.253	1463561.160	14.062m	14.184m	-0.121m
39	0+195.00	1133612.270	1463565.735	14.058m	14.194m	-0.136m
40	0+200.00	1133614.287	1463570.310	14.108m	14.204m	-0.095m
41	0+205.00	1133616.304	1463574.885	14.191m	14.214m	-0.023m
42	0+210.00	1133618.321	1463579.460	14.163m	14.224m	0.039m
43	0+215.00	1133620.338	1463584.036	14.288m	14.234m	0.054m

44	0+220.00	1133622.355	1463588.611	14.304m	14.244m	0.061m
45	0+225.00	1133624.372	1463593.185	14.317m	14.254m	0.063m
46	0+230.00	1133626.389	1463597.761	14.301m	14.264m	0.037m
47	0+235.00	1133628.406	1463602.336	14.288m	14.274m	0.015m
48	0+240.00	1133630.423	1463606.911	14.280m	14.284m	-0.004m
49	0+245.00	1133632.440	1463611.486	14.262m	14.294m	-0.033m
50	0+250.00	1133634.456	1463616.062	14.115m	14.304m	-0.189m
51	0+255.00	1133636.489	1463620.630	14.229m	14.314m	-0.084m
52	0+260.00	1133638.676	1463625.116	14.280m	14.321m	-0.041m
53	0+265.00	1133640.863	1463629.622	14.264m	14.322m	-0.058m
54	0+270.00	1133643.050	1463634.118	14.259m	14.317m	-0.058m
55	0+275.00	1133645.237	1463638.615	14.257m	14.308m	-0.051m
56	0+280.00	1133647.424	1463643.111	14.258m	14.298m	-0.040m
57	0+285.00	1133649.612	1463647.607	14.260m	14.288m	-0.029m
58	0+290.00	1133651.799	1463652.103	14.261m	14.279m	-0.017m
59	0+295.00	1133653.986	1463656.600	14.263m	14.269m	-0.006m
60	0+300.00	1133656.173	1463661.096	14.286m	14.259m	0.027m
61	0+305.00	1133658.360	1463665.592	14.270m	14.249m	0.021m
62	0+310.00	1133660.548	1463670.088	14.248m	14.240m	0.008m
63	0+315.00	1133662.735	1463674.585	14.226m	14.230m	-0.004m
64	0+320.00	1133664.922	1463679.081	14.204m	14.220m	-0.016m
65	0+325.00	1133667.109	1463683.577	14.182m	14.210m	-0.028m
66	0+326.13	1133667.604	1463684.594	14.208m	14.208m	-0.000m

418/k

Informe de diferencias de elevación de perfil

Alineación vertical: CRA 4 ENTRE CLL73-77 (S-N)
Perfil existente: Terreno - Superficie (136)
Descripción:
Intervalo de P.K.: Inicio: 0+000.00, Fin: 0+325.54

VAV	P.K.	Abscisa	Ordenada	Elevación existente	Diseño de elevación	Diferencia de elevación
0	0+000.00	1133543.487	1463383.302	13.756m	13.758m	-0.002m
1	0+005.00	1133545.489	1463387.884	13.752m	13.768m	-0.016m
2	0+010.00	1133547.490	1463392.466	13.637m	13.778m	-0.142m
3	0+015.00	1133549.492	1463397.048	13.521m	13.788m	-0.268m
4	0+020.00	1133551.493	1463401.630	13.461m	13.798m	-0.337m
5	0+025.00	1133553.495	1463406.212	13.529m	13.809m	-0.280m
6	0+030.00	1133555.496	1463410.794	13.578m	13.819m	-0.240m
7	0+035.00	1133557.498	1463415.376	13.645m	13.829m	-0.184m
8	0+040.00	1133559.499	1463419.958	13.709m	13.839m	-0.129m
9	0+045.00	1133561.501	1463424.540	13.774m	13.849m	-0.075m
10	0+050.00	1133563.502	1463429.121	13.834m	13.859m	-0.025m
11	0+055.00	1133565.504	1463433.703	13.845m	13.869m	-0.024m
12	0+060.00	1133567.505	1463438.285	13.860m	13.879m	-0.019m
13	0+065.00	1133569.507	1463442.867	13.876m	13.889m	-0.014m
14	0+070.00	1133571.508	1463447.449	13.871m	13.899m	-0.028m
15	0+075.00	1133573.509	1463452.031	13.865m	13.910m	-0.044m
16	0+080.00	1133575.511	1463456.613	13.839m	13.920m	-0.080m
17	0+085.00	1133577.512	1463461.195	13.856m	13.930m	-0.074m
18	0+090.00	1133579.514	1463465.777	13.886m	13.940m	-0.054m
19	0+095.00	1133581.515	1463470.359	13.917m	13.950m	-0.033m
20	0+100.00	1133583.517	1463474.941	13.948m	13.960m	-0.012m
21	0+105.00	1133585.518	1463479.523	13.953m	13.970m	-0.017m
22	0+110.00	1133587.520	1463484.105	13.957m	13.980m	-0.024m
23	0+115.00	1133589.521	1463488.687	13.960m	13.990m	-0.030m
24	0+120.00	1133591.523	1463493.268	13.964m	14.001m	-0.037m
25	0+125.00	1133593.524	1463497.850	13.967m	14.011m	-0.044m
26	0+130.00	1133595.526	1463502.432	13.968m	14.021m	-0.053m
27	0+135.00	1133597.527	1463507.014	13.969m	14.031m	-0.061m
28	0+140.00	1133599.529	1463511.596	13.971m	14.041m	-0.070m
29	0+145.00	1133601.530	1463516.178	13.972m	14.051m	-0.079m
30	0+150.00	1133603.532	1463520.760	13.972m	14.061m	-0.089m
31	0+155.00	1133605.533	1463525.342	13.991m	14.071m	-0.080m
32	0+160.00	1133607.535	1463529.924	14.072m	14.081m	-0.009m
33	0+165.00	1133609.536	1463534.506	14.080m	14.092m	-0.011m
34	0+170.00	1133611.537	1463539.088	14.098m	14.102m	-0.004m
35	0+175.00	1133613.539	1463543.670	13.991m	14.112m	-0.121m
36	0+180.00	1133615.540	1463548.252	13.874m	14.122m	-0.248m
37	0+185.00	1133617.542	1463552.834	13.793m	14.132m	-0.339m
38	0+190.00	1133619.543	1463557.416	13.936m	14.142m	-0.206m
39	0+195.00	1133621.545	1463561.997	14.056m	14.152m	-0.096m
40	0+200.00	1133623.546	1463566.579	14.126m	14.162m	-0.036m
41	0+205.00	1133625.548	1463571.161	14.180m	14.172m	0.007m
42	0+210.00	1133627.549	1463575.743	14.303m	14.182m	0.121m
43	0+215.00	1133629.551	1463580.325	14.263m	14.193m	0.070m

44	0+220.00	1133631.552	1463584.907	14.167m	14.203m	-0.036m
45	0+225.00	1133633.554	1463589.489	14.095m	14.213m	-0.118m
46	0+230.00	1133635.555	1463594.071	14.055m	14.223m	-0.168m
47	0+235.00	1133637.557	1463598.653	14.011m	14.233m	-0.222m
48	0+240.00	1133639.558	1463603.235	14.020m	14.243m	-0.223m
49	0+245.00	1133641.560	1463607.817	14.066m	14.253m	-0.187m
50	0+250.00	1133643.561	1463612.399	14.110m	14.263m	-0.154m
51	0+255.00	1133645.585	1463616.971	14.187m	14.273m	-0.086m
52	0+260.00	1133647.702	1463621.500	14.171m	14.284m	-0.113m
53	0+265.00	1133649.820	1463626.029	14.152m	14.294m	-0.141m
54	0+270.00	1133651.938	1463630.559	14.134m	14.304m	-0.170m
55	0+275.00	1133654.055	1463635.088	14.118m	14.312m	-0.194m
56	0+280.00	1133656.173	1463639.618	14.115m	14.316m	-0.200m
57	0+285.00	1133658.291	1463644.147	14.112m	14.314m	-0.202m
58	0+290.00	1133660.408	1463648.677	14.109m	14.307m	-0.198m
59	0+295.00	1133662.526	1463653.206	14.106m	14.297m	-0.191m
60	0+300.00	1133664.643	1463657.735	14.125m	14.287m	-0.162m
61	0+305.00	1133666.761	1463662.265	14.137m	14.277m	-0.140m
62	0+310.00	1133668.879	1463666.794	14.147m	14.267m	-0.120m
63	0+315.00	1133670.996	1463671.324	14.157m	14.257m	-0.100m
64	0+320.00	1133673.114	1463675.853	14.166m	14.246m	-0.080m
65	0+325.00	1133675.232	1463680.382	14.173m	14.236m	-0.063m
66	0+325.54	1133675.462	1463680.875	14.235m	14.235m	-0.000m

ANEXO 4.
PENDIENTE LONGITUDINAL

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Informe de P.K. incremental de VAV

Alineación vertical: CRA 4 ENTRE CLL73-77 (S-N)
Descripción:
Intervalo de P.K.: inicio: 0+000.00, fin: 0+325.54
Incremento de P.K: 5.00

P.K.	Elevación	Porcentaje de pendiente (%)	Ubicación
0+000.00	13.758m		VAV
0+005.00	13.768m	0.20%	
0+010.00	13.778m	0.20%	
0+015.00	13.788m	0.20%	
0+020.00	13.798m	0.20%	
0+025.00	13.809m	0.20%	
0+030.00	13.819m	0.20%	
0+035.00	13.829m	0.20%	
0+040.00	13.839m	0.20%	
0+045.00	13.849m	0.20%	
0+050.00	13.859m	0.20%	
0+055.00	13.869m	0.20%	
0+060.00	13.879m	0.20%	
0+065.00	13.889m	0.20%	
0+070.00	13.899m	0.20%	
0+075.00	13.910m	0.20%	
0+080.00	13.920m	0.20%	
0+085.00	13.930m	0.20%	
0+090.00	13.940m	0.20%	
0+095.00	13.950m	0.20%	
0+100.00	13.960m	0.20%	
0+105.00	13.970m	0.20%	
0+110.00	13.980m	0.20%	
0+115.00	13.990m	0.20%	
0+120.00	14.001m	0.20%	
0+125.00	14.011m	0.20%	
0+130.00	14.021m	0.20%	
0+135.00	14.031m	0.20%	
0+140.00	14.041m	0.20%	
0+145.00	14.051m	0.20%	
0+150.00	14.061m	0.20%	
0+155.00	14.071m	0.20%	
0+160.00	14.081m	0.20%	

0+165.00	14.092m	0.20%	
0+170.00	14.102m	0.20%	
0+175.00	14.112m	0.20%	
0+180.00	14.122m	0.20%	
0+185.00	14.132m	0.20%	
0+190.00	14.142m	0.20%	
0+195.00	14.152m	0.20%	
0+200.00	14.162m	0.20%	
0+205.00	14.172m	0.20%	
0+210.00	14.182m	0.20%	
0+215.00	14.193m	0.20%	
0+220.00	14.203m	0.20%	
0+225.00	14.213m	0.20%	
0+230.00	14.223m	0.20%	
0+235.00	14.233m	0.20%	
0+240.00	14.243m	0.20%	
0+245.00	14.253m	0.20%	
0+250.00	14.263m	0.20%	
0+255.00	14.273m	0.20%	
0+260.00	14.284m	0.20%	
0+265.00	14.294m	0.20%	
0+270.00	14.304m	0.20%	
0+271.07	14.306m	0.20%	PAV
0+275.00	14.312m	0.16%	
0+280.00	14.316m	0.07%	
0+280.93	14.316m	0.01%	Convexo
0+285.00	14.314m	-0.04%	
0+290.00	14.307m	-0.14%	
0+290.79	14.306m	-0.20%	PTV
0+295.00	14.297m	-0.20%	
0+300.00	14.287m	-0.20%	
0+305.00	14.277m	-0.20%	
0+310.00	14.267m	-0.20%	
0+315.00	14.257m	-0.20%	
0+320.00	14.246m	-0.20%	
0+325.00	14.236m	-0.20%	
0+325.54	14.235m	-0.20%	

Alineación vertical: RASANTE CRA 4 ENTRE CLL73-77 (N-S)

Descripción:

Intervalo de P.K.: Inicio: 0+000.00, fin: 0+326.13

Incremento de P.K: 5.00

P.K.	Elevación	Porcentaje de pendiente (%)	Ubicación
0+000.00	13.804m		VAV
0+005.00	13.814m	0.20%	
0+010.00	13.824m	0.20%	
0+015.00	13.834m	0.20%	
0+020.00	13.844m	0.20%	
0+025.00	13.854m	0.20%	
0+030.00	13.864m	0.20%	
0+035.00	13.874m	0.20%	
0+040.00	13.884m	0.20%	
0+045.00	13.894m	0.20%	
0+050.00	13.904m	0.20%	
0+055.00	13.914m	0.20%	
0+060.00	13.924m	0.20%	
0+065.00	13.934m	0.20%	
0+070.00	13.944m	0.20%	
0+075.00	13.954m	0.20%	
0+080.00	13.964m	0.20%	
0+085.00	13.974m	0.20%	
0+090.00	13.984m	0.20%	
0+095.00	13.994m	0.20%	
0+100.00	14.004m	0.20%	
0+105.00	14.014m	0.20%	
0+110.00	14.024m	0.20%	
0+115.00	14.034m	0.20%	
0+120.00	14.044m	0.20%	
0+125.00	14.054m	0.20%	
0+130.00	14.064m	0.20%	
0+135.00	14.074m	0.20%	
0+140.00	14.084m	0.20%	
0+145.00	14.094m	0.20%	
0+150.00	14.104m	0.20%	
0+155.00	14.114m	0.20%	
0+160.00	14.124m	0.20%	
0+165.00	14.134m	0.20%	
0+170.00	14.144m	0.20%	
0+175.00	14.154m	0.20%	
0+180.00	14.164m	0.20%	
0+185.00	14.174m	0.20%	

0+190.00	14.184m	0.20%	
0+195.00	14.194m	0.20%	
0+200.00	14.204m	0.20%	
0+205.00	14.214m	0.20%	
0+210.00	14.224m	0.20%	
0+215.00	14.234m	0.20%	
0+220.00	14.244m	0.20%	
0+225.00	14.254m	0.20%	
0+230.00	14.264m	0.20%	
0+235.00	14.274m	0.20%	
0+240.00	14.284m	0.20%	
0+245.00	14.294m	0.20%	
0+250.00	14.304m	0.20%	
0+255.00	14.314m	0.20%	
0+255.24	14.314m	0.20%	PAV
0+260.00	14.321m	0.14%	
0+263.47	14.322m	0.04%	Convexo
0+265.00	14.322m	-0.02%	
0+270.00	14.317m	-0.09%	
0+271.69	14.314m	-0.17%	PTV
0+275.00	14.308m	-0.20%	
0+280.00	14.298m	-0.20%	
0+285.00	14.288m	-0.20%	
0+290.00	14.279m	-0.20%	
0+295.00	14.269m	-0.20%	
0+300.00	14.259m	-0.20%	
0+305.00	14.249m	-0.20%	
0+310.00	14.240m	-0.20%	
0+315.00	14.230m	-0.20%	
0+320.00	14.220m	-0.20%	
0+325.00	14.210m	-0.20%	
0+326.13	14.208m	-0.20%	

ANEXO 5.
PLANO DISEÑO GEOMETRICO Y MODULACIÓN DE LOSAS
(EN CD)

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

DISEÑO DE PAVIMENTO - COMUNA 8

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA EL PROYECTO "PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN BARRIOS DE LA COMUNA 8 EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA"

ELABORADO POR:

JORGE ANTONIO GONZÁLEZ AYUS
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES

SEPTIEMBRE DE 2024

Tabla de contenido

Tabla de contenido 1

Introducción 1

1. Objetivos 2

1.1 Objetivo general 2

1.2 Objetivos específicos 2

2. Generalidades del proyecto 3

2.1 Localización del proyecto 3

2.2 Descripción del proyecto 4

3. Metodología 5

3.1 Trabajo de campo geotécnico 5

3.2 Caracterización vehicular 5

3.3 Diseño de estructura de pavimento 8

3.1.1 Método Portland Cement Association [PCA]para diseño de pavimentos de concreto 8

3.1.1.1 Análisis de fatiga 9

3.1.1.2 Análisis de Erosión 9

3.1.2 Variables de diseño método Portland Cement Association [PCA] 9

4.0 Resultados 10

4.1 Caracterización geotécnica 10

4.1.1 Descripción de la subrasante 10

4.1.2 Valor de capacidad relativa de soporte 10

4.1.3 Mejoramiento de la subrasante 11

4.2 Estudio de tránsito 13

4.3 Espesores de estructura de pavimento 14

4.3.1 Conformación de la subbase granular 14

4.3.2 Diseño Estructura de pavimento rígido 16

4.4 Geometría de losas de concreto hidráulico 17

4.5 Diseño de juntas 20

4.6 Sello de juntas 24

4.7 Drenajes 24

5.0 Conclusiones 25

923/K

6.0 Recomendaciones 27
7.0 limitaciones del estudio 32
8.0 Bibliografía 33
ANEXOS 34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tramos viales para diseñar 3
Tabla 2. Estimación del factor carril 7
Tabla 3. Estimación de K_3 para la proyección de tráfico 8
Tabla 4. Capacidad relativa de soporte de diseño – Muestras de CBR 11
Tabla 5 Espesores de relleno existente y espesor remante 11
Tabla 6. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño 13
Tabla 7. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño 13
Tabla 8. Franjas granulométricas del material subbase granular 14
Tabla 9. Módulo de reacción conjunto SBG-SBR 15
Tabla 10. Resultados de diseño de espesor de losa 16
Tabla 11. Modulación de losas de concreto 18
Tabla 12. Caracteristica de acero de juntas transversales. 22
Tabla 13. Caracteristica de acero de juntas longitudinales 23
Tabla 14. Espesores de estructura de pavimento tramo vial salida De Los Barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41 25
Tabla 15. Espesores de estructura de pavimento para el resto de los tramos viales. 26

424/K

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del sector 3
Figura 2. Categorización de camiones 6
Figura 3. Relación entre clasificación de suelo y los valores de CBR y módulo de reacción de la subrasante ..... ¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección centrados 19
Figura 5. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección centrados (Segunda alternativa). 19
Figura 6. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección no centrados. 20
Figura 7. Esquema de refuerzos para losa con dos o más pozos de inspección 20
Figura 8. Acero de refuerzo en ambas caras de la losa 20
Figura 10. Representación esquemática de barras longitudinales y transversales 21
Figura 10. Esquema de colocación de acero de refuerzo en juntas transversales 22
Figura 11. Estructura de pavimento definitiva 23
Figura 12. Estructura de pavimento definitiva ..... ¡Error! Marcador no definido.
Figura 13. Detalle constructivo de bordillo prefabricado y vaciado "in situ" 30

Introducción

En el presente informe se presentan los resultados del diseño de espesores de la estructura de pavimento rígido a través del método de Portland Cement Association (PCA) en los tramos viales urbanos correspondientes al grupo de prioridad 1a de la comuna 8 en el municipio de Montería, Departamento de Córdoba, para lo cual se requiere como insumo la caracterización de las propiedades geomecánicas del suelo de soporte y la descripción de la carga vehicular proyectada en el periodo de diseño.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

- Determinar los espesores de subbase granular y capa de rodadura de la estructura de pavimento rígido en función de las características mecánicas del suelo natural de soporte y las cargas vehiculares en el periodo de diseño en los tramos viales urbanos correspondientes a la comuna 8, en el municipio de Montería, Córdoba, a través del método de diseño de la Portland Cement Association [PCA].

1.2 Objetivos específicos

- Determinar el espesor de subbase granular de la estructura de pavimento rígido en función del aporte que genera al conjunto Subbase – subrasante.
- Determinar el espesor de la capa de rodadura en concreto hidráulico en función de la respuesta mecánica del conjunto subbase – subrasante.
- Determinar la geometría de las losas de concreto hidráulico que conforman la capa de rodadura de la estructura de pavimento rígido.

2. Generalidades del proyecto

2.1 Localización del proyecto

El proyecto en consideración se localiza en la zona urbana del Municipio de Montería, en el Departamento de Córdoba. Este estudio presenta como objeto diseñar la estructura de pavimento rígido de los tramos viales urbanos correspondientes a la comuna 8. A continuación, se muestra una relación de las vías y una imagen del sector:

Tabla 1. Tramos viales para diseñar

Tramo vial
Salida de Los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41
Calle 46 Entre La Cra 18 Y La Via Monteria - San Carlos
Cra 18b Entre Las Calles 44a Y 48
Cra 15b Entre Las Calles 29 Y 34
Cra 16a Entre Las Calles 40 Y 41
Cra 15d Entre Las Calles 40a Y 40b
Cra 15c Entre Las Calles 40a Y 41
Cra 16b Entre Las Calles 29 Y 38
Cra 16c Entre Las Cras 38 Y 39
Cra 18 Entre Las Cras 38 Y 39
Cra 20 Entre Las Cras 38 Y 39
Cra 22 Entre Las Calles 29 Y 38
Calle 39 Entre La Cra 22 Y Calle 29

Figura 1. Localización del sector



Fuente: Google (2024). [Calle 70, Carepa, Colombia]. Google Earth. https://www.googleearth.com

2.2 Descripción del proyecto

El proyecto trata de la construcción de aproximadamente 2500 m de pavimento en concreto hidráulico, distribuidos en los tramos mostrados anteriormente. Como característica principal se evidencia la circulación en dos sentidos, con dos carriles, con un ancho de vía especifica en cada tramo vial. La anterior descripción se realiza con base en la información suministrada por el solicitante y la visita de campo.

3. Metodología

3.1 Trabajo de campo geotécnico

En primera instancia se realizaron diecinueve (19) apiques o calicatas exploratorias ubicadas a lo largo de los tramos viales, con el fin de tomar muestras alteradas e "inalteradas" para realizar los respectivos ensayos de laboratorio y evaluar las características geotécnicas de cada una de las capas que conforman el soporte (subrasante) existente. Estos apiques se realizaron a una profundidad de 1.50 m, indicando la profundidad del nivel de agua freático NAF. Los apiques de identificaron con la letra "A" seguido de un número, el cual indica el orden en que se desarrollaron.

La información se encuentra consignada en el documento "***ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN BARRIOS DE LAS COMUNA 8 EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA***" desarrollado por Ing. Esp. **Robinson Martínez Sandoval** en **septiembre de 2024.**

3.2 Caracterización vehicular

Una de las variables de mayor importancia en el diseño de estructuras de pavimento es el Transito, el cual, se categoriza en vehículos livianos (autos) y vehículos comerciales (buses y camiones), siendo los vehículos comerciales los que generan los deterioros de la vida útil del pavimento durante el periodo de diseño. Por lo anteriormente expuesto se hace necesario estimar la cantidad de vehículos comerciales que transitan actualmente en la zona del proyecto, así mismo, estimar el crecimiento de la circulación de vehículos una vez las vías intervenidas entren en funcionamiento y de esta manera proyectar la circulación durante el periodo de diseño de la estructura de pavimento.

En este estudio es necesario tener en cuenta varios aspectos referidos a la clasificación de los vehículos, los factores de equivalencia de carga, distribución direccional y por carril y la proyección de las variables en la vida de diseño.

Para la caracterización de la carga vehicular, se desarrollaron conteos en diferentes puntos (estaciones de conteo) en adyacentes a las vías donde se proyecta la intervención, estos conteos se realizaron los días 26, 27 y 31 de agosto. La supervisión de la actividad del conteo vehicular y el

procesamiento de la información estuvo a cargo del Ingeniero Civil Jorge González Ayus, especialista en ingeniería de vías terrestres.

Para la categorización de camiones se adopta la clasificación propuesta por el INVIAS, la cual se muestra a continuación:

Figura 2. Categorización de camiones

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Doblemaniobra
3S2		Tractocamión de tres ejes con semiremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semiremolque de tres ejes

Fuente: (INVIAS, 2008)

El tránsito promedio diario (TPD) se obtendrá con base en las estimaciones mencionadas anteriormente. Para la estimación del volumen ya sea de vehículos o ejes que circularan por los tramos viales a intervenir durante el periodo de diseño, bastará con determinar la composición vehicular en términos porcentuales y a partir de esta determinar la fracción de cada tipo de vehículo comercial.

En términos de número de ejes simples, tándem y tridem en el periodo de diseño se puede determinar así:

$$N_{ejes} = \frac{\#Ejes}{día} * \frac{K_2}{100} * K_3 * n * 365$$

Donde:

$\#Ejes$: número de ejes según determinada carga y configuración

K_2: factor carril

K_3: factor de proyección

n: periodo de diseño en años

365: número de días de un año

N_{ejes}: número acumulado de ejes según determinada carga y configuración.

Para la caracterización de la variable transito empleada en el método de diseño de pavimento rígido propuesto por Portland Cement Association - PCA (1984) se realiza la cuantificación a través de espectros de carga o del número de ejes pesados o comerciales de determinada carga y configuración. Dentro del procedimiento que realiza para la obtención del número de ejes esperados que circulen en el carril de diseño durante el periodo de diseño se requiere el valor del factor carril [k_2], el cual, depende del TPD y del número de carril en una dirección. A continuación, se muestra en la tabla 1, los valores k_2.

Tabla 2. Estimación del factor carril

TPD [vehiculo/dia]	Dos carriles en una dirección	Tres carriles en una dirección
	Factor carril, k2 [%]	
1000	100	-
2000	95	-
3000	91	78
4000	89	76
5000	87	74
6000	85	73
7000	84	72
8000	83	70
9000	82	69
10000	81	68
15000	78	65
20000	75	63
30000	72	59
40000	68	57
60000	-	54
80000	-	52

Fuente: (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022)

Asi mismo, dentro del procedimiento que realiza para la obtención del número de ejes esperados que circulen en el carril de diseño durante el periodo de diseño se requiere el valor del factor proyección [k_3], el cual, depende del crecimiento anual del tránsito y del periodo de diseño. A continuación, se muestra en la tabla 2, los valores k_3.

El uso de este factor es fundamental para la caracterización de la variable de tránsito utilizada en el método de diseño de pavimento rígido propuesto por la PCA.

Tabla 3. Estimación de K_3 para la proyección de tráfico

Tasa de crecimiento anual de tránsito, i [%]	Periodo de diseño, n = 20 años	Periodo de diseño, n = 40 años
	k3	
1.00	1.1	1.2
1.50	1.2	1.3
2.00	1.2	1.5
2.50	1.3	1.6
3.00	1.3	1.8
3.50	1.4	2
4.00	1.5	2.2
4.50	1.6	2.4
5.00	1.6	2.7
5.50	1.7	2.9
6.00	1.8	3.2

Fuente: (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022)

3.3 Diseño de estructura de pavimento

Para la determinación de los espesores de losa de concreto hidráulico y sub base granular se procedió a través del uso de la metodología de diseño PCA. El espesor de losa y sub base granular será el que cumpla con los criterios de fatiga y erosión expuesto en el método de diseño [PCA]. A continuación, se enuncia los aspectos relevantes de cada metodología de diseño.

3.1.1 Método Portland Cement Association [PCA]para diseño de pavimentos de concreto

La metodología expuesta por la Portland Cement Association [PCA], la cual, considera el efecto de confinamiento lateral a través de bermas o la ausencia de este; así mismo, contempla como mecanismo de transferencia de carga entre losas dos alternativas: trabazón de agregados o pasadores. El método de la PCA para diseño de pavimentos rígidos considera dos criterios de diseño, los cuales se expondrán de manera corta a continuación:

3.1.1.1 Análisis de fatiga

Considera que la estructura de pavimento puede fallar por fatiga en el concreto hidráulico de las losas que conforman la capa de rodadura, producto de las repeticiones de la carga vehicular en el periodo de diseño. El daño acumulado por fatiga durante el periodo de diseño de obtendrá al comparar el número de repeticiones admisibles de una carga vehicular especifica con las repeticiones proyectadas para la misma carga vehicular. El consumo de fatiga que se obtiene al realizar la sumatoria de la relación entre repeticiones admisibles y repeticiones esperadas para todos los tipos de carga vehicular, el valor obtenido no deberá superar el 100% para ser admitido el diseño.

3.1.1.2 Análisis de Erosión

Considera que los pavimentos fallan por bombeo (lavado de finos), erosión en la fundación, o deterioro de las juntas. Las probables fallas enunciadas anteriormente están asociadas a la presencia de deflexiones. El daño acumulado por erosión durante el periodo de diseño de obtendrá al comparar el número de repeticiones admisibles por erosión de una carga vehicular especifica con las repeticiones proyectadas para la misma carga vehicular. El consumo de erosión que se obtiene al realizar la sumatoria de la relación entre repeticiones admisibles y repeticiones esperadas para todos los tipos de carga vehicular, el valor obtenido no deberá superar el 100% para ser admitido el diseño.

3.1.2 Variables de diseño método Portland Cement Association [PCA]

Para el diseño de los espesores de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento rígido se debe considerar las siguientes variables:

- Módulo de reacción de la subrasante
- Resistencia a la flexión del concreto hidráulico
- Confinamiento lateral de la estructura de pavimento
- Mecanismo de transferencia de carga entre losas
- Periodo de diseño
- Caracterización de cargas vehiculares.

4.0 Resultados

4.1 Caracterización geotécnica

4.1.1 Descripción de la subrasante

Para la caracterización de los tramos viales se realizaron diecinueve (19) apiques o calicatas exploratorias ubicadas a lo largo de los tramos viales, a una profundidad de 1.50 m, a los cuales se les tomó muestras inalteradas cada vez que se evidenció cambio en las características físicas (color, textura, contenido de humedad, etc). A las muestras extraídas se les desarrollaron los siguientes ensayos:

- Humedad natural
- Peso unitario
- Límite líquido
- Límite plástico
- Gradación
- Capacidad relativa de soporte
- Expansión libre

Las características principales encontradas en los tramos viales, en el municipio de Montería, Córdoba se encuentran en las tablas 13, 14, 15, 16, 23, 24, 25, 26, 27, 33, 34, 35, 36, 42, 43, 49, 50, y 51 del documento ***ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN BARRIOS DE LAS COMUNA 8 EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.*** desarrollado por Ing. Esp. Robinson Martínez Sandoval en septiembre de 2024".

4.1.2 Valor de capacidad relativa de soporte

Para la medición de la capacidad relativa se tomó muestras inalteradas para la evaluación de la capacidad relativa de soporte [CBR] del suelo en condición natural. Para la obtención del valor de capacidad relativa de soporte del tramo vial se utilizó un promedio entre los valores de CBR de los apiques, para una condición sumergida, debido a las condiciones hidráulicas de la zona. En los tramos donde se encontró un espesor de material de lleno superior a 0.90m se tomó una muestra alterada representativa y desarrollo el ensayo de CBR en laboratorio.

Tabla 4. Capacidad relativa de soporte de diseño – Muestras de CBR

Tramo vial	CBR [%]
Salida de Los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41	4.1
Calle 46 Entre La Cra 18 Y La Vía Montería - San Carlos	7.6
Cra 18b Entre Las Calles 44a Y 48	Lab (22%)
Cra 15b Entre Las Calles 29 Y 34	7.6
Cra 16a Entre Las Calles 40 Y 41	6.2
Cra 15d Entre Las Calles 40a Y 40b	Lab (28%)
Cra 15c Entre Las Calles 40a Y 41	Lab (25%)
Cra 16b Entre Las Calles 29 Y 36	4.9
Cra 16c Entre Las Cras 38 Y 39	12.9
Cra 18 Entre Las Cras 38 Y 39	6.7
Cra 20 Entre Las Cras 38 Y 39	6.2
Cra 22 Entre Las Calles 29 Y 38	5.3
Calle 39 Entre La Cra 22 Y Calle 29	5.8

4.1.3 Mejoramiento de la subrasante

Este aspecto es fundamental para la evaluación de la propiedad mecánica del soporte del conjunto de las capas que servirán de apoyo a la losa de concreto hidráulico, así mismo, se realizó un evaluación del espesor de la capa de rodadura existente, con el objeto de revisar el aporte de esta como material de mejoramiento una vez se desarrolle la actividad de corte para la construcción de la capa de sub base y espesor de losa., es decir, se deberá tener en cuenta el aporte estructural del material remanente en términos de resistencia mecánica. A continuación, se muestra en la tabla 5 los espesores de relleno existente y el espesor remanente al realizar un corte de 400 mm.

Tabla 5 Espesores de relleno existente y espesor remante

Descripción	Espesor De Relleno Existente [mm]	Espesor relleno Después de corte de 400 mm Promedio [mm]
Salida De Los Barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41	Sin Relleno, Vía Nueva	0
Calle 46 Entre La Cra 18 Y La Vía Montería - San Carlos	600	200
Cra 18b Entre Las Calles 44a Y 48	900	500
Cra 15b Entre Las Calles 29 Y 34	400	0
Cra 16a Entre Las Calles 40 Y 41	600	200
Cra 15d Entre Las Calles 40a Y 40b	>1000	600
Cra 15c Entre Las Calles 40a Y 41	>1000	600

Cra 16b Entre Las Calles 29 Y 38	200	-200
Cra 16c Entre Las Cras 38 Y 39	500	100
Cra 18 Entre Las Cras 38 Y 39	450	150
Cra 20 Entre Las Cras 38 Y 39	650	250
Cra 22 Entre Las Calles 29 Y 38	400	0
Calle 39 Entre La Cra 22 Y Calle 29	450	50

Con el objeto de homogenizar el soporte de las estructuras de pavimento proyectadas en los diferentes tramos viales, se estima 65 MPa/m como valor mínimo de K del conjunto de la combinación de sub base y material de mejoramiento, es decir, se deberá garantizar este valor ya sea a través del aporte estructural del material remanente una vez que este tenga un espesor considerable y un valor de capacidad relativa de soporte suficiente o a través de la colocación, conformación y compactación de una capa nueva de material granular.

El espesor de mejoramiento de subrasante en material granular existente deberá ser mínimo 400 mm, siempre que el espesor de material remanente sea menor a 400mm, ya que no se puede adicionar el material de mejoramiento encima del material remanente por temas geométricos (niveles) respecto a las viviendas adyacentes, así mismo, el valor de CBR mínimo deberá ser de 10%. La cota inferior del mejoramiento de la subrasante estará gobernada por la cota de acabado de la estructura de pavimento, la cual está sujeta al diseño geométrico de la vía, nivel de viviendas o a los cambios de pendiente longitudinal, es decir, a partir de la cota de acabado se debe descontar el espesor de la capa de rodadura (losa en concreto hidráulico), el espesor de la capa de subbase y los 400 mm de espesor mínimo del mejoramiento; para así determinar la cota de inicio del mejoramiento. Posteriormente se deberá comparar con la cota natural o actual del terreno, para así determinar si existe la necesidad de reajustar la estructura existente.

Si durante el proceso de excavación o corte se evidencia suelos saturados altamente deformables, se recomienda realizar un reemplazo con el objeto de mitigar deformaciones en la capa de soporte, el cual, consiste en la colocación de piedra gruesa (rajón) de mejoramiento en un espesor no inferior a 0,500m (500mm). El proceso de reemplazo consiste en la colocación y posterior apisonamiento de piedra rajón, esto se debe realizar hasta que se evidencie un soporte firme y que no presente deformaciones excesivas. Seguidamente realizar un sello en la parte superior de la capa de piedra rajón, el cual consiste en colocar una capa en material granular con un espesor de 0,10m (100mm), lo

cual busca cerrar los intersticios presentes entre las particulas de piedra rajón. Una vez finalizado el proceso de sello, se recomienda el paso de una volqueta sencilla cargada, con la finalidad de verificar la ausencia de las altas deformaciones observadas inicialmente.

4.2 Estudio de tránsito

La información se tomó del informe de tránsito elaborado por el Ingeniero Civil Jorge González Ayus, especialista en ingeniería de vías terrestres, del cual, se tomará la distribución porcentual de vehículos comerciales medida a través de los conteos desarrollados, así mimo, se hará uso de la información de TPDs consignada en el informe citado anteriormente. Las repeticiones esperadas en el periodo de diseño se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño

Cargas [ton]	Salida De Los Barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41	Calle 46 Entre La Cra 18 Y La Vía Montería - San Carlos	Cra 18b entre las calles 44a Y 46	Cra 15b entre las calles 29 Y 34	Cra 16a entre las Calles 40 Y 41	Cra 15d entre las calles 40a Y 40b	Cra 15c entre las calles 40a Y 41
	Repeticiones esperadas						
3.1	166274	55425	83137	138562	193987	221699	138562
6.0	1091868	77595	88680	88680	72052	121935	105307
6.6	166274	55425	83137	138562	193987	221699	138562
11.0	193987	55425	83137	66510	60967	110850	94222
21.0	11085	0	0	0	0	0	0
22.0	892339	22170	5542	22170	11085	11085	11085
24.0	5542	0	0	0	0	0	0

Tabla 7. Repeticiones esperadas en el periodo de diseño

Cargas [ton]	Cra 16b entre las calles 29 y 38	Cra 16c entre las Cras 38 y 39	Cra 18 entre las Cras 38 Y 39	Cra 20 entre las Cras 38 y 39	Cra 22 Entre las Calles 29 y 38	Calle 39 entre la Cra 22 y Calle 29
	Repeticiones esperadas					
3.1	138562	83137	27712	38797	55425	110850
6.0	66510	38797	38797	44340	49882	88680

431

6.6	138562	83137	27712	38797	55425	110850
11.0	66510	38797	38797	44340	49862	66510
21.0	0	0	0	0	0	0
22.0	0	0	0	0	0	22170
24.0	0	0	0	0	0	0

La proyección de repeticiones se desarrolló para un crecimiento del 4.0% anual.

En el anexo 2 del presente informe se muestra detalladamente el procedimiento para la obtención de los valores registrados en las tablas 6 y 7.

4.3 Espesores de estructura de pavimento

4.3.1 Conformación de la subbase granular

El objeto de la construcción de la subbase granular es que las losas se apoyen sobre una capa uniforme y nivelada, con buen soporte y así prevenir el lavado de material, es decir, este no debe ser bombeable (de fácil lavado de finos), por lo cual debe tener como característica un límite líquido (LL) máximo de 25% y un índice de plasticidad (IP) inferior a 6%. Con el objeto de garantizar un adecuado acomodamiento de partículas durante el proceso de conformación y compactación de capa de subbase granular, el tamaño máximo de partículas del material a utilizar debe ser menor a un tercio del espesor de la capa.

Adicional debe cumplir con alguna de las franjas granulométricas que se muestras a continuación las cuales fueron tomadas de la especificación de subbase granular INV 320-22 del INVIAS.

Tabla 8. Franjas granulométricas del material subbase granular

Tabla 320 — 3. Franjas granulométricas del material de subbase granular

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)								
	50.0	37.5	25.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)								
SBG-50 (Nota)	100	70 — 95	60 — 90	45 — 75	40 — 70	25 — 55	15 — 40	6 — 25	2 — 15
SBG-38 (Nota)	-	100	75 — 95	55 — 85	45 — 75	30 — 60	20 — 45	8 — 30	2 — 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	-	7 %			6 %			3 %

Nota: el número indica el tamaño máximo, en milímetros, de las partículas en la gradación empleada.

Fuente: Norma INVIAS INVE – 320-22, 2022

El proceso de compactación de la capa de subbase respectivamente deberá ser realizado por subcapas, de espesores no mayores a 0,150m (150 mm), en el caso, que el espesor sea mayor a esta dimensión. Se debe compactar cada subcapa por lo menos hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación modificado realizado en el laboratorio

El material utilizado como subbase granular debe cumplir con los criterios de dureza, durabilidad, limpieza y resistencia descritos en la tabla 2 de la especificación de subbase granular INV 320-22 del INVIAS. Anexo a este informe se encuentran las especificaciones de Subbase (INV 311-22, INV 320 -22).

La estructura de pavimento a diseñar contempla el uso de subbase granular, a partir del espesor de esta se determina la respuesta del módulo de reacción del conjunto subbase – subrasante [kconjunto] el cual, es una variable de diseño de la estructura de pavimento. Este parámetro se obtuvo a partir del espesor de mejoramiento recomendado mínimo de 400 mm y de espesores de subbase de 200 mm.

Tabla 9. Módulo de reacción conjunto SBG-SBR

Tramos viales	Espesor mejoramiento [mm]	Espesor subbase [mm]	Kconjunto [MPa/m]
Salida De Los Barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41	500	200	67
Calle 46 Entre La Cra 18 Y La Vía Montería - San Carlos	400	200	67
Cra 18b Entre Las Calles 44a Y 48	0	200	91
Cra 15b Entre Las Calles 29 Y 34	400	200	67
Cra 16a Entre Las Calles 40 Y 41	400	200	67
Cra 15d Entre Las Calles 40a Y 40b	0	200	105
Cra 15c Entre Las Calles 40a Y 41	0	200	96
Cra 16b Entre Las Calles 29 Y 38	400	200	66
Cra 16c Entre Las Cras 38 Y 39	400	200	67
Cra 18 Entre Las Cras 38 Y 39	400	200	67
Cra 20 Entre Las Cras 38 Y 39	400	200	67
Cra 22 Entre Las Calles 29 Y 38	400	200	66
Calle 39 Entre La Cra 22 Y Calle 29	400	200	66

En el anexo 1 del presente informe se expresa detalladamente el procedimiento para la determinación del valor de K del conjunto.

4.3.2 Diseño Estructura de pavimento rígido

Una vez determinadas las propiedades geomecánicas del suelo, así como la variable transito; se procedió a diseñar la estructura de pavimento correspondiente a la zona de estudio, teniendo en cuenta los diferentes parámetros que intervienen tales como el confinamiento, el modo de transferencia de carga, módulo de rotura a la flexión de la mezcla de concreto hidráulico a utilizar. Para el diseño de toda la estructura de pavimento se utilizó la metodología de la Portland Cement Association (PCA).

A continuación, se muestran los valores y condiciones de las diferentes variables de diseño:

- Módulo de reacción del conjunto sub base - subrasante: mayor a 65 MPa/m según las combinaciones de mejoramiento – subbase consignadas en la tabla 9.
- Resistencia a la flexión del concreto hidráulico: para un numero de camiones diario entre 25 y 150 la tabla 3.1 del anexo 3 del manual de diseño de pavimentos de concreto del INVIAS recomienda 40 kgf/cm^2 .
- Confinamiento lateral de la estructura de pavimento: No bermas
- Mecanismo de transferencia de carga entre losas: Dovelas
- Periodo de diseño: 20 años
- Factor de seguridad de carga: para un TPDs menor a 500 se considera nivel de tránsito NT1 para el cual, el método de diseño de PCA sugiere mayorar las cargas a través de un factor de 1.0
- Caracterización de cargas vehiculares: tabla 6 y 7 del presente informe.

A continuación, se muestran los resultados en cada una de las corridas de acuerdo con las condiciones enunciadas anteriormente:

Tabla 10. Resultados de diseño de espesor de losa

Tramos viales	Módulo de rotura, Mr [kgf/cm^2]	Espesor de losa [mm]	Consumo de fatiga [%]	Consumo de erosión [%]
Salida De Los Barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41	40	210	74.816	42.94

Calle 46 Entre La Cra 18 Y La Vía Montería - San Carlos	40	200	66.229	3.049
Cra 18b Entre Las Calles 44a Y 48	40	200	39.291	2.571
Cra 15b Entre Las Calles 29 Y 34	40	200	79.345	3.366
Cra 16a Entre Las Calles 40 Y 41	40	200	73.369	2.524
Cra 15d Entre Las Calles 40a Y 40b	40	200	32.96	3.505
Cra 15c Entre Las Calles 40a Y 41	40	200	35.312	3.115
Cra 16b Entre Las Calles 29 Y 38	40	200	61.611	1.965
Cra 16c Entre Las Cras 38 Y 39	40	200	45.039	1.142
Cra 18 Entre Las Cras 38 Y 39	40	200	42.24	1.135
Cra 20 Entre Las Cras 38 Y 39	40	200	53.115	1.299
Cra 22 Entre Las Calles 29 Y 38	40	200	60.678	1.485
Calle 39 Entre La Cra 22 Y Calle 29	40	200	80.85	3.389

En el anexo 3 del presente informe se muestra el proceso de obtención de los valores de consumo de fatiga y erosión para diferentes tramos viales, según la combinación de espesor de losas y parámetros de resistencia del soporte.

4.4 Geometría de losas de concreto hidráulico

Para la modulación de las losas se adopta los criterios expuestos en las especificaciones generales de construcción de carreteras de INVIAS 2013, en el artículo 500 en el numeral **5.2.2.3 Refuerzo de losas**, se describe las siguientes situaciones en las cuales se debe colocar acero de refuerzo.

- Longitud de la losa (mayor dimensión en planta) superior a 24 veces el espesor de la misma.
- Losas con relación largo/ancho mayor a 1.40
- Losas de forma irregular (diferente a la rectangular o cuadrada).
- Losas con aberturas en su interior para acomodar elementos tales como pozos de inspección o sumideros.
- Losas en las cuales no coinciden las juntas con las de las losas adyacente.

Si bien no está explícito un criterio de relación largo/ ancho se infiere un valor máximo de 1.40, debido a que para valores inferiores no se requiere de refuerzo en las losas.

Sin embargo, en el Manual de diseño de pavimento de concreto de bajos, medio y altos volúmenes de tránsito, está especificado en el capítulo 6 Consideraciones sobre pavimentos especiales "**En general se recomienda que el espesor de cualquier losa para pavimentos de concreto no tenga menos**

de 13 cm de espesor y que la longitud de las losas no sea mayor a 25 veces el espesor ni mayor a 1,3 veces el ancho de la misma".

En el presente diseño se adopta el criterio del manual de diseño de pavimentos de concretos del INVIAS, el cual expresa una relación larga – ancho máximo de 1.30. Asi mismo, se verifica que la longitud de las losas sea el menor valor ente 24 veces el espesor [h] de esta y cinco (5) veces el radio de rigidez relativa [l]. En el anexo 4 del presente informe, se evidencia la verificación de estos criterios.

Tabla 11. Modulación de losas de concreto

Tramos viales	Ancho de vía [m]	Ancho de carril [m]	Longitud máxima de losa [m]
Salida De Los Barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41	7.00	3.50	3.65
Calle 46 Entre La Cra 18 Y La Via Monteria - San Carlos	6.00	3.00	3.60
Cra 16b Entre Las Calles 44a Y 48	6.00	3.00	3.60
Cra 15b Entre Las Calles 29 Y 34	7.00	3.50	3.65
Cra 16a Entre Las Calles 40 Y 41	7.00	3.50	3.65
Cra 15d Entre Las Calles 40a Y 40b	7.00	3.50	3.65
Cra 15c Entre Las Calles 40a Y 41	7.00	3.50	3.65
Cra 16b Entre Las Calles 29 Y 38	7.00	3.50	3.65
Cra 16c Entre Las Cras 38 Y 39	7.00	3.50	3.65
Cra 18 Entre Las Cras 38 Y 39	7.00	3.50	3.65
Cra 20 Entre Las Cras 38 Y 39	6.00	3.00	3.60
Cra 22 Entre Las Calles 29 Y 38	6.00	3.00	3.60
Calle 39 Entre La Cra 22 Y Calle 29	7.00	3.50	3.65

Las losas con formas irregulares y que no cumplan con las condiciones descritas anteriormente se deben reforzar doblemente con barra de ½" pulgada de diámetro, cada 25 cm en ambos sentidos. Este refuerzo debe ser colocado a 6cm de la parte superior e inferior de la losa. En el anexo 4 de este informe se muestra de manera detallada el proceso para determinar la longitud máxima de losas.

En los pozos de inspección, se debe ajustar la modulación de las losas manteniendo la relación de esbeltez, con el fin que la Junta transversal coincida con dichas estructuras y así prevenir las fisuras que aparecerán por retracción del concreto. Cuando la junta de expansión alrededor de las tapas de los pozos coincide con la junta transversal y la junta longitudinal se construye como se describe:

Figura 3. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección centrados

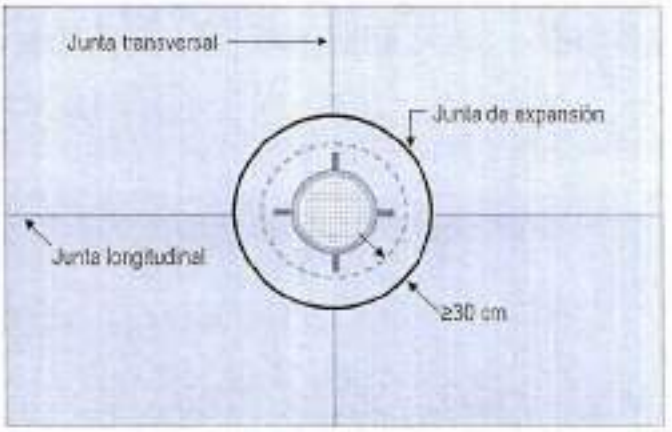
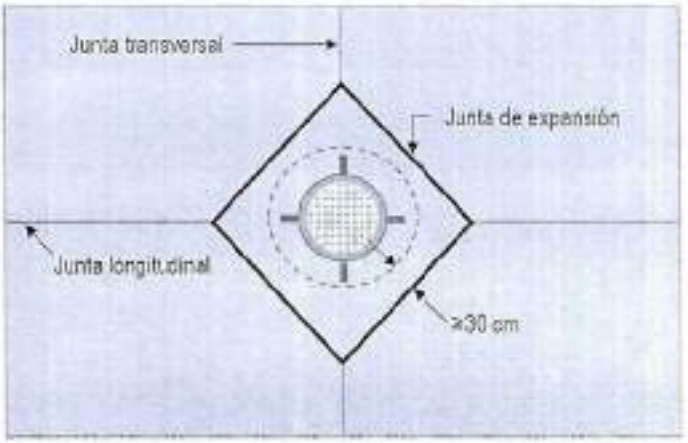
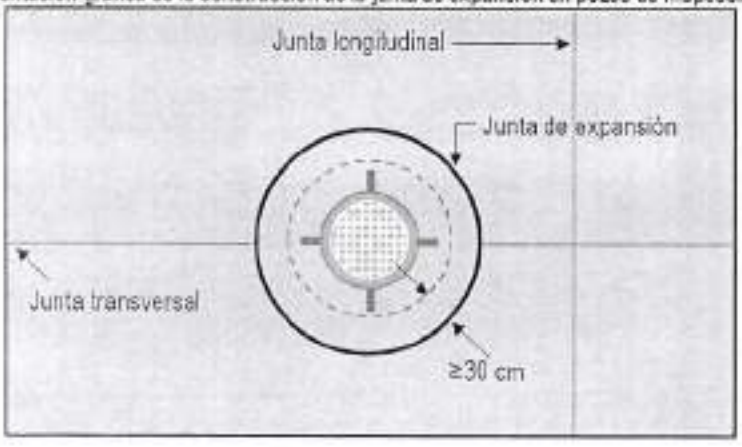


Figura 4.Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección centrados (Segunda alternativa).



Cuando la junta de expansión alrededor de las tapas de los pozos no coincide con la junta longitudinal, se debe ajustar la modulación para que la junta transversal coincida con el eje del pozo:

Figura 5. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección no centrados.



Para el caso en que el pozo de inspección coincida con la junta Longitudinal, se ajusta la modulación, con el fin que la junta transversal coincida con el pozo. Así mismo cuando se tienen varios pozos de inspección, se debe remodular con el objeto de que estos coincidan dentro de la misma losa, la cual debe de ser reforzada mediante una parrilla.

Figura 6. Esquema de refuerzos para losa con dos o más pozos de inspección

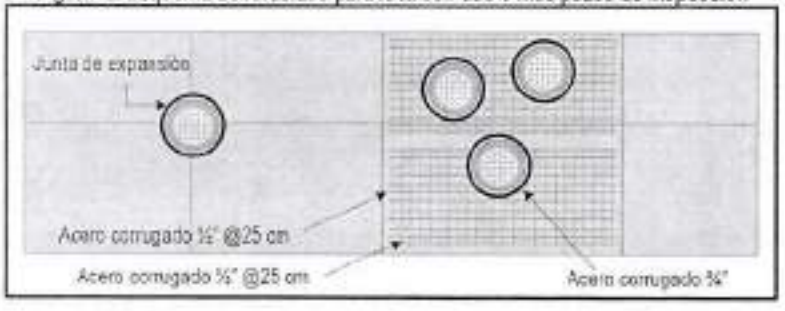
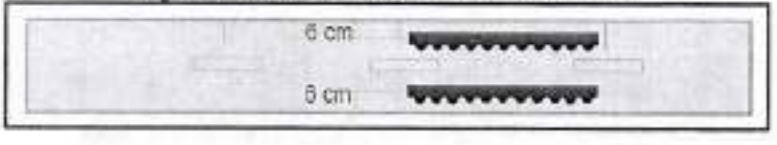


Figura 7. Acero de refuerzo en ambas caras de la losa



4.5 Diseño de juntas

Las juntas longitudinales las cuales se utilizan con el propósito de evitar el corrimiento y o desplazamiento de las losas, deben ser de acero corrugado, y deben quedar ahogadas en la mitad de la losa.

Figura 8. Representación esquemática de barras longitudinales y transversales



Cuando el pavimento que se construye no tiene confinamiento lateral, es necesario dotar las juntas longitudinales con barras de anclaje, para impedir el desplazamiento de las losas de un carril, respecto a las del otro. Los aceros, como se dijo deben cumplir con el Artículo INV 500-13 y lo que sea aplicable del Artículo 640-07, se admiten aceros con resistencia de 187,5 MPa (40000 psi) y 280 MPa (60000 psi). La selección del diámetro, separación, longitud y resistencia de las barras de anclaje se puede hacer según los criterios indicados.

Figura 9.Acero de refuerzo de junta longitudinal

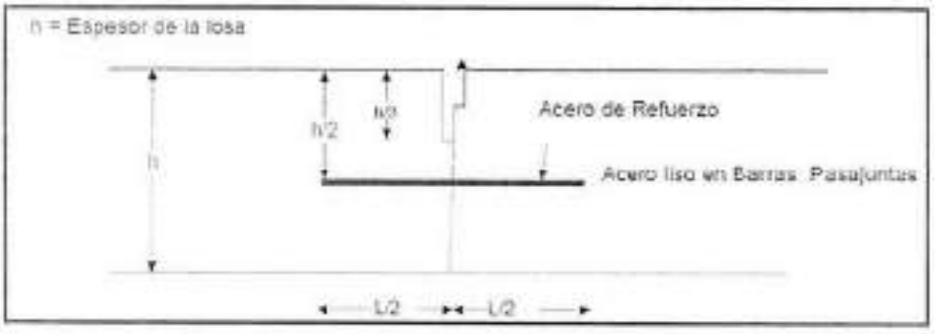
Espesor de losa (mm)	Barras de ϕ 9,0 mm (3/8")			Barras de ϕ 12,7 mm (1/2")			Barras de ϕ 15,9 mm (5/8")		
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)	
		3,05	3,35	3,65		3,05	3,35	3,65		3,05	3,35	3,65
		9,0	10,5	12,0		9,0	10,5	12,0		9,0	10,5	12,0
Acero de fy= 187,5 MPa (40,000 psi)												
150	0,45	0,65	0,75	0,85	0,60	1,00	1,00	1,00	0,70	1,00	1,00	1,00
175		0,75	0,85	0,95		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00
200		0,85	0,95	1,05		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00
225		0,95	1,05	1,15		1,05	1,05	1,05		1,05	1,05	1,05
250		1,05	1,15	1,25		1,15	1,15	1,15		1,15	1,15	1,15
Acero de fy= 280 MPa (60,000 psi)												
150	0,55	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
175		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00
200		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00
225		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00
250		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00

Fuente: Londoño & Álvarez, 2008

Las barras pasajuntas (Usadas en Juntas Transversales, de Construcción y en algunos casos de Expansión) se utilizan como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero liso, engrasado en ambos extremos y deberán quedar ahogadas en las losas con las dimensiones y en la posición indicada en la figura. Con un límite de

fluencia (fy) mínimo de 420 MPa (60000 psi), de acuerdo con el Artículo INV 500-13 y el Artículo INV 640-13

Figura 10. Esquema de colocación de acero de refuerzo en juntas transversales



Fuente: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2013

Figura 11.Acero de refuerzo de junta transversal

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	[mm]	Pulgada	[mm]	[mm]
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 160	19	3/4	350	300
170 - 190	22	7/8	380	300
200 - 220	25	1	380	300
230 - 250	29	1 1/8	400	300
260 - 280	32	1 1/4	460	300
290 - 310	35	1 3/8	460	300
320 - 360	38	1 1/2	500	300

Fuente: Londoño & Álvarez, 2008

Para el diseño propuesto el acero de las juntas transversales debe ser liso y con un límite de fluencia de 420 MPa con las siguientes características:

Tabla 12. Característica de acero de juntas transversales

Espesor del pavimento [mm]	Diámetro del pasador [in]	Longitud [mm]	Separación entre centros [mm]
200	1	350	300
210	$1\frac{1}{8}$	400	300

Por otra parte, el acero de las juntas longitudinales debe ser corrugado y con un límite de fluencia de 280 MPa con las siguientes características:

Tabla 13. Característica de acero de juntas longitudinales

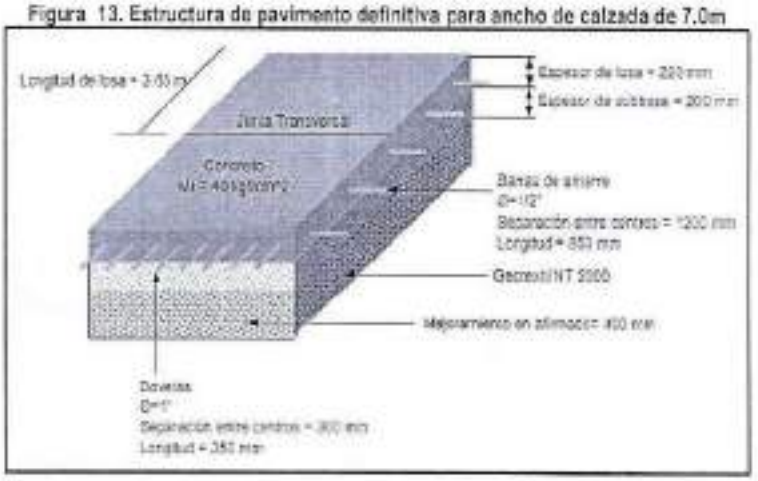
Espesor de losa [mm]	Diámetro barra [in]	Separación [mm]	Longitud [mm]
200	½	1200	850
210	½	1200	850

Según las dimensiones escogidas, la distribución final de la estructura de pavimento sería de la siguiente forma:

Figura 12. Estructura de pavimento definitiva para ancho de calzada de 6.0m



Figura 13. Estructura de pavimento definitiva para ancho de calzada de 7.0m



4.6 Sello de juntas

El sistema de sellado de juntas para pavimentos de Concreto debe garantizar la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, la resistencia a la fatiga por tracción y compresión, el arrastre por las llantas de los vehículos, la resistencia a la acción del agua, los solventes, los rayos ultravioletas, la acción de la gravedad y el calor, con materiales estables y elásticos.

El espacio de la junta a sellar ha de estar seco y completamente limpio, lo que se puede lograr con lavado, barrido y luego soplado con compresor.

La junta transversal deber inducidas con platina y selladas con material bituminoso o de silicona. Deben cumplir con las siguientes características geométricas:

- Para juntas de 6mm de ancho, La profundidad del sello debe ser mínimo 6 mm y máximo 12 mm.
- La superficie del sello debe quedar 3 mm por debajo de la superficie de la losa.

4.7 Drenajes

En los sectores o tramos viales a pavimentar se recomienda un sistema de drenaje adecuado, pendientes transversales del 2.00% y longitudinales al menos de 0.50%, con el fin de evacuar las aguas de escorrentía producto de la precipitación pluvial, sin embargo, el valor de las pendientes está sujeto al diseño geométrico de la vía. El uso de sistemas de drenajes sub superficial no se considera dentro del alcance del presente informe, debido a que obedece al desarrollo de un análisis hidrológico e hidráulico.

5.0 Conclusiones

El diseño de los espesores de las nuevas estructuras de pavimento proyectadas se realizó a través del método de diseño propuesto por Portland Cement Association (PCA). Las estructuras de pavimento diseñadas se analizaron para diferentes valores de módulo de reacción del conjunto sub base - subrasante, los cuales, resultaron de la combinación de un espesor de mejoramiento [400mm] y el valor mínimo de CBR del material de mejoramiento, el cual, se seleccionó un valor de 10%. Para el desarrollo de numérico de los resultados del módulo de reacción de la subrasante se utilizó la expresión de Ivanov. El espesor de la capa de apoyo subbase se analizó para un único valor de 200mm. La característica mecánica de la capa de rodadura se revisó un único valor de módulo de rotura a flexión de 40 kgf/cm^2.

El desarrollo del análisis de sensibilidad de las diferentes variables enunciadas anteriormente articuladas con la variable transito arrojo la siguiente estructura de pavimento:

Tabla 14. Espesores de estructura de pavimento tramo vial salida De Los Barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41

Municipio	Tramo vial	Módulo de rotura flexión de la mezcla de concreto hidráulico [kgf/cm^2.]	Espesor de concreto [mm]	Espesor de sub-base granular [mm]	Espesor mejoramiento [mm]
Montería	**Salida De Los Barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41**	40	210	200	400

Tabla 15. Espesores de estructura de pavimento para el resto de los tramos viales.

Municipio	Tramo vial	Módulo de rotura flexión de la mezcla de concreto hidráulico [kgf/cm².]	Espesor de concreto [mm]	Espesor de sub-base granular [mm]	Espesor mejoramiento [mm]
Montería	**Todos los tramos viales excepto Salida De Los Barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia La Calle 41**	40	200	200	400

La selección de esta combinación de variables se realizó con base a los criterios de fatiga y erosión que propone le método de diseño PCA, el cual, expresa que no debe superar el 100%. En la tabla 10 del presente informe se evidencia los valores del consumo de fatiga y erosión de los diferentes tramos viales.

Para el dimensionamiento en planta (largo y ancho de losa) de la estructura de pavimento seleccionada se adoptó el criterio del manual de diseño de pavimentos de concretos del INVIAS, el cual expresa una relación largo – ancho máximo de 1.30. Así mismo, se verifica que la longitud de las losas sea el menor valor ente 24 veces el espesor [h] de esta y cinco (5) veces el radio de rigidez relativa [l]. En el anexo 4 del presente informe, se evidencia la verificación de estos criterios.

Las losas con formas irregulares y que no cumplan con las condiciones descritas anteriormente se deben reforzar doblemente con barra de ½" pulgada de diámetro, cada 25 cm en ambos sentidos. Este refuerzo debe ser colocado a 6 cm de la parte superior e inferior de la losa. En el anexo 4 de este informe se muestra de manera detallada el proceso para determinar la longitud máxima de losas.

6.0 Recomendaciones

El proceso de compactación de esta capa deberá ser realizado por subcapas, de espesores no mayores a 0,15m (150 mm). Se debe compactar cada subcapa por lo menos hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación modificado realizado al material de subbase en el laboratorio. El objeto de la construcción de la subbase granular es que las losas se apoyen sobre una capa uniforme y nivelada, con buen soporte y así prevenir el lavado de material, es decir, este no debe ser bombeable (de fácil lavado de finos), por lo cual debe tener como característica un límite líquido (LL) máximo de 25% y un índice de plasticidad (IP) inferior a 6%. Con el objeto de garantizar un adecuado acomodamiento de partículas durante el proceso de conformación y compactación de la capa de subbase granular, el tamaño máximo de partículas del material a utilizar debe ser menor a un tercio del espesor de la capa.

Adicional debe cumplir con alguna de las franjas granulométricas que se muestras a continuación las cuales fueron tomadas de la especificación de subbase granular INV 320-22 del INVIAS.

Tabla 320 – 3 Franjas granulométricas de material de subbase granular

Tipo de graduación	Tamiz (mm / U.S. Standard)								
	50,0	37,5	25,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	½ Pulgada	⅜ Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Paso tamiz (%)								
SBG-50 (Nota)	100	70 – 95	60 – 90	45 – 75	40 – 70	25 – 55	15 – 40	8 – 25	2 – 15
SBG-38 (Nota)	-	100	75 – 95	55 – 85	45 – 75	30 – 60	20 – 45	8 – 30	2 – 15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (a)	0 %	7 %				6 %			2 %

El material utilizado como subbase granular debe cumplir con los criterios de dureza, durabilidad, limpieza y resistencia descritos en la tabla 2 de la especificación de subbase granular INV 320-13 del INVIAS. Anexo a este informe se encuentran las especificaciones referenciadas para Afirmado y Subbase (INV 311-22, INV 320 -22).

Tabla 330 – 2. Requisitos de los agregados para subbases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Subbase granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (D)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones	E-218	50	50	60
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	30	35	-
Durabilidad (D)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
Índice de Plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo	E-148	40	30	30

Así mismo, si fuera necesario desarrollar la construcción de la capa de mejoramiento, esto procedimiento consiste en conformar una capa de espesor de 400mm en material granular. Para la conformación del mejoramiento se realizará un proceso de compactación, el cual deberá ser realizado por subcapas, de espesores no mayores a 0,150m (150 mm). Se debe compactar cada subcapa por lo menos hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación modificado realizado al material de mejoramiento granular en el laboratorio. El material de mejoramiento debe tener un valor de CBR mínimo de10% y además debe cumplir con las especificaciones descritas en el artículo INV 300 -22 y INV 311 – 22 de la norma INVIAS.

Tabla 311 – 1. Requisitos de los agregados para afirmados

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles a quinientas (500) revoluciones (Granulometría A), máximo (%) - NT1 - NT2 - NT3	E-218	 40 30 30
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%).	E-125	35
Índice de Plasticidad (%).	E-125 y E-126	4 – 9
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2
Contracción lineal.	E-127/E-128	Tabla 311 – 3

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Resistencia del material (F)		
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 311.5.2.2.2); el CBR se debe medir sobre muestras remoldeadas previamente a cuatro días (4 d) de inmersión.	E-148	≥ 10

Tabla 311 – 2. Rangos granulométricos del material de afirmado

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)							
	37,5 1 ½ Pulgada	25,0 1 Pulgada	19,0 3/4 Pulgada	9,5 3/8 Pulgada	4,75 Nro. 4	2,00 Nro. 10	0,425 Nro. 40	0,075 Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
A-38	100	-	80 – 100	60 – 85	45 – 65	30 – 50	15 – 30	8 – 15
A-25	-	100	80 – 100	65 – 90	45 – 70	35 – 55	15 – 35	10 – 20
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (a)	0 %	7 %			6 %			2 %

Tabla 311 – 3. Relaciones que debe cumplir el material de afirmado

Relación	Requisito
$\frac{\%\ \text{pasa tamiz nro.200}}{\%\ \text{pasa tamiz No.10}}$	0,20 – 0,66
$\frac{\%\ \text{pasa tamiz nro.200}}{\%\ \text{pasa tamiz nro. 40}}$	≤ 2/3
(% pasa tamiz de 1 pulgada) - (% pasa tamiz nro. 10) / (% pasa tamiz nro. 4)	18 – 54
(% de contracción lineal) × (% pasa tamiz nro. 40)	100 – 240

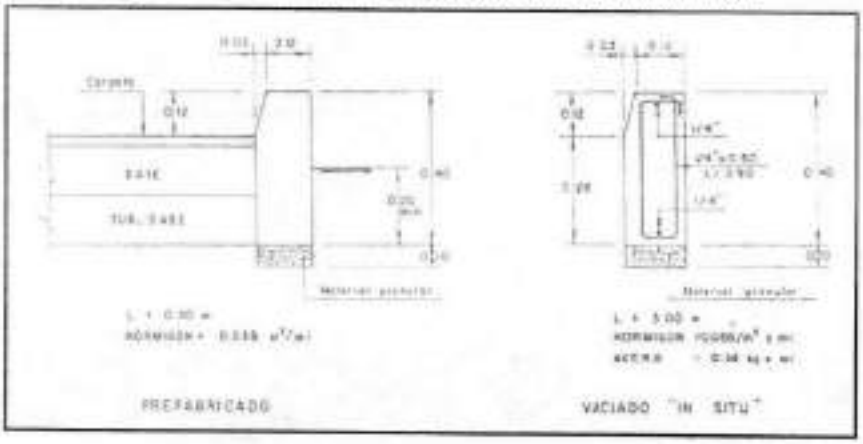
Carrera 23 N° 124-87
Edificio Torre Zenith - Oficina 404 II
Bogotá - Colombia

T (+57 (1) 22 1077
M: +57 320 577 58 88
E: gerencia.convial@gmail.com

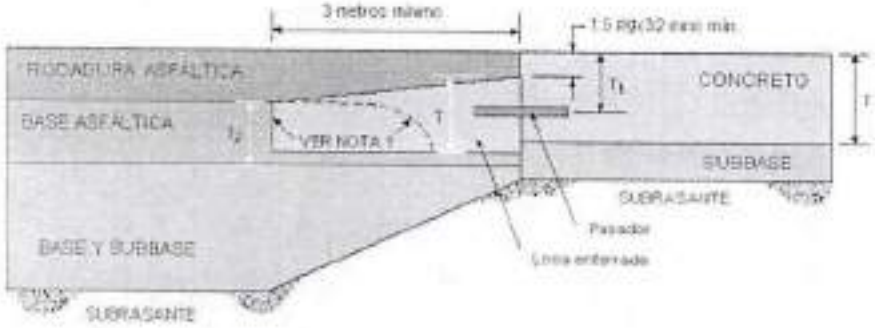
Las losas de la capa de rodadura deben ser elaboradas con una mezcla de concreto hidráulico, que presente como característica principal en estado endurecido, un valor módulo de rotura a la flexión de 40 kg/cm² a 28 días.

Si requieren bordillos estos pueden ser prefabricados (sin refuerzo) o fundidos in situ (con refuerzo), con un ancho de 0,15m (150mm) y altura 0,50m (500mm). En el caso que sea fundido "in situ" al bordillo, este deberá llevar dilataciones cada 0.80m (800mm) de tal modo que, de una apariencia de bordillo prefabricado. Los bordillos deben tener una pendiente longitudinal similar a la del eje de la vía (0,50%). La mezcla de concreto hidráulico debe tener como requerimiento de resistencia a la compresión 17.50 MPa.

Figura 1. Detalle constructivo de bordillo prefabricado y vaciado "in situ"



En caso de que llegase a presentar una transición de pavimento flexible a pavimento rígido se recomienda desarrollar el proceso constructivo descrito en la siguiente imagen:



Fuente: *(Sánchez, 2016, diapositiva 91)*

Donde:

T: espesor de diseño del pavimento rígido

T_1: (T + 1.5") /2 o T_1: (T + 75mm) /2

T_2: T-4.5" pero no menor de 6" o T_2: T-115 mm, pero no menor de 150 mm

Nota 1. "Extender y compactar la capa de base asfáltica al menos 1 metro, como lo muestra la línea punteada. Cortar la base asfáltica compactada hasta la línea sólida vertical, para formar la losa enterrada. Usar esta cara vertical como formaleta para construir la losa enterrada"

7.0 limitaciones del estudio

Las recomendaciones realizadas en el presente informe se basan en las condiciones de campo observadas, los resultados de laboratorio y el análisis de ingeniería anteriormente descrito. Si durante la ejecución llegaran a presentarse condiciones diferentes a las enunciadas y asumidas como típicas, o surgiese cualquier dificultad imprevista, esta situación deberá ser informada oportunamente a fin de realizar los ajustes y evaluaciones pertinentes.

JORGE ANTONIO GONZÁLEZ AYUS
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES
TP. 22202-110769COR

8.0 Bibliografía

Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2013). *Especificaciones, diseño y construcción Pavimentos de Concreto Hidraulico.* Bogota: Asocreto.

CORONADO, C., VILLAFAÑE, R., & RIOS, L. (s.f.). *Resistencia de los Suelos a la licuación.* . Colombia.

Das, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de cimentaciones* (Cuarta ed.). México: International Thomson Editores.

DAS, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de cimentaciones.* México: International Thomson.

Earth, G. (2016).

ECOPETROL. (2002). *Interpretación de Radar Sinú- San Jacinto.*

INVIAS. (2007). *NORMA INV E 132-07.* Bogotá, Colombia .

INVIAS. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.* (ICPC, Ed.) INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO.

Londoño, C., & Álvarez, J. (2008). *Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto.* Medellin: ICPC.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). *TITULO H*, H-49.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). *TITULO A.*

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). *PREFACIO*, vi-v.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2022). *PAVIMENTOS Materiales, construcción y diseño.* Bogotá: ECCE EDICIONES.

DISEÑO DE PAVIMENTO - SUCRE - PLAYA BRIGIDA

491/r

ROBINSON
MARTÍNEZ

INFORME DE DISEÑO PARA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN CONCRETO HIDRÁULICO EN LOS BARRIOS SUCRE Y PLAYA BRIGIDA EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, COMUNA 7.

ELABORADO POR:

ROBINSON MARTINEZ SANDOVAL
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
MAGISTER EN INGENIERIA

ABRIL 2021

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 1
1. OBJETIVOS 2
1.1 OBJETIVO GENERAL 2
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 2
2. GENERALIDADES DEL PROYECTO 3
2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 3
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 4
3.0 METODOLOGIA 5
3.1 TRABAJO DE CAMPO GEOTECNICO 5
3.2 PROGRAMA DE ENSAYOS DE LABORAROTIO 5
3.3 CARACTERIZACIÓN VEHICULAR 6
3.4 DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 10
3.4.1 Análisis de fatiga 10
3.4.2 Análisis de Erosión 10
3.4.3 Variables de Diseño 11
4.0 RESULTADOS 12
4.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 12
4.1.1 Descripción de subrasante 12
4.1.3 Valor de capacidad relativa de soporte 13
4.1.2 Mejoramiento de la subrasante 14
4.2 ESTUDIO DE TRANSITO 18
4.3 ESPESORES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 19
4.3.1 Conformación de la sub base granular 19
4.3.2 Diseño Estructuras de pavimento rígido 21
4.3.3 Análisis de sensibilidad de espesores de la estructura de pavimento. 23
4.4 GEOMETRIA DE LOSAS DE CONCRETO HIDRAULICO 24

ROBINSON MARTÍNEZ

Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

4.5 DISEÑO DE JUNTAS 29
4.6 SELLO DE JUNTAS 33
4.7 DRENAJES 34
5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 35
6.0 LIMITACIONES DEL ESTUDIO 43
BIBLIOGRAFÍA 44
ANEXOS 45

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor de daño 8
Tabla 2. Descripción de materiales encontrados en la exploración geotécnica 13
Tabla 3. Resumen evaluación CBR en diferentes condiciones. 14
Tabla 4. Franjas granulométricas del material sub- base granular 19
Tabla 5. Módulo de reacción conjunto SBG-SBR para 200 mm de mejoramiento 20
Tabla 6. Resultados de alternativas de diseño. 22
Tabla 7. Alternativas de estructura de pavimento con consumo de fatiga menor a 60% 24
Tabla 8. Diseño de estructura de pavimento seleccionada 24
Tabla 9. Modulación de losas de concreto 25
Tabla 10. Acero de refuerzo de junta longitudinal 31
Tabla 11. Acero de refuerzo de junta transversal 32
Tabla 12. Característica de acero de juntas transversales 33
Tabla 13. Característica de acero de juntas longitudinales 33
Tabla 14.Modulación de las losas según el ancho de carril 39
Tabla 15. Espesores de estructura de pavimento a construir 39
Tabla 16. Característica de acero de juntas transversales 40
Tabla 17. Característica de acero de juntas longitudinales 40

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del sector 3
Figura 2. Categorización de camiones 7
Figura 3. Relación entre clasificación de suelo y los valores de CBR y módulo de reacción de la subrasante 18
Figura 4. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de Inspección centrados. 26
Figura 5. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de Inspección centrados (Segunda alternativa). 27
Figura 6. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección no centrados. 28
Figura 7. Esquema de refuerzos para losa con dos o más pozos de inspección 29
Figura 8. Acero de refuerzo en ambas caras de la losa 29
Figura 9. Representación esquemática de barras longitudinales y transversales 30
Figura 10. Esquema de colocación de acero de refuerzo en juntas transversales 32
Figura 11. Detalle constructivo de bordillo prefabricado y vaciado "in situ" 41

INTRODUCCIÓN

En el presente informe se presentan los resultados del diseño de espesores de la estructura de pavimento rigido con capa de rodadura en concreto hidráulico en las vías de los barrios Sucre y Playa Brigida en el municipio de Montería, Departamento de Córdoba, para lo cual se requiere de la caracterización de las propiedades geomecánicas del suelo de soporte y de las descripciones de la carga vehicular proyectada en el periodo de diseño.

ROBINSON MARTÍNEZ

Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar los espesores de subbase granular y capa de rodadura de la estructura de pavimento rigido en función de las características mecánicas del suelo natural de soporte y las cargas vehiculares en el periodo de diseño, para las vias de los barrios Sucre y Playa Brigida en el municipio de Montería, utilizando el método de diseño de la Portland Cement Association [PCA].

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el espesor de subbase granular de la estructura de pavimento de rigido en función del aporte que genera al conjunto Sub base – subrasante.
- Determinar el espesor de la capa de rodadura en concreto hidráulico en función de la respuesta mecánica del conjunto sub base – subrasante.
- Determinar la geometría de las losas de concreto hidráulico que conforman la capa de rodadura de la estructura de pavimento rigido
- Desarrollar un análisis de sensibilidad de las variables que intervienen en el diseño de la estructura de pavimento rigido

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto en consideración se localiza en el casco urbano del Municipio de Montería, en el Departamento de Córdoba. Este estudio presenta como objeto diseñar las estructuras de pavimento rígido de las vías de los barrios Sucre y Playa Brigida.

A continuación, se muestra una imagen del sector:

Figura 1. Localización del sector



Fuente: GOOGLE EARTH, 2021 (Las imágenes de Google EARTH no son en tiempo real)

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto trata de la construcción de aproximadamente 629 m de pavimento en concreto hidráulico, distribuidos en los diferentes tramos mostrados anteriormente. Como característica principal se evidencia la circulación en una sola calzada, con dos carriles. Con un ancho variable de 5.00 m de vía, seguidamente.

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

3.0 METODOLOGIA

3.1 TRABAJO DE CAMPO GEOTECNICO

En primera instancia se realizaron cuatro (4) apiques o calicatas exploratorias ubicadas a lo largo de los tramos viales, con el fin de tomar muestras alteradas e "inalteradas" para realizar los respectivos ensayos de laboratorio y evaluar las características geotécnicas de cada una de las capas que conforman el soporte (subrasante) existente. Estos apiques se realizaron a una profundidad que varió entre 1.50 m y 1.70 metros, indicando la profundidad del nivel de agua freático NAF. Los apiques de identificaron con la letra "A" seguido de un número, el cual indica el orden en que se desarrollaron estos.

3.2 PROGRAMA DE ENSAYOS DE LABORAROTIO

Con el objeto de realizar una investigación en laboratorio de las características físicas y mecánicas de los diferentes estratos encontrados en los apiques con el fin de determinar la competencia mecánica de los mismos. Se realizaron los siguientes ensayos:

- Humedad natural.
- Humedad de saturación.
- Límites de Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico).
- Ensayo de Capacidad Relativa de Soporte (CBR) en estado inalterado sumergido y sin sumergir.
- Medición de expansión libre.

Los diferentes ensayos realizados a las muestras extraídas de las potenciales subrasantes son necesarios para obtener la clasificación de los suelos y los parámetros de resistencias respectivos para el cálculo de la capacidad relativa de soporte del suelo de fundación. Así mismo, la exploración

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

de campo realizada nos permite observar los niveles de aguas freáticas o aguas de infiltración, para de esta manera tenerlos en cuenta y/o plantear las alternativas del manejo de estas para controlar problemas de carácter constructivo y de capacidad relativa de soporte.

3.3 CARACTERIZACIÓN VEHICULAR

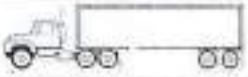
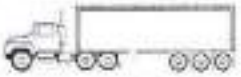
Una de las variables de mayor importancia en el diseño de estructuras de pavimento es el Transito, el cual, se categoriza en vehiculos livianos (autos) y vehiculos comerciales (buses y camiones), siendo los vehiculos comerciales los que generan los deterioros de la vida útil del pavimento durante el periodo de diseño. Por lo anteriormente expuesto se hace necesario estimar la cantidad de vehiculos comerciales que transitan actualmente en la zona del proyecto, asi mismo, estimar el crecimiento de la circulación de vehiculos una vez las vías intervenidas entren en funcionamiento y de esta manera proyectar la circulación durante el periodo de diseño de la estructura de pavimento.

En este estudio es necesario tener en cuenta varios aspectos referidos a la clasificación de los vehículos, los factores de equivalencia de carga, distribución direccional y por carril y la proyección de las variables en la vida de diseño.

Para el análisis de la variable transito se desarrollaron conteos vehiculares en la zona de influencia del proyecto, para lo cual se categorizaron en autos y vehiculos comerciales, a su vez estos últimos se subdividieron en buses y camiones. Para la categorización de camiones se adopta la clasificación propuesta por el INVIAS, la cual se muestra a continuación:

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

Figura 2. Categorización de camiones

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Doblestroque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Fuente: (INVIAS, 2008)

El tránsito promedio diario [TPD] se obtiene a través de conteos desarrollados en zonas con circulación similar a la que se estima estará sometida el tramo vial a intervenir. Los conteos vehiculares se realizan durante un periodo de tiempo establecido, se registran todos los vehículos que pasan por una sección de la vía (todos los carriles y ambas direcciones), luego se saca un promedio diario, para de esta manera obtener el valor de TPD. A partir de la información de los conteos se determina el porcentaje de vehículos livianos (autos) y vehículos comerciales (buses y camiones). Los conteos pueden ser semanales, mensuales e inclusive anuales, en ese caso a la sigla TPD se le incluye el subíndice "s", "m", o, "a" según sea el caso.

Para realizar la caracterización la carga vehicular en términos de ejes equivalentes de 8.2tn a la cual, estará sometido la estructura de pavimento durante el periodo de diseño, se utiliza los valores de factores de daño propuesto por la AASTHO en el método simplificado.

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Tabla 1. Factor de daño

Factores de daño AASTHO – Método simplificado						
Auto, A	Buses, B	Camiones				
		C2P	C2G	C3	C3S2	C3S3
0.00	0.42	0.31	2.89	5.31	8.37	6.29

EL modelo de crecimiento o proyección de la variable transito utilizado es geométrico, el cual es de la forma:

$$TPD_n = TPD_i \cdot (1+i)^n$$

Donde,

TPDn : tránsito promedio diario en el año n

TPDi : tránsito promedio diario en el año inicial

i : rata de crecimiento de la variable tránsito

n : periodo de diseño en años

En términos de numero de ejes simples equivalentes se puede expresar así:

$$NESE_n = NESE_i \cdot (1+i)^n$$

NESEn : número de ejes simples equivalente en el año n

NESEi : número de ejes simples equivalente en el año inicial

i : rata de crecimiento de la variable tránsito

n : periodo de diseño en años

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

Para la estimación del volumen ya sea de vehículos o ejes que circularan por el tramo vial a intervenir durante el periodo de diseño, bastara con realizar la sumatoria de los tránsitos desde el periodo inicial hasta el periodo de diseño, de esta manera se encuentra el área bajo la curva del modelo de proyección entre el periodo inicial y el periodo de diseño.

$$TPD_n = \int_0^n TPD_i \cdot (1+i)^n \, dn = TPD_i \cdot \left(\frac{(1+i)^n - 1}{\ln(i+1)} \right)$$

En términos de numero de ejes simples equivalentes se puede expresar así:

$$NESE_i = TPD_i \cdot VC \cdot DC \cdot DD \cdot FD \cdot 365$$

Donde,

NESEi : número de aplicaciones de carga del eje de referencia en el carril de diseño

TPDi : tránsito promedio diario en ambas direcciones durante el año "i"

VC : porcentaje de vehículos comerciales

DD : distribución direccional del tránsito de vehículos comerciales

DC : proporción de vehículos comerciales circulantes en una dirección, que utiliza el carril de diseño

FD : factor de daño

365 : número de días de un año

$$N = \int_0^n NESE_i \cdot (1+i)^n \, dn = NESE_i \cdot \left(\frac{(1+i)^n - 1}{ln(i+1)} \right)$$

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

N : número acumulado de ejes simples equivalentes en el periodo de diseño.

3.4 DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Con la características geomecánicas del suelo de soporte y la caracterización vehicular actual y proyectada en el periodo de diseño, se procede a la determinación de espesores de sub base granular y losa de concreto hidráulico a través de la metodología expuesta por la Portland Cement Association [PCA], la cual, considera el efecto de confinamiento lateral a través de bermas o la ausencia de este; así mismo, contempla como mecanismo de transferencia de carga entre losas dos alternativas: trabazón de agregados y pasadores.

El método de la PCA para diseño de pavimentos rígidos considera dos criterios de diseño, los cuales se expondrán de manera corta a continuación:

3.4.1 Análisis de fatiga

Considera que la estructura de pavimento puede fallar por fatiga en el concreto hidráulico de las losas que conforman la capa de rodadura, producto de las repeticiones de la carga vehicular en el periodo de diseño. El daño acumulado por fatiga durante el periodo de diseño de obtendrá al comparar el número de repeticiones admisibles de una carga vehicular especifica con las repeticiones proyectadas para la misma carga vehicular. El consumo de fatiga que se obtiene al realizar la sumatoria de la relación entre repeticiones admisibles y repeticiones esperadas para todos los tipos de carga vehicular, el valor obtenido no deberá superar el 100% para ser admitido el diseño.

3.4.2 Análisis de Erosión

Considera que los pavimentos fallan por bombeo (lavado de finos), erosión en la fundación, o deterioro de las juntas. Las probables fallas enunciadas anteriormente están asociadas a la presencia de deflexiones. El daño acumulado por erosión durante el periodo de diseño de obtendrá al comparar el número de repeticiones admisibles por erosión de una carga vehicular especifica con las repeticiones

proyectadas para la misma carga vehicular. El consumo de erosión que se obtiene al realizar la sumatoria de la relación entre repeticiones admisibles y repeticiones esperadas para todos los tipos de carga vehicular, el valor obtenido no deberá superar el 100% para ser admitido el diseño.

3.4.3 Variables de Diseño

Para el diseño de los espesores de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento rigido se debe considerar las siguientes variables:

- Módulo de reacción de la subrasante
- Resistencia a la flexión del concreto hidráulico
- Confinamiento lateral de la estructura de pavimento
- Mecanismo de transferencia de carga entre losas
- Periodo de diseño
- Caracterización de cargas vehiculares.

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

4.0 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

4.1.1 Descripción de subrasante

Para la caracterización de los tramos se realizaron 4 apiques a una profundidad entre 1.50m y 1.70m, a los cuales se les tomó muestras inalteradas cada vez que se evidenció cambio en las características físicas (color, textura, contenido de humedad, etc). A las muestras extraídas se les desarrollaron los siguientes ensayos:

- Humedad natural
- Peso unitario
- Límite líquido
- Límite plástico
- Gradación
- Capacidad relativa de soporte
- Expansión libre

Los resultados de los diferentes ensayos de laboratorio determinaron que el suelo de soporte clasificó según el sistema de clasificación de la AASTHO como A-6, A-1-a y A-7-6 lo cual, es característico de materiales con comportamiento mecánico pobre, asociado a subrasantes conformadas por limos y arcillas. La humedad natural de los materiales encontrados osciló entre 29% y 15%, también se observó la variación del límite líquido entre 41% y 25%. Lo anteriormente descrito unido a los valores de expansión libre obtenidos confirman un potencial de expansión entre bajo y medio, esta situación es probable en la profundidad activa de la subrasante, en la cual, la influencia de los cambios de humedad es significativa.

En ninguna de las exploraciones realizadas se encontró la presencia de aguas freáticas.

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratiorams@gmail.com

Los resultados en los cuales se fundamentó la anterior descripción esta registrado en el informe de exploración de subrasante del mismo proyecto.

Tabla 2. Descripción de materiales encontrados en la exploración geotécnica

TRAMO	UBICACIÓN	APIQUE	MUESTRA	AASTHO	S.U.C.S	LL (%)	IP (%)	EXPANSIÓN LIBRE (%)	POTENCIAL EXPANSIVO
	CRA 1 CLL 42-42A	A1	4	A-6	CL	31	12	0.30	Medio-bajo
	CRA 1 CLL 42A-43	A2	3	A-6	CL	35	15	1.06	Medio-bajo
	CRA 1 CLL 43-43A	A3	1	A-1-a	SP-SC	25	6	1.08	Medio-bajo
	CRA 1 CLL 43A-44	A4	4	A-7-6	CL	41	18	1.44	Medio-bajo

4.1.3 Valor de capacidad relativa de soporte

Para la medición de la capacidad relativa de soporte de los tramos viales se realizaron 3 apiques a una profundidad entre 1.50m y 1.70m, en todos se les tomó muestra inalterada para la evaluación de la capacidad relativa de soporte [CBR].

Para la obtención del valor de capacidad relativa de soporte del tramo vial se realizó un promedio aritmètico entre los valores de CBR de lo apiques A1, A2, A3 y A4 para una condición sumergida, debido a las condiciones hidráulicas de la zona.

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Tabla 3. Resumen evaluación CBR en diferentes condiciones.

	UBICACIÓN	APIQUE	MUESTRA	HUMEDAD		PESO UNITARIO			CBR	
TRAMO	LOCALIZACIÓN	N° APIQUE	N° CBR	NATURAL	SUMERGIDA	SECO	HUMEDO	SATURADO	SIN SUMERGIR	SUMERGIDO
1	CRA 1 CLL 42-42A	A1	4	26.46	37.14	91.31	115.5	125.2	6.0	4.00
	CRA 1 CLL 42A-43	A2	3	24.0	30.83	84.40	104.7	110.4	16.89	6.00
	CRA 1 CLL 43-43A	A3	1	15.83	25.73	100.7	116.7	126.6	20.67	6.22
	CRA 1 CLL 43A-44	A4	4	29.0	35.59	96.84	124.9	131.3	14.6	6.22

El valor promedio obtenido de CBR en condición sumergida fue de 5.61% para las vías de los barrios Sucre y Playa Brigida.

4.1.2 Mejoramiento de la subrasante

Debido a las características granulométricas (suelos de grano fino), potencial de expansión (medio a alto) y capacidad relativa de soporte (baja), se considera el mejoramiento del suelo natural de soporte a través de la conformación de una capa en material granular tipo afirmado que cumpla con las características descritas en el artículo INV 300 -13 y INV 311 – 13 de la norma INVIAS. Anexo a este informe se encuentran los artículos citados anteriormente.

El espesor de mejoramiento de subrasante en material de afirmado deberá estar ser mínimo 0.200 m (200mm) y el valor de CBR de 15% mínimo.

La cota inferior del mejoramiento de la subrasante estará gobernada por la cota de acabado de la estructura de pavimento, la cual está sujeta al diseño geométrico de la vía, nivel de viviendas proyectadas o a los cambios de pendiente longitudinal, es decir, a partir de la cota de acabado se debe descontar el espesor de la capa de rodadura (losa en concreto hidráulico), el espesor de la capa de sub base y los 0.200m (200mm) de espesor del mejoramiento; para así determinar la cota de mejoramiento. Luego esta compararla con la cota natural o actual del terreno, para así determinar si hay que realizar corte o relleno.

El mejoramiento de 200 mm propuesto en material de afirmado se deberá realizar siempre que la estructura nueva quede en contacto el suelo en estado natural encontrado durante la exploración. Si durante el proceso de excavación o corte se evidencia suelos saturados altamente deformables, se recomienda realizar un reemplazo con el objeto de mitigar deformaciones en el suelo natural de soporte, el cual, consiste en la colocación de piedra gruesa (rajón) de mejoramiento en un espesor no inferior a 0,500m (500mm). El proceso de reemplazo consiste en la colocación y posterior apisonamiento de piedra rajón, esto se debe realizar hasta que se evidencie un soporte firme y que no presente deformaciones excesivas. Seguidamente realizar un sello en la parte superior de la capa de piedra rajón, el cual consiste en colocar una capa en material granular con un espesor de 0,10m (100mm), lo cual busca cerrar los intersticios presentes entre las partículas de piedra rajón.

Una vez finalizado el proceso de sello, se recomienda el paso de una volqueta sencilla cargada, con La finalidad de verificar la ausencia de las altas deformaciones observadas inicialmente. Si esta verificación es satisfactoria, se continuará con la construcción la estructura de pavimento según los diseños especificados. Con el objeto de determinar el nuevo valor de capacidad relativa de soporte de la subrasante mejorada, se utiliza la expresión que correlaciona el calor de CBR y el módulo de resiliencia expresada en Rondón y Reyes (2008)[1] e la formulación porpuesta por Ivanov.

[1] Rondón, H., & Reyes, F. (2008). *Comportamiento de materiales granulares en pavimentos flexibles.* Bogotá: Editorial Kimpres Ltda. .

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

$$M_r = 17.6 \cdot CBR^{0.64}$$

$$E_{cc} = \frac{E_s}{1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right) \cdot \left(atan\left(n \cdot \frac{h_m}{2 \cdot a}\right)\right)}$$

A continuación, se muestra el procedimiento para la obtención del valor de CBR de la subrasante mejorada para las vías los barrios Sucre y Playa Brigida:

$CBR_{SR} := [5.61]$ Valor de CBR promedio de subrasante en estado natural

$CBR_{mejoramiento} := 15$ Valor de CBR mínimo para afirmado según INV-311-13

$$M_{rSR} := 17.6\ MPa \cdot CBR_{SR}^{0.64}$$

$$M_{rMejoramiento} := 17.6\ MPa \cdot CBR_{mejoramiento}^{0.64}$$

$$E_m := M_{rMejoramiento}$$

$$E_s := M_{rSR}$$

$$n := \left(\frac{E_m}{E_s}\right)^{\frac{1}{2.5}}$$

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

$h_m := 20.00\ cm$ Espesor de mejoramiento en afirmado

$a := 10.80\ cm$

$$E_{cc_i} := \frac{E_{s_i}}{1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_i^{3.5}}\right) \cdot \left(\operatorname{atan}\left(n_i \cdot \frac{h_m}{2 \cdot a}\right)\right)}$$ Módulo subrasante mejorada

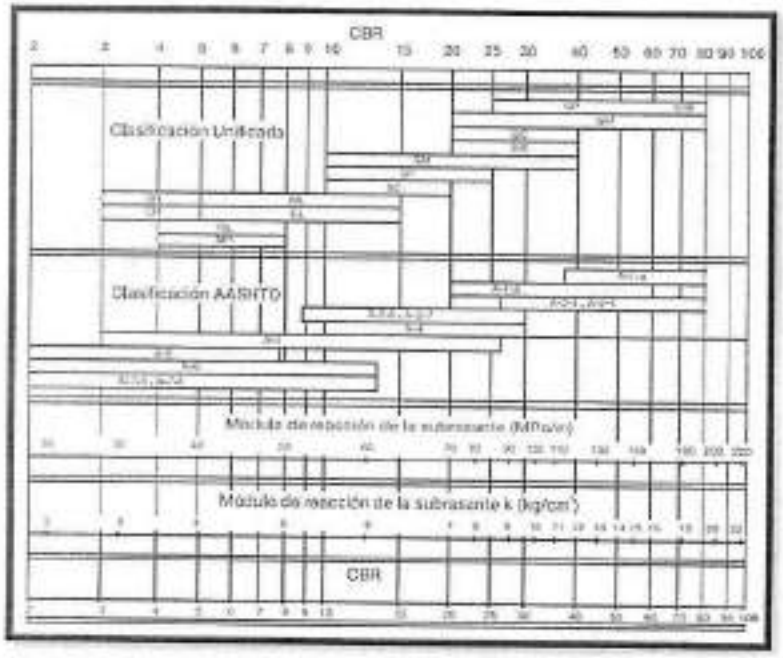
$$CBR_{SRM} := \operatorname{Floor}\left(\left(\frac{E_{cc}}{17.6 \cdot MPa}\right)^{\frac{1}{0.64}}, 1\right) = [10]$$ CBR subrasante mejorada

El valor de CBR de la subrasante mejorada adoptado para las vias estudiadas fue de 10.0%, a partir del cual, se obtiene el valor del módulo de reacción de la subrasante [k]. El valor de k obtenido para un CBR de 10% es 55 MPa/m. La obtención de este parámetro se realizó a través de la correlación que existe con los valores del ensayo de capacidad relativa de soporte (CBR).

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Figura 3. Relación entre clasificación de suelo y los valores de CBR y módulo de reacción de la subrasante



Fuente: Londoño & Álvarez, 2008

4.2 ESTUDIO DE TRANSITO

La información del estudio de tránsito se encuentra en el informe anexo **ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO HIDRAULICO DE LAS VIAS DE LOS BARRIOS SUCRE Y PLAYA BRIGIDA, EN EL MUNICIPIO DE MONTERIA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA -COMUNA 7.**

4.3 ESPESORES DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

4.3.1 Conformación de la sub base granular

El objeto de la construcción de la sub base granular es que las losas se apoyen sobre una capa uniforme y nivelada, con buen soporte y así prevenir el lavado de material, es decir, este no debe ser bombeable (de fácil lavado de finos), por lo cual debe tener como característica un límite líquido (LL) máximo de 25% y un índice de plasticidad (IP) inferior a 6%. Con el objeto de garantizar un adecuado acomodamiento de partículas durante el proceso de conformación y compactación de capa de sub base granular, el tamaño máximo de partículas del material a utilizar debe ser menor a un tercio del espesor de la capa.

Adicional debe cumplir con alguna de las franjas granulométricas que se muestras a continuación las cuales fueron tomadas de la especificación de sub base granular INV 320-13 del INVIAS

Tabla 4. Franjas granulométricas del material sub- base granular

TIPO DE GRADACION	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	50.0	37.5	25.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 ½"	1"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA								
SBG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SBG-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (1)	0 %	7 %				6 %			3 %

Fuente: Norma INVIAS INVE – 320-13, 2012

El proceso de compactación de la capa de sub base respectivamente, deberá ser realizado por sub capas, de espesores no mayores a 0,150m (150 mm), en el caso, que el espesor sea mayor a esta

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

dimensión. Se debe compactar cada sub capa por lo menos hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación modificado realizado en el laboratorio.

El material utilizado como sub base granular debe cumplir con los criterios de dureza, durabilidad, limpieza y resistencia descritos en la tabla 2 de la especificación de sub base granular INV 320-13 del INVIAS. Anexo a este informe se encuentran las especificaciones de Sub base (INV 311-13, INV 320 -13).

La estructura de pavimento a diseñar contempla el uso de subbase granular, a partir de este se determinar la respuesta del módulo de reacción del conjunto sub base – subrasante [kconjunto] el cual, es una variable de diseño de la estructura de pavimento. Este parámetro se obtuvo a partir de espesores de mejoramiento de 200 mm y de espesores de sub base de 150 mm, 200 mm, 225 mm, 250 mm y 300 mm. Lo anterior con el objeto de obtener diferentes alternativas de estructuras de pavimentos. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5. Módulo de reacción conjunto SBG-SBR para 200 mm de mejoramiento

CBR SUBRASANTE NATURAL (%)	ESPESOR DE MEJORAMIENTO (mm)	CBR DISEÑO (%)	MODULO SUBRASANTE MEJORADA K(MPa/m)	ESPESOR SUB BASE GRANULAR (mm)	MODULO CONJUNTO SUB BASE / SUB RASANTE, K (MPa)
5,61	200	10,00	55,00	150	63
				200	69
				225	72
				250	76
				300	84

4.3.2 Diseño Estructuras de pavimento rigido

Una vez determinadas las propiedades geomecánicas del suelo, así como la variable transito; se procedió a diseñar la estructura de pavimento correspondiente a la zona de estudio, teniendo en cuenta los diferentes parámetros que intervienen tales como el confinamiento, el modo de transferencia de carga, módulo de rotura a la flexión de la mezcla de concreto hidráulico a utilizar. Para el diseño de toda la estructura de pavimento se utilizó la metodología de la Portland Cement Association (PCA).

A continuación, se muestran los valores y condiciones de las diferentes variables de diseño:

- Módulo de reacción de la subrasante: Variable según espesor de mejoramiento tabla 5 del numeral 4.3.1 Conformación sub base granular
- Resistencia a la flexión del concreto hidráulico: 3.80 MPa, 4.00 MPa, 4.20 MPa
- Confinamiento lateral de la estructura de pavimento: No bermas
- Mecanismo de transferencia de carga entre losas: Dovelas
- Periodo de diseño: 20 años

Caracterización de cargas vehiculares: Información registrada el informe anexo **ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL PROYECTO CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO HIDRAULICO DE LAS VIAS DE LOS BARRIOS SUCRE Y PLAYA BRIGIDA, EN EL MUNICIPIO DE MONTERIA, DEPATAMENTO DE CÓRDOBA - COMUNA 7.**

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en cada una de las corridas de acuerdo con las condiciones enunciadas anteriormente:

Tabla 6. Resultados de alternativas de diseño.

ANCHO VÍA (m)	ANCHO CARRIL (m)	LONGITUD LOSA (m)	CBR SUBRASANTE NATURAL (%)	ESPESOR DE MEJORAMIENTO (mm)	CBR DISEÑO (%)	MODULO SUBRASANTE MEJORADA	ESPESOR SUB BASE GRANULAR	MODULO CONJUNTO SUB BASE / SUB RASANTE, K (MPa)	ESPESOR DE LOSA (mm)	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	PASADOR	BERMA	CONSUMO DE FATIGA (%)	CONSUMO DE EROSION (%)	EVALUACION
7	3,5	4	5,61	200	10,00	66,00	150	63	200	3,8	SI	NO	267,46	67,43	no cumple
							200	69	200	3,8	SI	NO	179,26	63,8	no cumple
							225	72	200	3,8	SI	NO	151,9	62,19	no cumple
							250	76	200	3,8	SI	NO	123,66	60,21	no cumple
							300	84	200	3,8	SI	NO	86	56,77	cumple

ANCHO VÍA (m)	ANCHO CARRIL (m)	LONGITUD LOSA (m)	CBR SUBRASANTE NATURAL (%)	ESPESOR DE MEJORAMIENTO (mm)	CBR DISEÑO (%)	MODULO SUBRASANTE MEJORADA	ESPESOR SUB BASE GRANULAR (mm)	MODULO CONJUNTO SUB BASE / SUB RASANTE, K (MPa)	ESPESOR DE LOSA (mm)	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	PASADOR	BERMA	CONSUMO DE FATIGA (%)	CONSUMO DE EROSION (%)	EVALUACION
7	3,5	4	5,61	200	10,00	55,00	150	63	200	4,0	SI	NO	95,18	67,43	cumple
							200	69	200	4,0	SI	NO	66,19	63,8	cumple
							225	72	200	4,0	SI	NO	59,01	62,19	cumple
							250	76	200	4,0	SI	NO	49,2	60,21	cumple
							300	84	200	4,0	SI	NO	35,11	56,77	cumple

ANCHO VÍA (m)	ANCHO CARRIL (m)	LONGITUD LOSA (m)	CBR SUBRASANTE NATURAL (%)	ESPESOR DE MEJORAMIENTO (mm)	CBR DISEÑO (%)	MODULO SUBRASANTE MEJORADA	ESPESOR SUB BASE GRANULAR (mm)	MODULO CONJUNTO SUB BASE / SUB RASANTE, K (MPa)	ESPESOR DE LOSA (mm)	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	PASADOR	BERMA	CONSUMO DE FATIGA (%)	CONSUMO DE EROSION (%)	EVALUACION
7	3,5	4	5,61	200	10,00	55,00	150	63	200	4,2	SI	NO	519,78	95,64	no cumple
							200	69	200	4,2	SI	NO	383,84	91,6	no cumple
							225	72	200	4,2	SI	NO	330,2	89,8	no cumple
							250	76	200	4,2	SI	NO	270,26	87,59	no cumple
							300	84	200	4,2	SI	NO	180,65	83,7	no cumple

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

ANCHO VÍA (m)	ANCHO CARRIL (m)	LONGITUD LOSA (m)	CBR SUBRASANTE NATURAL (%)	ESPESOR DE MEJORAMIENTO (mm)	CBR DISEÑO (%)	MODULO SUBRASANTE MEJORADA	ESPESOR SUB BASE GRANULAR (mm)	MODULO CONJUNTO SUB BASE / SUB RASANTE, K (MPa)	ESPESOR DE LOSA (mm)	MODULO DE ROTURA (MPa)	PASADOR	BERMA	CONSUMO DE FATIGA (%)	CONSUMO DE EROSION (%)	EVALUACION
7	3,5	4	5,61	200	10,00	55,00	150	63	210	4,2	SI	NO	125,72	63,06	no cumple
							200	69	210	4,2	SI	NO	80,6	60,16	cumple
							225	72	210	4,2	SI	NO	64,15	58,87	cumple
							250	76	210	4,2	SI	NO	46,92	57,29	cumple
							300	84	210	4,2	SI	NO	24,16	54,52	cumple

ANCHO VÍA (m)	ANCHO CARRIL (m)	LONGITUD LOSA (m)	CBR SUBRASANTE NATURAL (%)	ESPESOR DE MEJORAMIENTO (mm)	CBR DISEÑO (%)	MODULO SUBRASANTE MEJORADA	ESPESOR SUB BASE GRANULAR (mm)	MODULO CONJUNTO SUB BASE / SUB RASANTE, K (MPa)	ESPESOR DE LOSA (mm)	MODULO DE ROTURA (MPa)	PASADOR	BERMA	CONSUMO DE FATIGA (%)	CONSUMO DE EROSION (%)	EVALUACION
7	3,5	4	5,61	200	10,00	55,00	150	63	220	4,2	SI	NO	14,29	41,89	cumple
							200	69	220	4,2	SI	NO	6,06	39,78	cumple
							225	72	220	4,2	SI	NO	3,71	39,85	cumple
							250	76	220	4,2	SI	NO	0,00	37,70	cumple
							300	84	220	4,2	SI	NO	0	35,70	cumple

Anexo a este informe se evidencia el soporte de la evaluación de los consumos de fatiga y erosión de cada corrida.

4.3.3 Análisis de sensibilidad de espesores de la estructura de pavimento.

Con el objeto de reducir las alternativas de diseño obtenida en el numeral anterior, se seleccionará las alternativas que presenten consumos de fatiga menores al 60%. Lo anterior teniendo en cuenta que el consumo de erosión en todas las alternativas fue bajo.

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratiorams@gmail.com

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Tabla 7. Alternativas de estructura de pavimento con consumo de fatiga menor a 60%

ANCHO VIA (m)	ANCHO CARRIL (m)	LONGITUD LOSA (m)	CBR SUBRASANTE NATURAL (%)	ESPESOR DE MEJORAMIENTO (mm)	CBR DISEÑO (%)	MODULO SUBRASANTE MEJORADA	ESPESOR SUB BASE GRANULAR (mm)	MODULO CONJUNTO SUB BASE / SUB RASANTE, K (MPa)	ESPESOR DE LOSA (mm)	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	PASADOR	BERMA	CONSUMO DE FATIGA (%)	CONSUMO DE EROSION (%)	EVALUACION
7	3,5	4	0,01	200	10,00	55,00	150	63	220	4,2	SI	NO	14,29	41,89	cumple
							200	69	220	4,2	SI	NO	6,06	39,75	cumple
							225	72	220	4,2	SI	NO	3,71	38,85	cumple
							250	76	220	4,2	SI	NO	0,00	37,70	cumple
							300	84	220	4,2	SI	NO	0	35,70	cumple

Dentro de este grupo de alternativas seleccionadas, se propone el uso de la alternativa sombreada en verde, la cual se resume a continuación:

Tabla 8. Diseño de estructura de pavimento seleccionada

MUNICIPIO	TRAMO VIAL	MÓDULO DE ROTURA A FLEXIÓN DE LA MEZCLA DE COMCRETO HIDRAULICO (MPa)	ESPESOR DE CONCRETO (mm)	ESPESOR DE SUB BASE GRANULAR (mm)	ESPESOR MEJORAMIENTO EN AFIRMADO (mm)
Montería	Barrio Suore y Playa Brigida	4.2	220	200	200

4.4 GEOMETRIA DE LOSAS DE CONCRETO HIDRAULICO

Para la modulación de las losas se adopta los criterios expuestos en las especificaciones generales de construcción de carreteras de INVIAS 2013, en el articulo 500 en el numeral **5.2.2.3 Refuerzo de losas**, se describe las siguientes situaciones en las cuales se debe colocar acero de refuerzo.

- Longitud de la losa (mayor dimensión en planta) superior a 24 veces el espesor de la misma.
- Losas con relación largo/ancho mayor a 1.40
- Losas de forma irregular (diferente a la rectangular o cuadrada).
- Losas con aberturas en su interior para acomodar elementos tales como pozos de inspección o sumideros.
- Losas en las cuales no coinciden las juntas con las de las losas adyacente.

Si bien no está explicito un criterio de relación largo/ ancho se infiere un valor máximo de 1.40, debido a que para valores inferiores no se requiere de refuerzo en las losas.
Sin embargo, en el Manual de diseño de pavimento de concreto de bajos, medio y altos volúmenes de tránsito, está especificado en el capítulo 6 Consideraciones sobre pavimentos especiales "En general **se recomienda que el espesor de cualquier losa para pavimentos de concreto no tenga menos de 13 cm de espesor y que la longitud de las losas no sea mayor a 25 veces el espesor ni mayor a 1,3 veces el ancho de la misma".**

En el presente diseño se adopta el criterio del manual de diseño de pavimentos de concretos del INVIAS, el cual expresa una relación larga – ancho máximo de 1.30. Así mismo, las losas con formas irregulares y que no cumplan con las condiciones descritas anteriormente se deben reforzar doblemente con barra de ½" pulgada de diámetro, cada 25 cm en ambos sentidos. Este refuerzo debe ser colocado a 6cm de la parte superior e inferior de la losa.

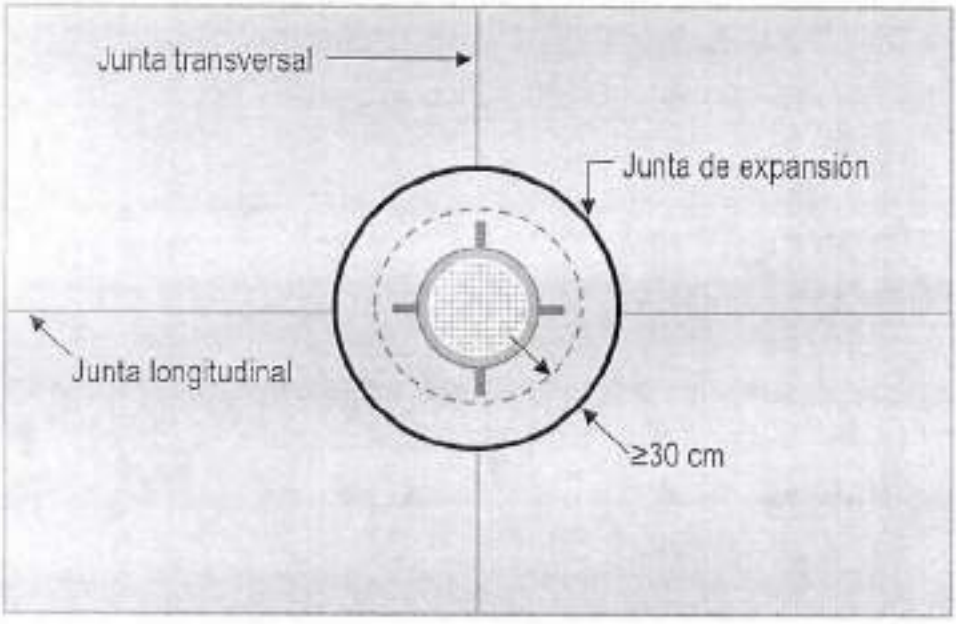
Tabla 9. Modulación de losas de concreto

UBICACIÓN	LONGITUD (m)	ANCHO DE VIA (m)	ANCHO DE CARRIL (m)	LONGITUD DE LOSA (m)
Cra 1A, Cll 41-44 B/ Sucre y Playa Brigida	629	5.00	2.50	3.0

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

En los pozos de inspección, se debe ajustar la modulación de las losas manteniendo la relación de esbeltez, con el fin que la Junta transversal coincida con dichas estructuras y así prevenir las fisuras que aparecerán por retracción del concreto. Cuando la junta de expansión alrededor de las tapas de los pozos coincide con la junta transversal y la junta longitudinal se construye como se describe:

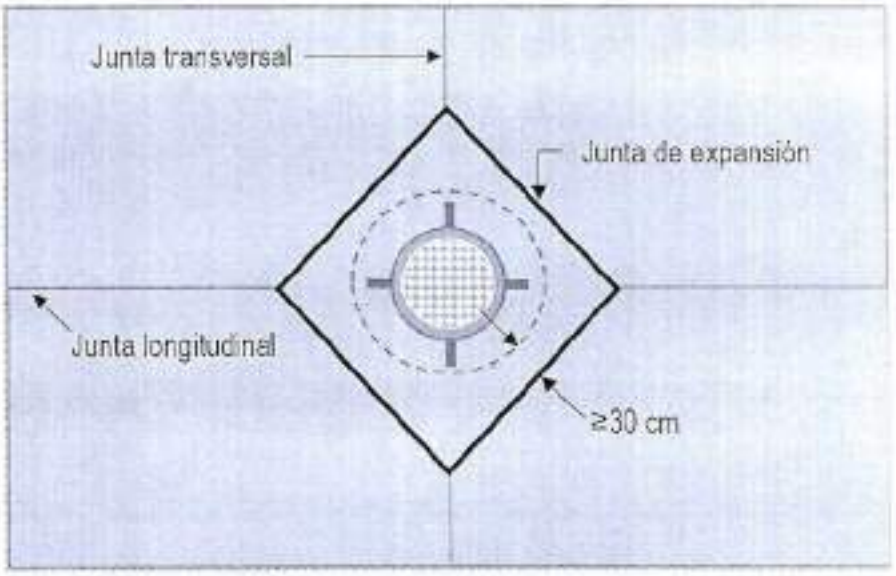
Figura 4. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de Inspección centrados.



Fuente: Elaboración propia, Martínez, 2021

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratiorams@gmail.com

Figura 5. Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de Inspección centrados (Segunda alternativa).

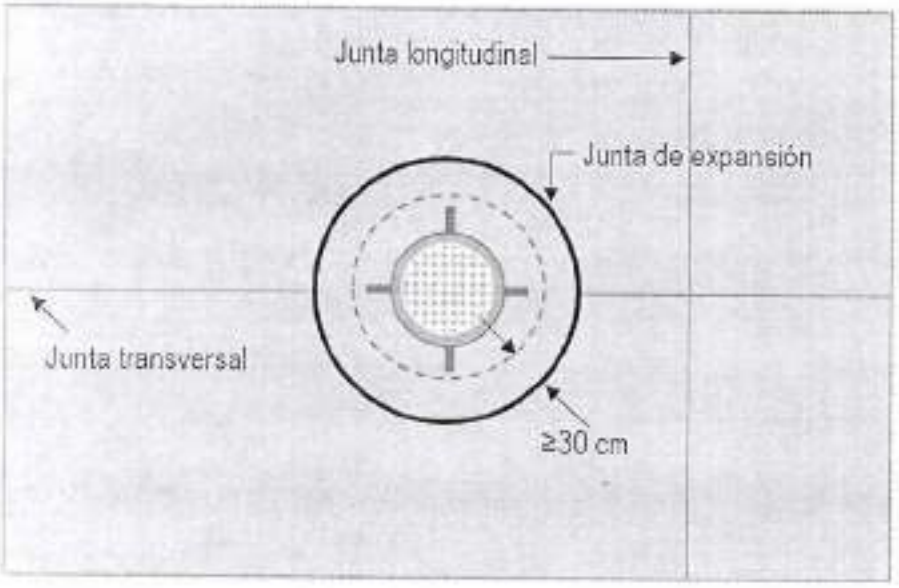


Fuente: Elaboración propia, Martínez, 2021

Cuando la junta de expansión alrededor de las tapas de los pozos no coincide con la junta longitudinal, se debe ajustar la modulación para que la junta transversal coincida con el eje del pozo:

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Figura 6. **Representación gráfica de la construcción de la junta de expansión en pozos de inspección no centrados.**

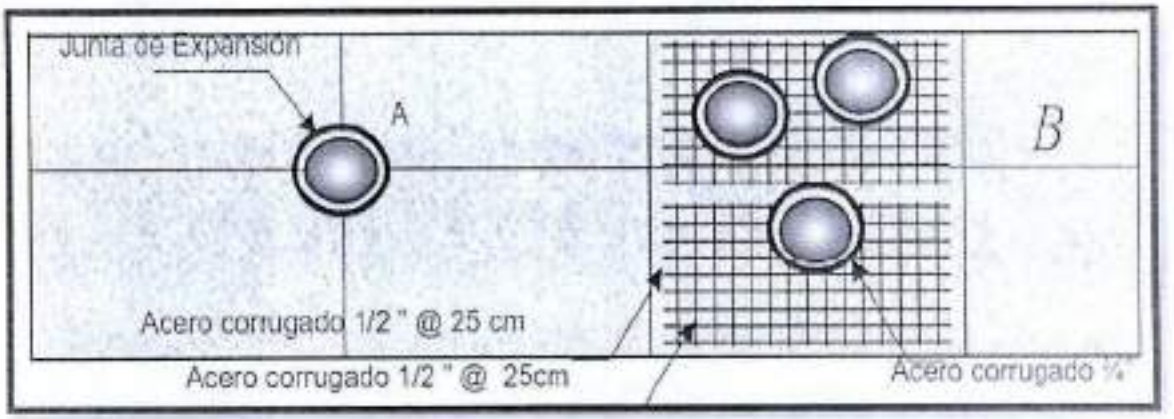


Fuente: Elaboración propia, Martínez, 2021

Para el caso en que el pozo de inspección coincida con la junta Longitudinal, se ajusta la modulación, con el fin que la junta transversal coincida con el pozo. Asi mismo cuando se tienen varios pozos de inspección, se debe remodular con el objeto de que estos coincidan dentro de la misma losa, la cual debe de ser reforzada mediante una parrilla.

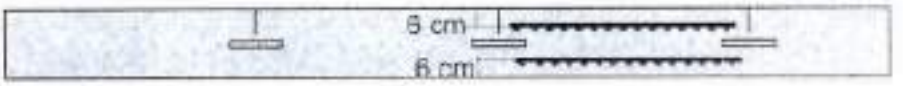
Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

Figura 7. Esquema de refuerzos para losa con dos o más pozos de inspección



Fuente: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2013

Figura 8. Acero de refuerzo en ambas caras de la losa



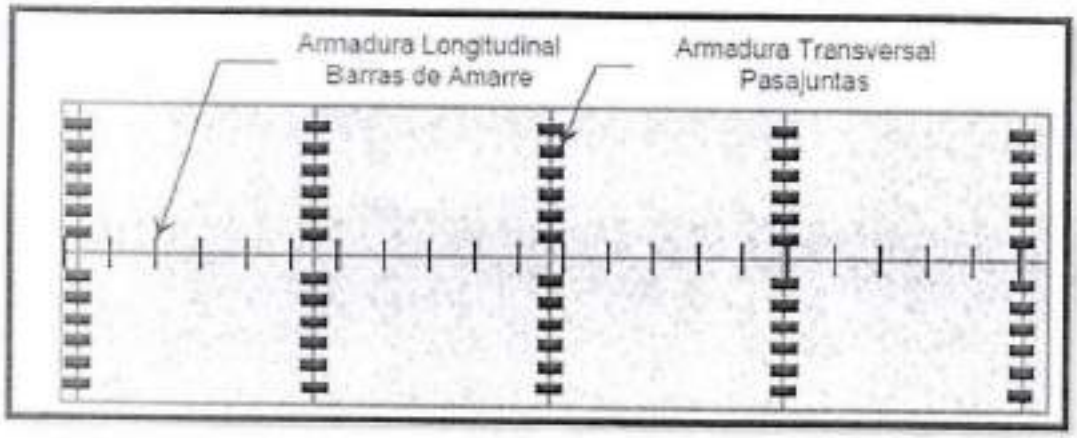
Fuente: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2013

4.5 DISEÑO DE JUNTAS

Las juntas longitudinales las cuales se utilizan con el propósito de evitar el corrimiento y o desplazamiento de las losas, deben ser de acero corrugado, y deben quedar ahogadas en la mitad de la losa.

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Figura 9. Representación esquemática de barras longitudinales y transversales



Cuando el pavimento que se construye no tiene confinamiento lateral, es necesario dotar las juntas longitudinales con barras de anclaje, para impedir el desplazamiento de las losas de un carril, respecto a las del otro. Los aceros, como se dijo deben cumplir con el Artículo INV 500-13 y lo que sea aplicable del Artículo 640-07, se admiten aceros con resistencia de 187,5 MPa (40000 psi) y 280 MPa (60000 psi). La selección del diámetro, separación, longitud y resistencia de las barras de anclaje, se puede hacer según los criterios indicados.

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

Tabla 10. Acero de refuerzo de junta longitudinal

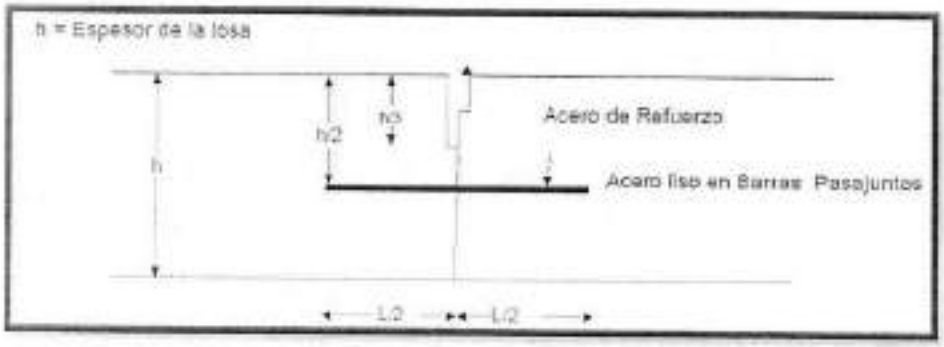
Espesor de losa (mm)	Barras de ϕ 9,5 mm (3/8")				Barras de ϕ 12,7 mm (1/2")				Barras de ϕ 15,9 mm (5/8")			
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
Acero de fy= 187,5 MPa (40,000 psi)												
150	0,45	0,80	0,75	0,65	0,60	1,25	1,20	1,20	0,70	1,20	1,20	1,20
175		0,70	0,60	0,55		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20
200		0,60	0,55	0,50		1,05	1,00	0,90		1,20	1,10	1,20
225		0,55	0,50	0,45		0,95	0,85	0,80		1,00	1,00	1,20
250		0,40	0,45	0,40		0,85	0,80	0,70		1,05	0,95	1,10
Acero de fy= 280 MPa (60,000 psi)												
150	0,65	1,00	1,10	1,00	0,80	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20
175		1,00	0,90	0,85		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
200		0,90	0,80	0,75		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
225		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
250		0,70	0,65	0,60		1,20	1,15	1,10		1,20	1,20	1,20

Fuente: Londoño & Álvarez, 2008

Las barras pasajuntas (Usadas en Juntas Transversales, de Construcción y en algunos casos de Expansión) se utilizan como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero liso, engrasado en ambos extremos y deberán quedar ahogadas en las losas con las dimensiones y en la posición indicada en la figura. Con un límite de fluencia (fy) mínimo de 420 MPa (60000 psi), de acuerdo con el Artículo INV 500-13 y el Artículo INV 640-13.

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Figura 10. Esquema de colocación de acero de refuerzo en juntas transversales



Fuente: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2013

Tabla 11. Acero de refuerzo de junta transversal

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada	mm	mm
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 150	16	5/8	380	300
140 - 160	19	3/4	380	300
150 - 180	22	7/8	380	300
190 - 200	25	1	380	300
210 - 230	29	1 1/8	450	300
240 - 260	32	1 1/4	450	300
260 - 290	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Fuente: Londoño & Álvarez, 2008

Para el diseño propuesto el acero de las juntas transversales debe ser liso y con un límite de fluencia de 420 MPa con las siguientes características:

Tabla 12. Caracteristica de acero de juntas transversales

ESPESOR DE LOSA (mm)	DIAMETRO DE BARRAS PASAJUNTAS (in)	SEPARACION ENTRE CENTROS (mm)	LONGITUD (mm)
220	1 1/8"	300	400

Por otra parte, el acero de las juntas longitudinales debe ser corrugado y con un limite de fluencia de 280 MPa con las siguientes caracteristicas:

Tabla 13. Caracteristica de acero de juntas longitudinales

ESPESOR DE LOSA (mm)	DIAMETRO DE BARRAS (in)	SEPARACION (mm)	LONGITUD (mm)
220	½"	1200	850

4.6 SELLO DE JUNTAS

El sistema de sellado de juntas para pavimentos de Concreto debe garantizar la hermeticidad del espacio sellado, la adherencia del sello a las caras de la junta, la resistencia a la fatiga por tracción y compresión, el arrastre por las llantas de los vehículos, la resistencia a la acción del agua, los solventes, los rayos ultravicletas, la acción de la gravedad y el calor, con materiales estables y elásticos.

El espacio de la junta a sellar ha de estar seco y completamente limpio, lo que se puede lograr con lavado, barrido y luego soplado con compresor.

La junta transversal deber inducidas con platina y selladas con material bituminoso o de silicona. Deben cumplir con las siguientes caracteristicas geométricas:

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

- Para juntas de 6mm de ancho, La profundidad del sello debe ser mínimo 6 mm y máximo 12 mm.
- La superficie del sello debe quedar 3 mm por debajo de la superficie de la losa.

4.7 DRENAJES

En los sectores o tramos viales a pavimentar se recomienda para un sistema de drenaje adecuado pendientes transversales del 2.00% y longitudinales de al menos 0.50%, con el fin de evacuar las aguas de escorrentía producto de la precipitación pluvial, sin embargo, el valor de las pendientes está sujeto al diseño geométrico de la vía.

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los diferentes tramos viales para intervenir presentan una calzada variable de 5.00 m de ancho, con dos carriles con ancho de 2.50m cada uno.

Se recomienda realizar un mejoramiento de la subrasante con el objeto de mejorar la capacidad de soporte y mitigar la expansión o cambios volumétricos debido a la fluctuación de humedad que pueda presentar. Este mejoramiento se debe realizar a lo largo de los dos carriles de 3.00 - 3.50m de ancho en el tramo vial correspondiente.

El mejoramiento consiste en conformar una capa de espesor de 0,200m (200mm) en material de Afirmado. Para la conformación del mejoramiento se realizará un proceso de compactación, el cual deberá ser realizado por sub capas, de espesores no mayores a 0,150m (150 mm). Se debe compactar cada sub capa por lo menos hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación modificado realizado al material de mejoramiento (afirmado) en el laboratorio. El material de afirmado debe tener un valor de CBR mínimo de 15% y además debe cumplir con las especificaciones descritas en el artículo INV 300 -13 y INV 311 – 13 de la norma INVIAS.

Tabla 311 - 1. Requisitos de los agregados para afirmados

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Dureza (D)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Graduación A), máximo (%) - 500 revoluciones	E-218	50
Durabilidad (D)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18
Limpieza (F)		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	40
Índice de plasticidad (%)	E-125 y E-126	4 - 9
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2
Contracción lineal	E-127 o E-329	Tabla 311 - 2
Resistencia del material (F)		
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 311.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	≥ 15

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Tabla 311 - 2. Franjas granulométricas del material de afirmado

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA							
A-38	100	-	80-100	60-85	40-65	30-50	13-30	9-18
A-25	-	100	90-100	65-90	45-70	35-55	15-35	10-20
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

Tabla 311 - 3. Relaciones que debe cumplir el material de afirmado

RELACIÓN	REQUISITO
$\frac{\%\text{ pasa tamiz No. 200}}{\%\text{ pasa tamiz No. 10}}$	0.20 a 0.45
$\frac{\%\text{ pasa tamiz No. 200}}{\%\text{ pasa tamiz No. 40}}$	$\leq \frac{2}{3}$
[(% pasa tamiz de 1")-(% pasa tamiz No. 10)]×[% pasa tamiz No. 4]	16 a 34
(% de contracción lineal)×(% pasa tamiz No. 40]	100 a 240

Seguidamente se debe conformar la capa de sub base granular con un espesor de 0.200m (200mm). El proceso de compactación de esta capa deberá ser realizado por sub capas, de espesores no mayores a 0,15m (150 mm). Se debe compactar cada sub capa por lo menos hasta alcanzar el 95% de la densidad seca máxima obtenida en el ensayo de compactación modificado realizado al material de sub base en el laboratorio.

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

ROBINSON MARTÍNEZ

Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

El objeto de la construcción de la sub base granular es que las losas se apoyen sobre una capa uniforme y nivelada, con buen soporte y así prevenir el lavado de material, es decir, este no debe ser bombeable (de fácil lavado de finos), por lo cual debe tener como característica un límite líquido (LL) máximo de 25% y un índice de plasticidad (IP) inferior a 6%. Con el objeto de garantizar un adecuado acomodamiento de partículas durante el proceso de conformación y compactación de la capa de sub base granular, el tamaño máximo de partículas del material a utilizar debe ser menor a un tercio del espesor de la capa.

Adicional debe cumplir con alguna de las franjas granulométricas que se muestras a continuación las cuales fueron tomadas de la especificación de sub base granular INV 320-13 del INVIAS.

TIPO DE GRADACION	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	50.0 2"	37.5 1 ½"	25.0 1"	12.5 1/2"	9.5 3/8"	4.75 No. 4	2.00 No. 10	0.425 No. 40	0.075 No. 200
	% PASA								
SBG-38	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SBG-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (1)	0 %	7 %				6 %			3 %

El material utilizado como sub base granular debe cumplir con los criterios de dureza, durabilidad, limpieza y resistencia descritos en la tabla 2 de la especificación de sub base granular INV 320-13 del INVIAS. Anexo a este informe se encuentran las especificaciones referenciadas para las Afirmado y Sub base (INV 311-13, INV 320 -13).

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratiorams@gmail.com

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Tabla 320 - 2. Requisitos de los agregados para sub-bases granulares

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUB-BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (D)				
Desgaste en la máquina de los Angeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones (%)	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	35	30
Durabilidad (D)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (L)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2	2	2
Resistencia del material (R)				
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

Las losas de la capa de rodadura, deben ser elaboradas con una mezcla de concreto hidráulico, que presente como característica principal en estado endurecido, un valor módulo de rotura a la flexión de 4.2MPa (40 Kg/cm^2) a 28 días.

La relación largo – ancho de las losas debe estar entre 1 a 1.30 veces, teniendo en cuenta el ancho de la calzada de dos carriles proyectados.

Las losas con formas irregulares y que no cumplan con las condiciones descritas anteriormente se deben reforzar doblemente con barra de ½" pulgada de diámetro, cada 250mm en ambos sentidos. Este refuerzo debe ser colocado a 0,060m (60mm) de la parte superior e inferior de la losa. Cuando se tenga uno o varios pozos de inspección, se debe re modular con el objeto que estos coincidan

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

dentro de la misma losa, la cual debe de ser reforzada mediante una parrilla con el acero anteriormente descrito.

Tabla 14.Modulación de las losas según el ancho de carril

UBICACIÓN	LONGITUD (m)	ANCHO DE VIA (m)	ANCHO DE CARRIL (m)	LONGITUD DE LOSA (m)
Cra 1a, Cll 41-44 B/ Sucre y Playa Brigida	629	5.00	2.50	3.00

Los espesores definitivos para el tramo vial en estudio se muestran a continuación:

Tabla 15. Espesores de estructura de pavimento a construir

MUNICIPIO	TRAMO VIAL	MODULO DE ROTURA A FLEXIÓN DE LA MEZCLA DE COMCRETO HIDRAULICO (MPa)	ESPESOR DE CONCRETO (mm)	ESPESOR DE SUB BASE GRANULAR (mm)	ESPESOR MEJORAMIENTO EN AFIRMADO (mm)
Montería	Barrio Sucre y Playa Brigida	4.2	220	200	200

El acero de las juntas transversales debe ser liso y con un límite de fluencia de 420 MPa con las siguientes características:

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

Tabla 16. Caracteristica de acero de juntas transversales.

ESPESOR DE LOSA (mm)	DIAMETRO DE BARRAS PASAJUNTAS (in)	SEPARACION ENTRE CENTROS (mm)	LONGITUD (mm)
220	1 1/8"	300	400

Por otra parte, el acero de las juntas longitudinales debe ser corrugado y con un limite de fluencia de 280 MPa con las siguientes caracteristicas:

Tabla 17. Caracteristica de acero de juntas longitudinales

ESPESOR DE LOSA (mm)	DIAMETRO DE BARRAS (in)	SEPARACION (mm)	LONGITUD (mm)
220	½"	1200	850

Se recomiendan pendientes transversales del 2.0% y longitudinales del 0.50%, sin embargo, estos valores están sujetos al diseño geométrico de la via.

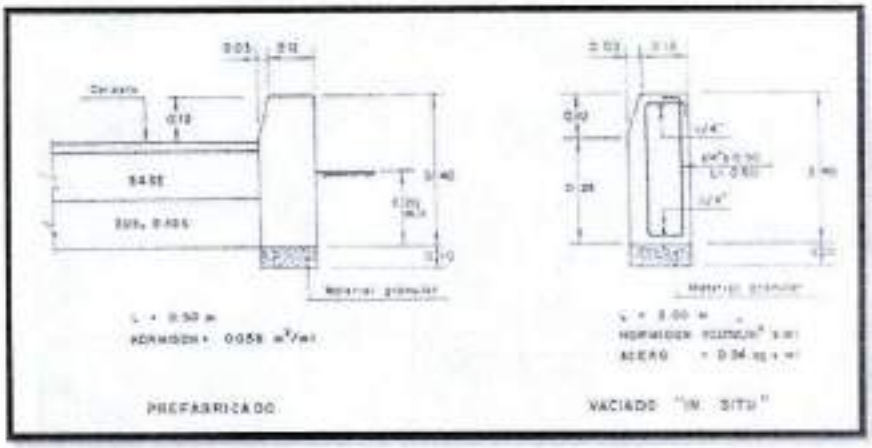
La junta transversal deber inducidas con platina y selladas con material bituminoso o de silicona. Deben cumplir con las siguientes características geométricas:

- Para juntas de 6mm de ancho, La profundidad del sello debe ser mínimo 6 mm y máximo 12 mm.
- La superficie del sello debe quedar 3 mm por debajo de la superficie de la losa.

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Monteria- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratiorams@gmail.com

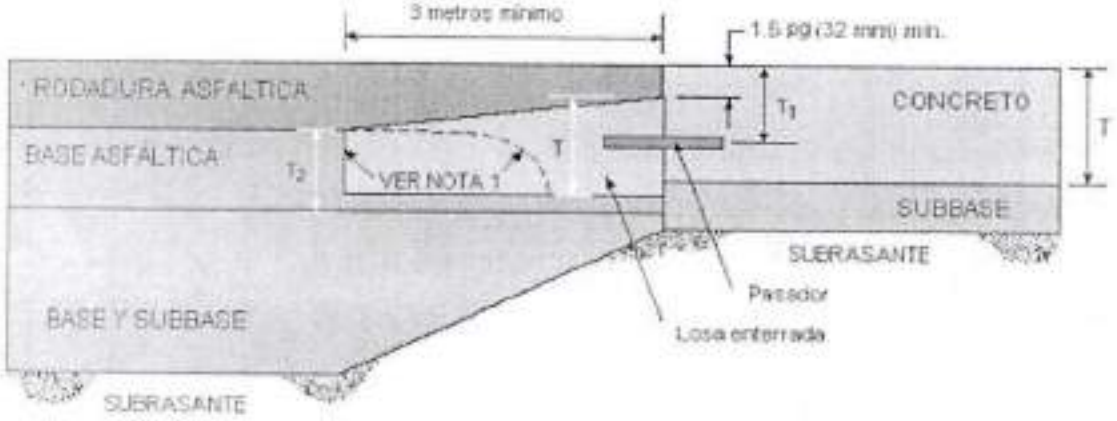
Si requieren bordillos estos pueden ser prefabricados (sin refuerzo) o fundidos in situ (con refuerzo), con un ancho de 0,15m (150mm) y altura 0,50m (500mm). En el caso que sea fundido "in situ" el bordillo, este deberá llevar dilataciones cada 0.80m (800mm) de tal modo que, de una apariencia de bordillo prefabricado. Los bordillos deben tener una pendiente longitudinal similar a la del eje de la vía (0,50%). La mezcla de concreto hidráulico debe tener como requerimiento de resistencia a la compresiòn 17.50 MPa.

Figura 11. Detalle constructivo de bordillo prefabricado y vaciado "in situ"



En caso de que llegase a presentar una transición de pavimento flexible a pavimento rigido se recomienda desarrollar el proceso constructivo descrito en la siguiente imagen:

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2



Fuente: (Sánchez, 2016, diapositiva 91)

Donde:

T: espesor de diseño del pavimento rígido

T_1: (T + 1.5") /2 o T_1: (T + 75mm) /2

T_2: T-4.5" pero no menor de 6" o T_2: T-115 mm, pero no menor de 150 mm

Nota 1. "Extender y compactar la capa de base asfáltica al menos 1 metro, como lo muestra la línea punteada

Cortar la base asfáltica compactada hasta la línea sólida vertical, para formar la losa enterrada

Usar esta cara vertical como formaleta para construir la losa enterrada"

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

6.0 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Las recomendaciones realizadas en el presente informe se basan en las condiciones de campo observadas, los resultados de laboratorio y el análisis de ingeniería anteriormente descrito. Si durante la ejecución llegaran a presentarse condiciones diferentes a las enunciadas y asumidas como típicas, o surgiese cualquier dificultad imprevista, esta situación deberá ser informada oportunamente a fin de realizar los ajustes y evaluaciones pertinentes.



ROBINSON MARTÍNEZ SANDOVAL
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
MAGÍSTER EN INGENIERÍA

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2013). *Especificaciones, diseño y construcción Pavimentos de Concreto Hidraulico.* Bogota: Asocreto.

Das, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de cimentaciones* (Cuarta ed.). México: International Thomson Editores.

DAS, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de cimentaciones.* México: International Thomson.

Earth, G. (2016).

INVIAS. (2007). *NORMA INV E 132-07.* Bogotá, Colombia .

INVIAS. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.* (ICPC, Ed.) INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO.

Londoño, C., & Álvarez, J. (2008). *Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto.* Medellin: ICPC.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). *TITULO H*, H-49.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). *TITULO A.*

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10). *PREFACIO*, vi-v.

ROBINSON MARTÍNEZ
Ingeniero Civil
Esp. Geotecnia
Nit. 11002312-2

ANEXOS

Carrera 14C #39-38 B/La Floresta, Montería- Córdoba
Tel (4)7891152-3137836397
laboratoriorams@gmail.com

MEMORIA DE CÁLCULO CBR SUBRASANTE MEJORADA MEDIANTE FORMULACIÓN DE IVANOV - DISEÑO DE PAVIMENTO BARRIOS SUCRE Y PLAYA BRIGIDA

$i := 0$

$CBR_{SR} := [5.61]$ Valor de CBR promedio de subrasante en estado natural

$CBR_{mejoramiento} := 15$ Valor de CBR mínimo para afirmado según INV-311-13

$M_{rSR} := 17.6\ MPa \cdot CBR_{SR}^{0.64}$

$M_{rMejoramiento} := 17.6\ MPa \cdot CBR_{mejoramiento}^{0.64}$

$E_m := M_{rMejoramiento}$

$E_s := M_{rSR}$

$n := \left(\frac{E_m}{E_s}\right)^{\frac{1}{3.3}}$

$h_m := 20.00\ cm$ Espesor de mejoramiento en afirmado

$a := 10.80\ cm$

$$E_{cc_i} := \frac{E_{s_i}}{1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{n_i^{3.3}}\right) \cdot \left(\operatorname{atan}\left(n_i \cdot \frac{h_m}{2 \cdot a}\right)\right)}$$ Módulo subrasante mejorada

$$CBR_{SRM} := \operatorname{Floor}\left(\left(\frac{E_{cc}}{17.6 \cdot MPa}\right)^{\frac{1}{0.64}}, 1\right) = [10]$$ CBR subrasante mejorada

DISENO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 69 Mpa/m
Espesor Losa : 220 mm
Modulo de Rotura : 4.2 Mpa
Bermas : NO
Pasadores : SI
Factor de Seguridad Cargas : 1
Factor de Mayoración Repeticiones : 1.1

Resultados :

Carga Tn	Carga kN	FS	Repeticiones Esperadas	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
EJES SIMPLES							
Esfuerzo Equivalente: 0.0		Factor Esfuerzo: 0.0000			Factor Erosion: 0.0000		
2.50	24.50		1,359,346	Inf	0.00	Inf	0.00
4.00	39.20		873,865	Inf	0.00	Inf	0.00
6.00	58.80		3,862,267	Inf	0.00	Inf	0.00
7.00	68.60		80,914	Inf	0.00	Inf	0.00
11.00	107.80		1,111,211	18,328,086	6.06	9,036,873	12.30
EJES TANDEM							
Esfuerzo Equivalente: 0.0		Factor Esfuerzo: 0.0000			Factor Erosion: 0.0000		
20.00	196.00		124,067	Inf	0.00	6,249,638	1.99
21.00	205.80		474,692	Inf	0.00	4,512,000	10.52
22.00	215.60		474,692	Inf	0.00	3,342,581	14.20
EJES TRIDEM							
Esfuerzo Equivalente: 0.0		Factor Esfuerzo: 0.0000			Factor Erosion: 0.0000		
25.00	245.00		80,914	Inf	0.00	10,293,478	0.79
				Total :	6.06		39.79

DISENO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 72 Mpa/m
Espesor Losa : 220 mm
Modulo de Rotura : 4.2 Mpa
Bermas : NO
Pasadores : SI
Factor de Seguridad Cargas : 1
Factor de Mayoración Repeticiones : 1.1

Resultados :

Carga Tn	Carga FS kN	Repeticiones Esperadas	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
EJES SIMPLES						
Esfuerzo Equivalente: 0.0 Factor Esfuerzo: 0.0000 Factor Erosion: 0.0000						
2.50	24.50	1,359,346	Inf	0.00	Inf	0.00
4.00	39.20	873,865	Inf	0.00	Inf	0.00
6.00	58.80	3,862,267	Inf	0.00	Inf	0.00
7.00	68.60	80,914	Inf	0.00	Inf	0.00
11.00	107.80	1,111,211	29,886,509	3.72	9,137,264	12.16
EJES TANDEM						
Esfuerzo Equivalente: 0.0 Factor Esfuerzo: 0.0000 Factor Erosion: 0.0000						
20.00	196.00	124,067	Inf	0.00	6,442,820	1.93
21.00	205.80	474,692	Inf	0.00	4,646,009	10.22
22.00	215.60	474,692	Inf	0.00	3,438,770	13.80
EJES TRIDEM						
Esfuerzo Equivalente: 0.0 Factor Esfuerzo: 0.0000 Factor Erosion: 0.0000						
25.00	245.00	80,914	Inf	0.00	10,840,406	0.75
			Total :	3.72		38.85


REPUBLICA DE COLOMBIA
CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIA
COPNIA
MATRICULA PROFESIONAL No.
2220211477SCOR
INGENIERO CIVIL
DE FECHA 01/03/2005
ROBINSON ANTONIO
MARTINEZ SANDOVAL
C.C. 11002312
CORPORACION UNIVERSITARIA
DEL SINU
PRESIDENTE DEL CONSEJO

968/2

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2021-750253

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que ROBINSON ANTONIO MARTINEZ SANDOVAL, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 11002312, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 22202-114775 desde el 20 de Enero de 2005, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 15.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los trece (13) días del mes de Mayo del año dos mil veintiuno (2021).

Rubén Darío Ochoa Arbeláez

Firma del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado

El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.

Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicando el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

EN NOMBRE DE

LA REPUBLICA DE COLOMBIA

Y POR AUTORIZACION
DEL MINISTERIO DE EDUCACION NACIONAL
LA



Corporación Universitaria del Sinú

EN ATENCION A QUE

Robinson Antonio Martínez Sandoval

C.C. No. 11.002.312 Expedida en Montería (Cord.)

HA COMPLETADO TODOS LOS REQUISITOS QUE LOS ESTATUTOS UNIVERSITARIOS EXIGEN PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

LE EXPIDE EL PRESENTE DIPLOMA. EN TESTIMONIO DE ELLO, SE FIRMA Y REFRENDA CON LOS SELLOS RESPECTIVOS EN MONTERIA, EL DIA 18 DEL MES DE NOVIEMBRE DEL 2.00 4

RECTOR

VICE-RECTOR ACADEMICO

DECANO

SECRETARIO GENERAL

REGISTRADO AL FOLIO No. 304 DEL LIBRO DE REGISTROS DE DIPLOMAS No. 3
CORPORACION UNIVERSITARIA DEL SINU
6829

UNIVERSIDAD DEL SINU

Elías Bechara Zainúm

EL RECTOR Y EL CONSEJO SUPERIOR
POR EL TENOR DE LA PRESENTE, HACEMOS SABER QUE

Robinson Antonio Martínez Sandoval

IDENTIFICADO(A) CON LA CEDULA DE CIUDADANIA NO. 11,002,312 de Montería, (Córd.), ALUMNO(A) DE ESTA INSTITUCION Y EN TAL VIRTUD FORMADA EN EL PENSAMIENTO DE NUESTRO FUNDADOR CON PROYECCION UNIVERSAL, VALORES CULTURALES Y HUMANOS DEL HOMBRE COLOMBIANO CONFERIMOS, EN NOMBRE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA Y POR AUTORIZACION DEL MINISTERIO DE EDUCACION NACIONAL, EL CARACTER Y TITULO DE

Especialista en Geotecnia

CON EL COMPROMISO DE LIDERAZGO AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD, LA UNIVERSIDAD Y SU FAMILIA PARA GENERAR FUTURAS CONDICIONES DE VIDA MAS FAVORABLES A TODOS; COMPROMETIDO CON NUESTRA RAZON DE SER, ELEVANDO LA CULTURA REGIONAL Y NACIONAL, COMO CONTRIBUCION A LA HUMANIDAD, CON EL CRITERIO DE LA LIBERTAD COMO DERECHO NATURAL Y SIN DISTINGO DE RAZA, CREDO, SEXO O COLOR. EL PRESENTE TITULO LLEVA LAS FIRMAS DEL RECTOR, VICERRECTOR, DECANO Y SECRETARIO GENERAL, EN LA CIUDAD DE Montería A LOS Veintiséis (26) DIAS DEL MES DE Octubre DEL AÑO 2006

EL RECTOR

EL VICERRECTOR

EL DECANO

EL SECRETARIO GENERAL

969

Universidad Tecnológica de Bolívar

EN NOMBRE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA POR AUTORIZACIÓN DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Confiere el Título de

MAGÍSTER EN INGENIERÍA

a

ROBINSON ANTONIO MARTINEZ SANDOVAL

C.C. No. 11.002.312

Por haber cumplido con todos los requisitos académicos exigidos por la Universidad y en constancia se expide el presente Diploma en Cartagena de Indias, Dado a los 26 días del mes de Febrero de 2021

Rectora

Secretaria General

Decana

Inscrito en el libro de Registro de Diplomas No. 31 folio el No. 7545

DISEÑO DE PAV SAN FRANCISCO

970/r

PABLO CASTILLA NEGRETE

Estudios Geotécnicos y Ambientales

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE 10 KM DE VÍAS URBANAS Y/O RURALES EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DE ACUERDO CON LAS METAS E INDICADORES ESTABLECIDOS EN EL PLAN DE DESARROLLO "GOBIERNO DE LA GENTE "2020-2023".

DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO HIDRÁULICO EN LOS BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA



I.C. PABLO CASTILLA NEGRETE.

ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES.

ESPECIALISTA EN INGENIERÍA AMBIENTAL.

ESPECIALISTA EN PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES.

ESPECIALISTA EN GERENCIA PARA INGENIEROS.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN. 8
2. OBJETIVOS Y ALCANCES. 9
2.1. Objetivo. 9
2.2. Alcances. 9
3. GENERALIDADES. 10
3.1. Generalidades del municipio. 10
3.2. Geología. 11
3.3. Geomorfología. 14
3.4. Geoestructura y ambiente morfométrico. 15
3.5. Clima. 15
3.6. Vegetación. 18
4. ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO. 19
5. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y GEOTÉCNICOS. 21
6. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO. 22
7. METODOLOGÍAS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO. 23
7.1. Método de la Portland Cement Association. 23
7.1.1. Factor de seguridad de carga. 23
7.1.2. Módulo de reacción de la subrasante. 23
7.1.3. Módulo de reacción del Soporte K combinado (Subrasante – Subbase). 24
7.1.4. Módulo de rotura del concreto. 25
7.1.5. Determinación del espesor de concreto. 25
7.2. Método de la AASHTO. 26
7.2.1. Desviación normal estándar Zr. 26
7.2.2. Error estándar So. 27
7.2.3. Índice de servicio y su variación. 27
7.2.4. Coeficiente de drenaje CD. 27
7.2.5. Coeficiente de transferencia de carga, J. 28
7.2.6. Módulo de reacción efectivo de la losa. 28
7.2.7. Módulo de rotura. 32
7.2.8. Módulo de elasticidad de concreto. 33
7.2.9. Determinación del espesor de concreto. 33
7.3. Diseño de juntas. 34
7.3.1. Juntas longitudinales. 34
7.3.2. Juntas transversales. 35
8. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO. 37
8.1. Método de la PCA. 37
8.1.1. Factor de seguridad. 37
8.1.2. Mejoramiento de la subrasante. 37
8.1.3. Módulo de reacción de la subrasante. 38
8.1.4. Módulo de reacción del Soporte K combinado (Subrasante – Subbase). 38

8.1.5. Determinación del espesor de concreto. 39
8.2. Método de la AASHTO. 40
8.2.1. Desviación normal estándar Zr. 40
8.2.2. Error estándar So. 40
8.2.3. Índice de servicio y su variación. 40
8.2.4. Coeficiente de drenaje CD. 40
8.2.5. Coeficiente de transferencia de carga, J. 40
8.2.6. Módulo de reacción efectivo de la losa. 41
8.2.7. Determinación del espesor de concreto. 41
8.3. Estructura de pavimento. 42
8.4. Dimensiones de la losa de concreto. 42
8.5. Diseño de juntas. 43
8.6. Esfuerzos y deflexiones en las losas de concreto. 44
8.6.1. Calculo de esfuerzos por alabeo. 44
8.6.2. Calculo de esfuerzos y deflexiones por carga en la esquina de la losa. 46
8.6.3. Resultados obtenidos. 47
9. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN. 49
9.1. Concreto rígido. 49
9.2. Subbase. 53
10. CONCLUSIONES. 55
11. RECOMENDACIONES. 56
12. BIBLIOGRAFÍA. 58
13. LIMITACIONES DEL ESTUDIO. 59

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del proyecto en el municipio. 8
Figura 2. Localización del proyecto en el barrio. 9
Figura 3. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba. 10
Figura 4. Mapa subregiones del departamento de Córdoba. 11
Figura 5. Mapa de regiones geotectónicas del departamento de Córdoba. 12
Figura 6. Mapa geológico del municipio de Montería. 13
Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales. 13
Figura 8. Unidades de paisaje del departamento de Córdoba. 14
Figura 9. Mapa de Geoestructura del departamento de Córdoba. 15
Figura 10. Mapa de Precipitación del departamento de Córdoba. 16
Figura 11. Mapa de Temperatura del departamento de Córdoba. 17
Figura 12. Mapa de Evapotranspiración del departamento de Córdoba. 18
Figura 13. Mapa de Cobertura Vegetal del departamento de Córdoba. 19
Figura 14. Mejoramiento a realizar. 21
Figura 15. Detalle juntas. Vista en planta 34
Figura 16. Detalle junta longitudinal. 35
Figura 17. Detalle junta transversal. 36
Figura 18. Mejoramiento a realizar. 38
Figura 19. Estructura de pavimento propuesta. 42
Figura 20. Estructura de pavimento con dimensiones tolerables y acero de refuerzo. 44
Figura 21. Factor de corrección de esfuerzos para losas infinitas. 45

Figura 22. Estructura de pavimento propuesta. 55

Figura 23. Detalle de las losas reforzadas. 57

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tramos de vías a construir. 9

Tabla 2. Datos climáticos de la Estación Meteorológica Montería. 18

Tabla 3. Resultados de la exploración del subsuelo. 20

Tabla 4. Repeticiones esperadas. 22

Tabla 5. Número de ejes equivalentes a 8.2 t. 22

Tabla 6. Factores de seguridad de carga. 23

Tabla 7. Efecto de la subbase granular sobre los valores de K. 24

Tabla 8. Criterios de diseño para la mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico. 25

Tabla 9. Valores de Zr en función de la confiabilidad. 26

Tabla 10. Niveles de confiabilidad a adoptar en función del tipo de carretera. 27

Tabla 11. Serviciabilidad final Pt. 27

Tabla 12. Calidad del drenaje. 28

Tabla 13. Valores del coeficiente de drenaje, Cd. 28

Tabla 14. Coeficiente de transferencia de carga, J. 28

Tabla 15. Factor de pérdida de soporte, Ls. 32

Tabla 16. Recomendaciones para la selección de las barras de anclaje. 35

Tabla 17. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga. 36

Tabla 18. Cálculos para el mejoramiento de la subrasante. 37

Tabla 19. Resumen de los valores obtenidos de K combinados. 38

Tabla 20. Resultados arrojados de la estructura del pavimento software BS-PCA (UNICAUCA). 39

Tabla 21. Alternativa eficiente determinada con el método de la PCA. 40
Tabla 22. Resultados arrojados de la estructura del pavimento software AASHTO. 41
Tabla 23. Alternativa eficiente determinada por el método AASHTO. 42
Tabla 24. Alternativa eficiente determinada por el método PCA. 42
Tabla 25. Resumen características de las barras de anclaje. 43
Tabla 26. Resumen características de los pasadores de carga. 43
Tabla 27. Resumen Parámetros par cálculos de esfuerzos y deflexiones. 48
Tabla 28. Resultados de los cálculos de esfuerzos por alabeo. 48
Tabla 29. Resultados de los cálculos de esfuerzos y deflexiones por carga. 48
Tabla 30. Resultados de los cálculos de esfuerzos y deflexiones por carga. 49
Tabla 31. Especificaciones de cemento hidráulicos. 49
Tabla 32. Franja granulométrica del agregado para concreto hidráulico. 50
Tabla 33. Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico. 51
Tabla 34. Franja granulométrica del agregado para concreto hidráulico. 52
Tabla 35. Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico. 52
Tabla 36. Requisitos para el agua de mezcla. 53
Tabla 37. Limites químicos opcionales para el agua de mezclado. 53
Tabla 38. Uso típico de las diferentes clases de subbase granular. 54
Tabla 39. Requisitos de los agregados para subbases granular. 54
Tabla 40. Franjas granulométricas del material de subbases granular. 54

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Relación aproximada entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K. 24

Gráfica 2. Carta para estimar el módulo de reacción compuesto asumiendo una profundidad semi-infinita de la capa de soporte. 29

Gráfica 3. Carta para modificar el módulo de reacción de la subrasante por la presencia de una capa rígida cercana a la superficie. 30

Gráfica 4. Carta para estimar el daño relativo (Ur) en pavimentos rígidos. 31

Gráfica 5. Carta para corregir el módulo de reacción efectivo de la subrasante por pérdida potencial de soporte de la subbase 32

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

"ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE 10 KM DE VÍAS URBANAS Y/O RURALES EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DE ACUERDO CON LAS METAS E INDICADORES ESTABLECIDOS EN EL PLAN DE DESARROLLO "GOBIERNO DE LA GENTE "2020-2023".

DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO HIDRÁULICO EN LOS BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

INTRODUCCIÓN.

De acuerdo con la solicitud presentada por el MUNICIPIO DE MONTERÍA, se realizó el diseño para la construcción de pavimento en concreto hidráulico en los barrios San Francisco y Robles del norte en el municipio de Montería - departamento de Córdoba.

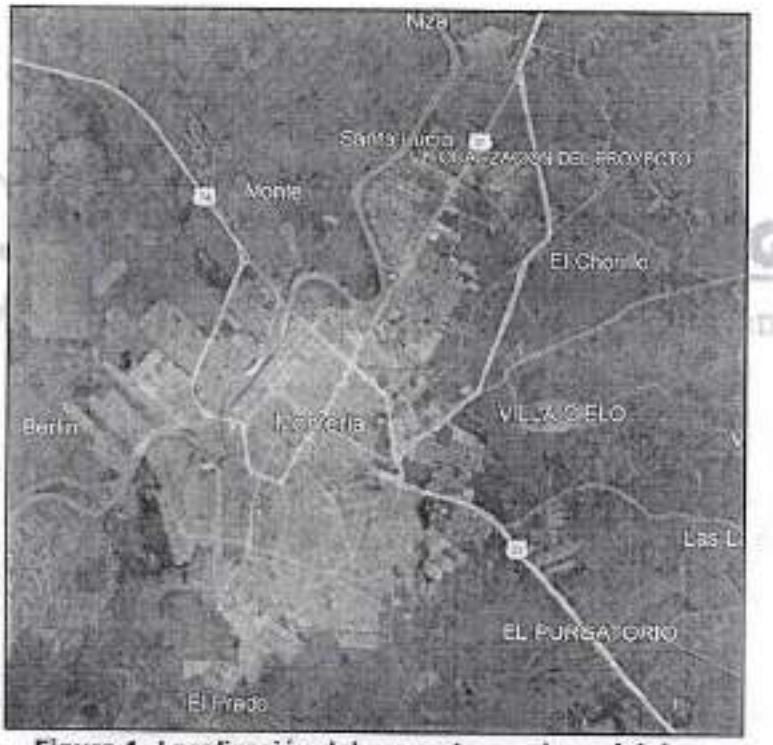


Figura 1. Localización del proyecto en el municipio.
Fuente: Google Earth.

El proyecto consiste en la construcción de 0.66 Km m de pavimento hidráulico (DOBLE CALZADA) correspondiente al siguiente tramo:

ITEM	DIRECCIÓN	COMUNA/ CORREGIMIENTO	BARRIO/VEREDA
12	Carrera 4 entre las calles 73 Y 77 (DOBLE CALZADA)	8	SAN FRANCISCO – ROBLES DEL NORTE

Tabla 1. Tramos de vías a construir.
Fuente: Suministrado por el solicitante.

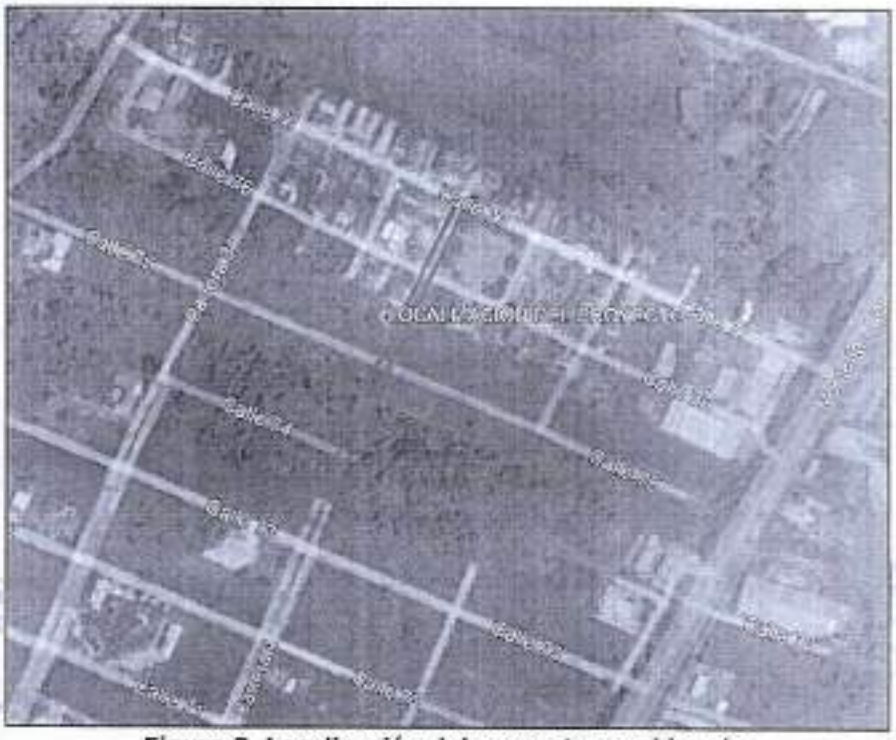


Figura 2. Localización del proyecto en el barrio.
Fuente: Google Earth.

2. OBJETIVOS Y ALCANCES.

2.1. Objetivo.

Determinar la estructura adecuada de pavimento rígido para soportar las cargas del tránsito futuro, realizando los mejoramientos necesarios.

2.2. Alcances.

Para alcanzar el objetivo planteado se desarrollarán las siguientes actividades:

a) Ubicación general del proyecto.
b) Estudio y análisis de los materiales de subrasante.
c) Estudio de la variable tránsito y proyección de los ejes de diseño.

d) Diseño de la estructura de pavimento utilizando dos metodologías, tomando como criterio de elección una evaluación técnico económica.
e) Evaluación de esfuerzos y deformación de la estructura determinada como óptima.
f) Especificaciones de materiales para la construcción.
g) Conclusiones y recomendaciones finales.

3. GENERALIDADES.

3.1. Generalidades del municipio.

El municipio de Montería está situado en la zona centro del departamento de Córdoba, correspondiente a las tierras planas y ligeramente onduladas, de los valles de los ríos San Jorge y Sinú, entre las coordenadas 08° 45´27" de latitud Norte y 75° 53´24" de longitud Oeste, cubre un área total de 3141 Km^2.

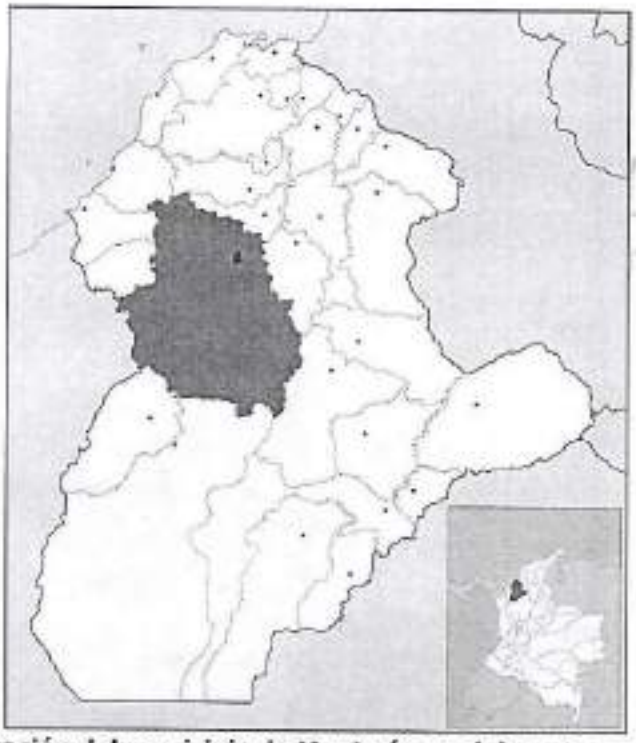


Figura 3. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba. Fuente: Wikipedia, la enciclopedia libre. "Montería", [En línea]. Julio de 2013, [julio de 2013]. Disponible en la web: https://es.wikipedia.org/wiki/Monter%C3%ADa.

Limita al Norte con el municipio de Cereté, Puerto Escondido y San Pelayo; al este con San Carlos y Planeta Rica; al sur con Tierralta y Valencia; al oeste con el departamento de Antioquia y los municipios de Canalete y San Carlos.



Figura 4. Mapa subregiones del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.2. Geología.

El municipio de Montería hace parte de la unidad estratigráfica del Cinturón de San Jacinto y las unidades litoestratigráficas del anticlinorio de San Jerónimo conformado por rocas ígneas y rocas sedimentarias.

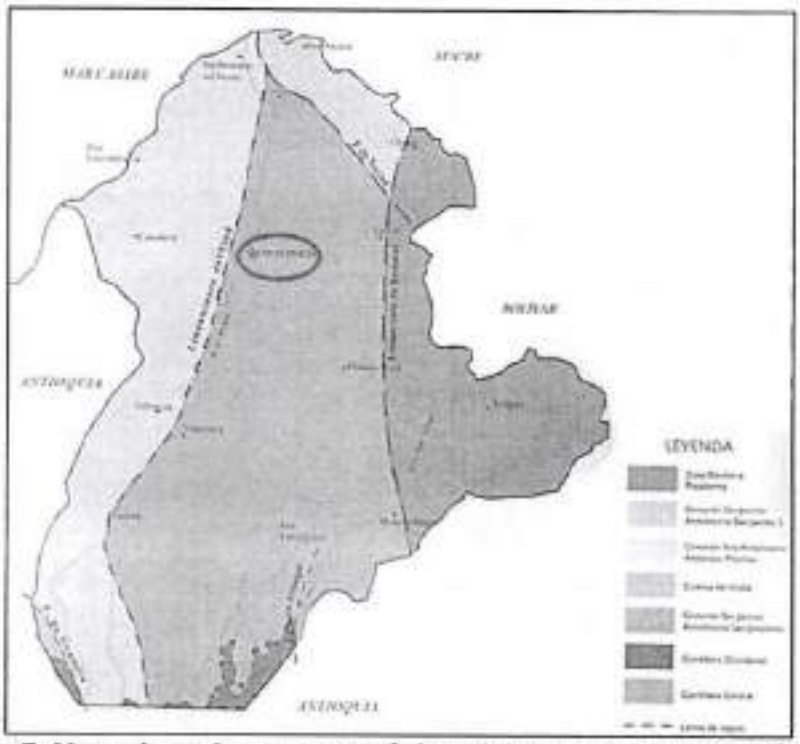


Figura 5. Mapa de regiones geotectónicas del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

El depósito encontrado en el proyecto corresponde a:

Q-al

Depósitos aluviales y llanuras aluviales.

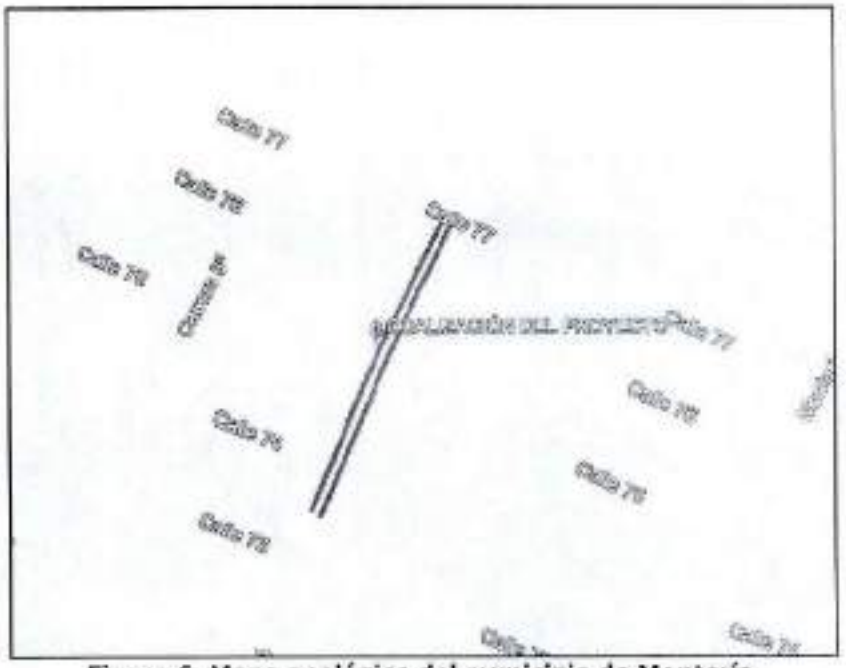


Figura 6. Mapa geológico del municipio de Montería.
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Los depósitos aluviales son suelos anisotrópicos en su distribución, con propiedades geotécnicas altamente variables, estrechamente relacionadas con la granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos en materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría. Generalmente presentan un nivel freático alto.

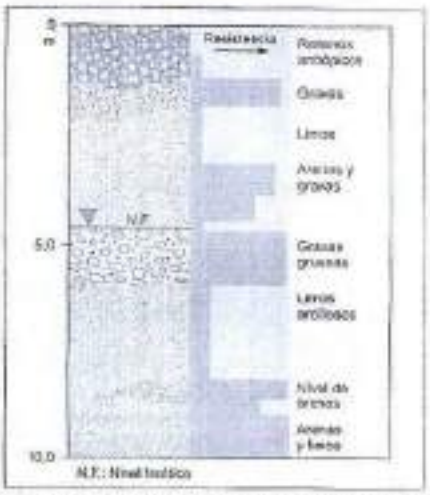


Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales.
Fuente: González Vallejo, "Ingeniería geológica", editorial: PRENTICE HALL.

3.3. Geomorfología.

El río Sinú se caracteriza por formar valles aluviales amplios, entre los cuales está el depósito aluvial del municipio de Montería el cual aflora desde el corregimiento de Santa Isabel, hasta la población de El Vidrial al norte de Montería, donde se forman las zonas planas de gran extensión que incluye las ciudades de Montería y Cereté.

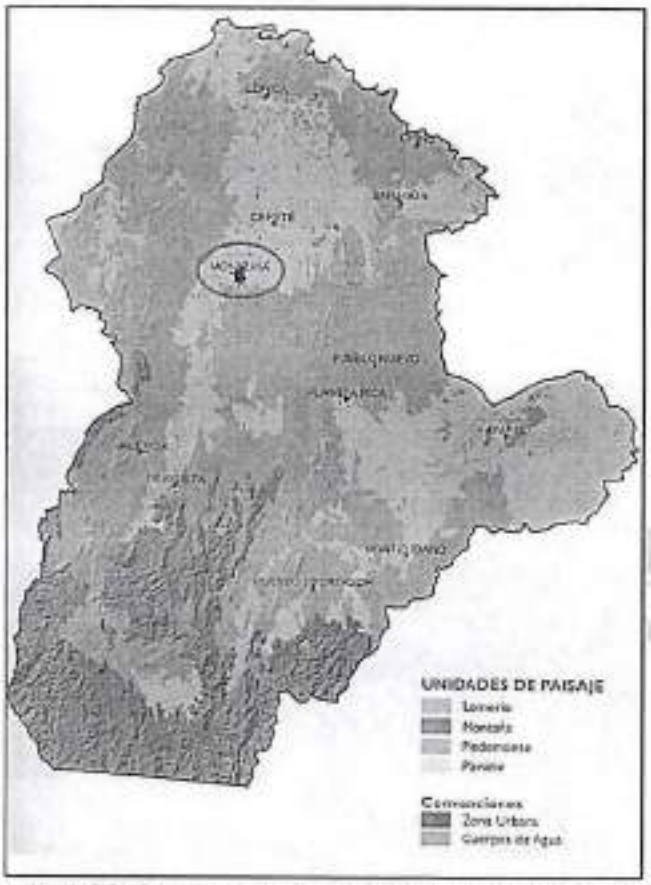


Figura 8. Unidades de paisaje del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El sitio de construcción del proyecto corresponde a un paisaje tipo planicie, con un relieve de plano de inundación y terrazas, con una litología de sedimentos medios y finos.

El paisaje de planicie es una geoforma caracterizada por ser una zona amplia y plana a ligeramente plana, cuyas pendientes son menores a 3.00%. Corresponde a los diferentes aportes de origen aluvial, marino o eólico.

3.4. Geoestructura y ambiente morfométrico.

El municipio de Montería se localiza en la geoestructura correspondiente a la megacuenca de sedimentación ubicada al norte y occidente de la cordillera y se extiende hasta el mar caribe, cubriendo 23.788,87 Km^2, lo que equivale al 95.40% del territorio del departamento de Córdoba. Geográficamente a esta pertenecen las serranías de Abibe, San Jerónimo, y Ayapel.

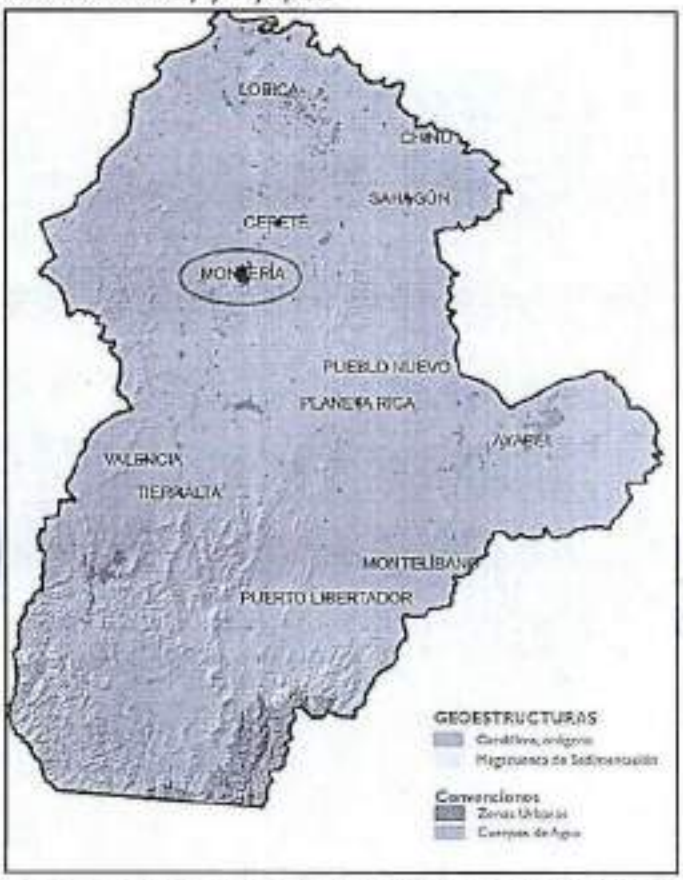


Figura 9. Mapa de Geoestructura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.5. Clima.

El municipio de Montería dada su fisiografía y su posición en la llanura del caribe colombiano, se localiza con respecto a los vientos provenientes del mar en una posición de sotavento ocasionando climas predominantemente secos la mayor parte del año, con una alta humedad relativa por la presencia del río Sinú y sus sistemas de ciénagas y humedales, presenta lluvias con vientos (vendavales) en épocas húmedas y unos

microrrelieves en las serranías de las Palomas y de San Carlos que se comportan como barloventos aumentando la nubosidad y la generación de lluvias.

El municipio de Montería posee una altura promedio de 18 msnm, con una precipitación media anual de 1200 mm.

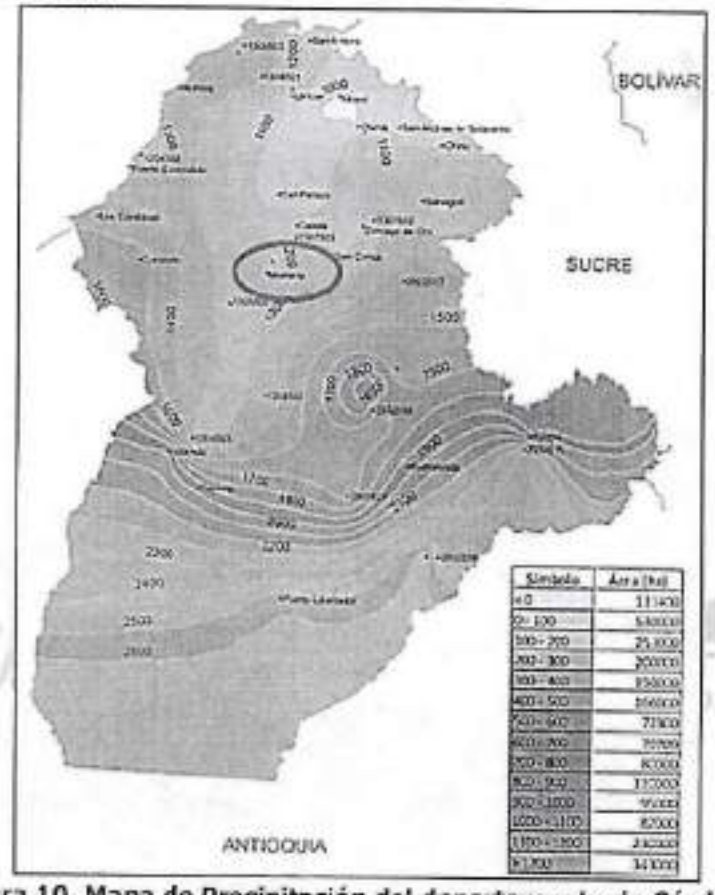


Figura 10. Mapa de Precipitación del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El municipio presenta dos temporadas de lluvia: La primera es en parte de abril y mayo, y la segunda entre los meses de septiembre y noviembre; una temporada de menor intensidad de lluvias entre los meses de junio y agosto, y por último una temporada seca entre los meses de diciembre a marzo.

El promedio anual de la temperatura es de 26.90 °C, con un ligero aumento en los meses de marzo, abril y mayo. La Variación no es muy significativa, pues el 98.20% del territorio se encuentra en el piso térmico cálido. Por ello, puede considerarse que el promedio anual de 26.90 °C es representativo para el municipio de Montería.

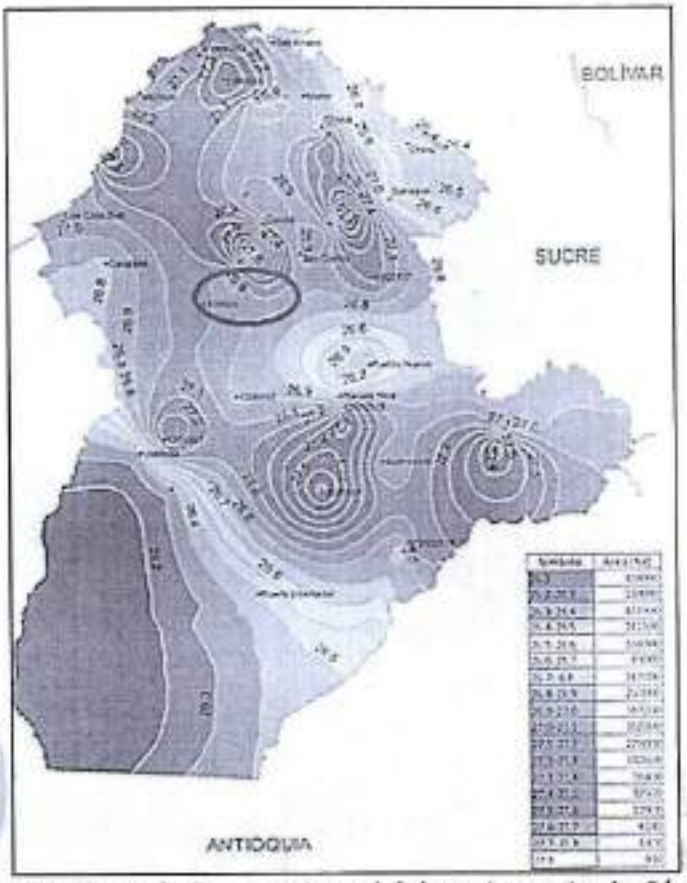


Figura 11. Mapa de Temperatura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El brillo solar anual varía entre 1.400 y 1.800 horas de luz.
La humedad ambiente (84.00%), se relaciona con el brillo solar y con los intensos procesos de evapotranspiración.

La evapotranspiración potencial (E.T.P.), presenta un área definida como de núcleo central regional del valle del Sinú que va desde Montería hasta el norte con un valor ubicado en el rango de 1700 – 1750 mm anuales decreciendo hacia las zonas extremas de la cuenca hasta los 1650 mm/año.

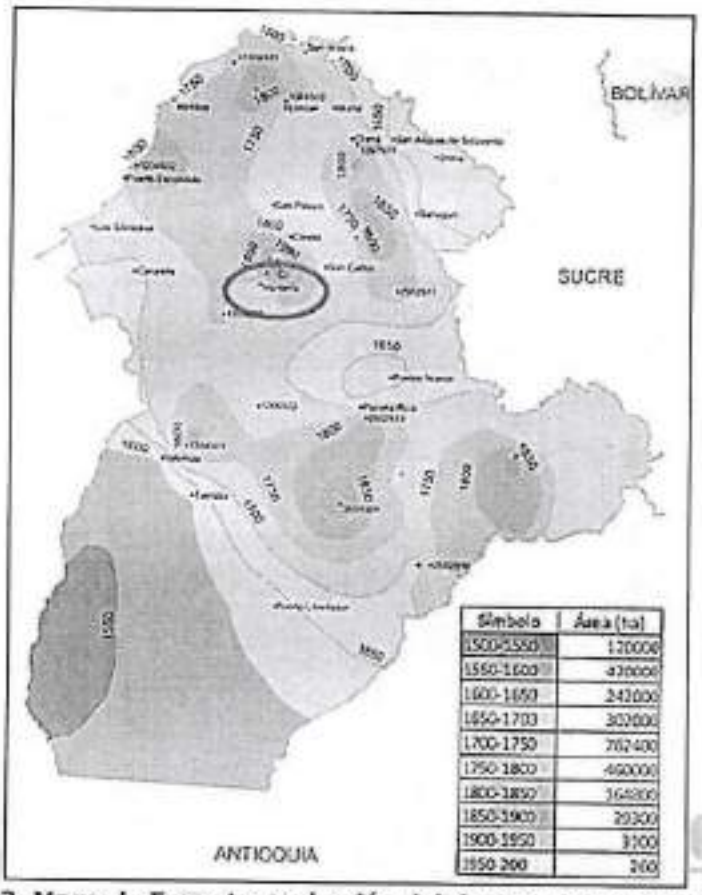


Figura 12. Mapa de Evapotranspiración del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite, el municipio presenta una franja alineada a lado y lado del plano de inundación del río en el clima cálido -seco; en el resto del área de Montería sigue siendo cálido, pero con un régimen de humedad semi-húmedo.

Estación	msnm	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	ETP (mm)	Déficit (mm)	Exceso (mm)	Piso Térmico	Clase Clima	Símbolo
Montería	18	1200	26,9	1711,4	558,0	46,6	Cálido	Seco	c-S

Tabla 2. Datos climáticos de la Estación Meteorológica Montería.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.6. Vegetación.

El municipio de Montería tiene área de su territorio dentro de la parte media y baja del río Sinú, la vegetación original ha sido completamente degradada sólo a pequeños bosques o zonas de bosque de galería, por la transformación y/o adecuación de las

tierras de los ecosistemas para extensas áreas de praderas para el desarrollo de sistemas pecuarios semi – intensivos y extensivos y la agricultura comercial y de subsistencia. A los alrededores del municipio se encuentra áreas agrícolas heterogéneas, áreas que presentan heterogeneidad en la cobertura, ya sea por condiciones locales de clima o de suelos que hacen difícil la separación de unidades cartográficas homogéneas, y pastos de territorios agrícolas que son tierras ocupadas principalmente para la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho.



Figura 13. Mapa de Cobertura Vegetal del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

4. ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO.

La información de la subrasante se toma del estudio de suelos realizado para el presente proyecto, la cual se resume en la siguiente tabla:

Apique	Nivel freático (m)	Muestra Nº	Profundidad (m)	w	LL	IP	Granulometría				Clasificación		Observaciones
							No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	SUCS	AASHTO	
1	1.00	1	0.80	12.00%	42.00%	26.00%	50.37%	44.57%	38.97%	32.27%	GC	A-2-7	MATERIAL DE RELLENO: GRAVA ARCILLO ARENOSA
		2	2.00	27.00%	34.00%	17.00%	100.00%	100.00%	100.00%	96.94%	CL	A-6	ARCILLA DE MEDIANA PLASTICIDAD
2	0.50	1	0.30	11.00%	41.00%	26.00%	65.72%	54.49%	22.72%	18.05%	GC	A-2-7	MATERIAL DE RELLENO: GRAVA ARENO ARCILLOSA
		2	2.00	32.00%	33.00%	15.00%	100.00%	100.00%	100.00%	95.85%	CL	A-7-6	ARCILLA DE MEDIANA PLASTICIDAD
3	0.50	1	1.50	25.00%	32.00%	14.00%	100.00%	100.00%	100.00%	93.52%	CL	A-6	ARCILLA DE MEDIANA PLASTICIDAD
		2	2.00	27.00%	37.00%	18.00%	100.00%	100.00%	100.00%	96.85%	CL	A-6	ARCILLA DE MEDIANA PLASTICIDAD
4	0.50	1	1.00	27.00%	34.00%	15.00%	100.00%	100.00%	100.00%	97.03%	CL	A-6	ARCILLA DE MEDIANA PLASTICIDAD
		2	2.00	27.00%	36.00%	19.00%	100.00%	100.00%	100.00%	97.45%	CL	A-6	ARCILLA DE MEDIANA PLASTICIDAD

Tabla 3. Resultados de la exploración del subsuelo.
Fuente: Elaborada por la presente consultoria.

El subsuelo del proyecto en los sondes 1 y 2 está conformado inicialmente por material de relleno correspondiente a grava arcillo arenosa de espesor variable de 0.30 a 0.80 m, seguido por materiales finos correspondientes a arcilla de mediana plasticidad hasta finalizar en 2.00 m de profundidad. Mientras que los sondeos 3 y 4 presentan en su totalidad arcilla de mediana plasticidad hasta los 2.00 m de la exploración. Se registró la presencia del nivel freático variable entre 0.50 y 1.00 m.

5. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y GEOTÉCNICOS.

Los resultados de los parámetros evaluados son tomados del estudio de suelos realizado para el presente proyecto y se resumen a continuación:

- **Potencial de expansión.**

El material fino encontrado tiene un valor de índice plástico entre 14% al 19%, lo cual de acuerdo con lo establecido en la tabla 132-2 de la norma E-132 del INVIAS utilizando el criterio de Holtz y Gibbs, cualifica los suelos con potencial expansivo de medio.

La fracción final del material de relleno encontrado tiene un valor de índice plástico de 26%, lo cual cualifica los suelos con potencial expansivo de alto.

- **Capacidad de soporte de diseño.**

Se establece que el CBR de diseño es igual a 2.15%, utilizando el CBR sumergido con el objetivo de contemplar el escenario más desfavorable al cual puede llegar a ser sometida la estructura, es decir, un nivel de saturación del suelo de subrasante.

Teniendo en cuenta lo anterior se hace necesaria la realización de un mejoramiento.

- **Mejoramiento de la subrasante.**

El espesor de mejoramiento requerido es igual a 0.30 m correspondiente a piedra rajón sobre geotextil NT 2000 de separación. El mejoramiento recomendado se muestra en la siguiente figura:

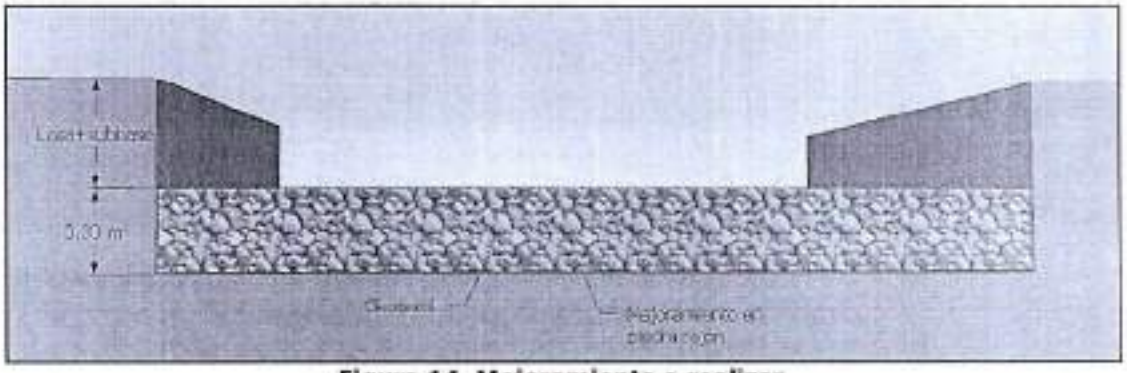


Figura 14. Mejoramiento a realizar.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría, con ayuda de la herramienta SketchUp.

Nota: *Con la técnica de mejoramiento postulada (Geotextil de separación + inclusión de piedra tipo "rajón") se le deberá acondicionar como mínimo una capa de sello adicional en material granular tipo terraplén para corona en un espesor mínimo de (30 cm) compactos.*

6. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO.

La información de las repeticiones esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 t se toma del estudio de transito realizado para el presente proyecto, y se resumen a continuación.

- **Repeticiones esperadas.**

Las repeticiones esperadas se muestran a continuación:

METODO DE LA PCA					
Tipo de eje	**Peso máx. (ton)**	**Repeticiones año base**	**Tasa de crecimiento r (%)**	**Periodo de diseño (años)**	**No. De Repeticiones esperadas**
SRS (Simple direccional)	4	1321	3.00%	20	36024
	6	1321			36024
SRD (Simple rueda doble)	6	1321			36024
	11	858			23392
TANDEM (Tandem rueda doble)	22	463			12632
TRIDEM (Tridem rueda doble)	24	0			0

Tabla 4. Repeticiones esperadas.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

- **Ejes equivalentes a 8.2 t en el año base.**

El número de ejes de 8.2 t, estimados se muestra a continuación:

Ejes de 8.2 tn (Periodo de diseño)	**395620**
	3.96E+05

Tabla 5. Número de ejes equivalentes a 8.2 t.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

De acuerdo con el número de ejes equivalentes a 8.2 t el nivel de transito corresponde a NT1.

7. METODOLOGÍAS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO.

Se utilizarán dos metodologías para la estimación de la estructura del pavimento, el método de la PCA y el método de la AASHTO, con los resultados obtenidos se realiza un análisis tecno económico determinando finalmente la solución óptima.

7.1. Método de la Portland Cement Association.

El procedimiento para determinar el espesor del pavimento rígido se basa en las solicitaciones del tránsito y en el periodo de diseño durante el cual la estructura del pavimento reduce su capacidad de soportar las mencionadas solicitaciones. A continuación, se describen los factores que afectan el diseño de la estructura del pavimento por el método de la PCA.

7.1.1. Factor de seguridad de carga.

El método exige que las cargas reales sean afectadas por un factor de seguridad (Fsc), el cual depende de las características de las vías, en la siguiente tabla se resumen los valores recomendados:

Factor de seguridad de carga	
Características de la vía	**Fsc**
Vías multicarriles, se espera un volumen elevado de tránsito pesado	1.20
Carreteras y vías urbanas arterias, se espera un volumen moderado de tránsito de vehículos pesados	1.10
Calles residenciales y otras vías se esperan bajos volúmenes de tránsito pesado	1.00

Tabla 6. Factores de seguridad de carga.
Fuente: Metodología PCA 1984.

7.1.2. Módulo de reacción de la subrasante.

La resistencia de la subrasante se mide en términos del módulo de reacción (K), determinado por pruebas de placa directa, sin embargo, teniendo en cuenta que estas pruebas son de difícil consecución en la zona del proyecto, el valor K se estima con pruebas más sencillas como el CBR, de acuerdo con la siguiente tabla:



Gráfica 1. Relación aproximada entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K. Fuente: Juárez Badillo. E. y Rico, A. Mecánica de suelo, Tomo 1; Fundamentos de la mecánica de suelos, U.N.A.M, México, 1969, 3ª. Edición.

Nota: *Este procedimiento es válido puesto que no es necesario, el conocimiento del valor exacto del módulo K, debido a que variaciones no muy grandes de su magnitud prácticamente no afectan los espesores de pavimento requerido.*

7.1.3. Módulo de reacción del Soporte K combinado (Subrasante – Subbase).

Para lograr un apoyo más uniforme y controlar futuros problemas de bombeo del pavimento, se recomienda la colocación de una capa de sub-base.

A partir de la siguiente tabla se adoptará un valor de Módulo de reacción (K) del conjunto sub-base/subrasante que regirá los diseños teniendo en cuenta el módulo de reacción sobre la subrasante.

Efecto de la sub-base granular sobre los valores de K				
Valor de K para sub-rasante	Valor de K para la sub-base combinada (Mpa/m)			
	100 mm	150 mm	225 mm	300 mm
20	23	26	32	38
40	45	49	57	66
60	64	65	76	90
80	87	90	100	117

Tabla 7. Efecto de la subbase granular sobre los valores de K. Fuente: Canadian Portland Cement Association. Thinckness Design for Concrete Hoghway and Street Pavements.

Nota: *La compactación de la capa de subbase en el terreno debe ser tal que se garantice un incremento mínimo de la densidad luego de poner en funcionamiento el pavimento, por tanto, se exigirá un grado de compactación mayor o igual al 95% (Art. 320-22), respecto a la máxima densidad seca obtenida en un ensayo de próctor modificado.*

En todos los diseños se contemplará la utilización de subbase granular con espesores entre 200 y 350 mm, con variaciones cada 50 mm, y una vez se haga el análisis técnico económico se tomará la opción adecuada.

7.1.4. Módulo de rotura del concreto.

De acuerdo a lo consignado en el artículo 500-22, se determina el módulo de rotura del concreto a veintiocho (28) días en Mpa, mínimo que debe cumplir la capa de rodadura en concreto hidráulico.

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Módulo de rotura a veintiocho (28 d), mínimo (Mpa):		
-Tránsito NT1	INV E-414/NTC 2871	**3.80**
-Tránsito NT2		4.00
-Tránsito NT3		4.20

Tabla 8. Criterios de diseño para la mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico. Fuente: INVIAS, artículo 500-22.

Este parámetro es considerado por el criterio de fatiga, es decir, el control del agrietamiento de las losas como consecuencia de la acción repetida de las cargas generadas por el tráfico pesado. La resistencia a la flexión considerada en la metodología es determinada mediante ensayo de módulo de rotura sobre vigas de 15x15x75cm cargadas en los tercios de la luz luego de 28 días de curado.

Para la modelación realizada sobre la estructura de los segmentos aquí analizados, se ha considerado un concreto hidráulico con módulo de rotura MR de 38.00 de Kg/cm^2 (540 PSI), de acuerdo con el nivel de transito NT1, establecido en el estudio de tránsito y resumido en el numeral 6 del presente documento.

7.1.5. Determinación del espesor de concreto.

Se establece el dimensionamiento de la estructura de pavimento, realizando una sensibilización de las siguientes variables: Módulo de reacción de la subrasante k, espesor de la losa y módulo de rotura de la losa, como resultados se obtienen los

análisis de fatiga y erosión, en ambos casos el criterio de selección es que sean menores a 100%.

Los cálculos de consumo de fatiga y erosión se realizan considerando espesores de la capa de concreto entre 0.18 m y 0.25 m, subbase de entre 0.20 y 0.35 m, para cada módulo de soporte combinado de la subrasante y base granular calculado en numerales anteriores.

El diseño se realiza con ayuda del software PCA desarrollado por la universidad del Cauca.

7.2. Método de la AASHTO.

El método fue desarrollado por la AASHTO "Guide For Design of Pavement Structures", la última versión incluye parámetros de diseño como el drenaje, la presencia de bermas y la erosionabilidad de la base.

7.2.1. Desviación normal estándar Zr.

El tránsito que puede soportar el pavimento a lo largo de un periodo de diseño, sigue una ley de distribución normal, con una media Mt y una desviación típica So, en la siguiente tabla se muestra que mediante dicha distribución se puede obtener el valor Z_R asociado a un nivel de confianza.

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Tabla 9. Valores de Zr en función de la confiabilidad.
Fuente: American Association of State of Highway and Transportation AASHTO. Guide For Design of Pavement Structures 1986.

La guía sugiere los niveles de confiabilidad R indicados la siguiente tabla:

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Tabla 10. Niveles de confiabilidad a adoptar en función del tipo de carretera.
Fuente: American Association of State of Highway and Transportation AASHTO. Guide For Design of Pavement Structures 1986.

7.2.2. Error estándar So.

Se combina la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito, con la desviación estándar de la ley de comportamiento del pavimento. La guía recomienda para pavimentos rígidos valores entre 0.30 y 0.40:

- 0.35 = Construcción nueva.
- 0.40 = Sobrecapas.

7.2.3. Índice de servicio y su variación.

El índice de servicio inicial Po depende de la calidad de la construcción, en los pavimentos del ensayó AASHTO, se alcanzaron valores de 4.50 para pavimentos rígidos, y el índice de servicio final Pt se basa en el mínimo tolerado antes de ser necesaria una rehabilitación, los valores se describen en la siguiente tabla:

TIPO DE VÍA	SERVICIABILIDAD FINAL, Pt
Autopistas	2.5 - 3.0
Carreteras	2.0 - 2.5
Zonas industriales	
Pavimento urbano principal	1.5 - 2.0
Pavimento urbano secundaria	1.5 - 2.0

Tabla 11. Serviciabilidad final Pt.
Fuente: AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.

7.2.4. Coeficiente de drenaje CD.

La calidad del drenaje está determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento y por el porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación. Se recomiendan los siguientes valores:

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 Horas
Bueno	1 Día
Regular	1 Semana
Pobre	1 Mes
Muy malo	El agua no evecua

Tabla 12. Calidad del drenaje.
Fuente: AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.

CARACTERISTICAS DEL DRENAJE	PORCENTAJE DEL TIEMPO QUE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ESTA EXPUESTA A GRADOS DE HUMEDAD PROXIMA A LA SATURACION			
	Menos del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Tabla 13. Valores del coeficiente de drenaje, Cd.
Fuente: AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.

7.2.5. Coeficiente de transferencia de carga, J.

Este factor tiene en cuenta la transmisión de las cargas ya sea a través de discontinuidades (juntas o grietas), el tipo de berma (de concreto unida al pavimento o de asfalto).

En función de la existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas (pasadores en los pavimentos con juntas, acero en los armados con refuerzo continuo) se dan los siguientes valores:

BERMA	DE ASFALTO		DE CONCRETO	
Dispositivos de transmisión de carga	SI	NO	SI	NO
Pavimento no reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Pavimento reforzado continuo	2.9 - 3.2	-	2.3 - 2.9	-

Tabla 14. Coeficiente de transferencia de carga, J.
Fuente: AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.

7.2.6. Módulo de reacción efectivo de la losa.

El módulo de reacción de la subrasante natural K, fue estimado como se describe en el numeral 7.1.3., a través de correlación con el valore del CBR de diseño.

Para determinar el módulo de reacción efectivo de la subrasante se sigue el procedimiento dado en la guía de diseño de pavimento de la AASHTO:

a) Con el siguiente nomograma se estima el valor del módulo de reacción compuesto de la subrasante (Kc), en función de los siguientes parámetros:

- Módulo resiliente de la capa de apoyo, calculado mediante correlaciones con el CBR (Instituto del asfalto).

$$Mr(Mpa) = 10 * CBR$$

- Espesor de la subbase.
- Módulo de elasticidad de la subbase, calculado con la expresión dada por la Shell.

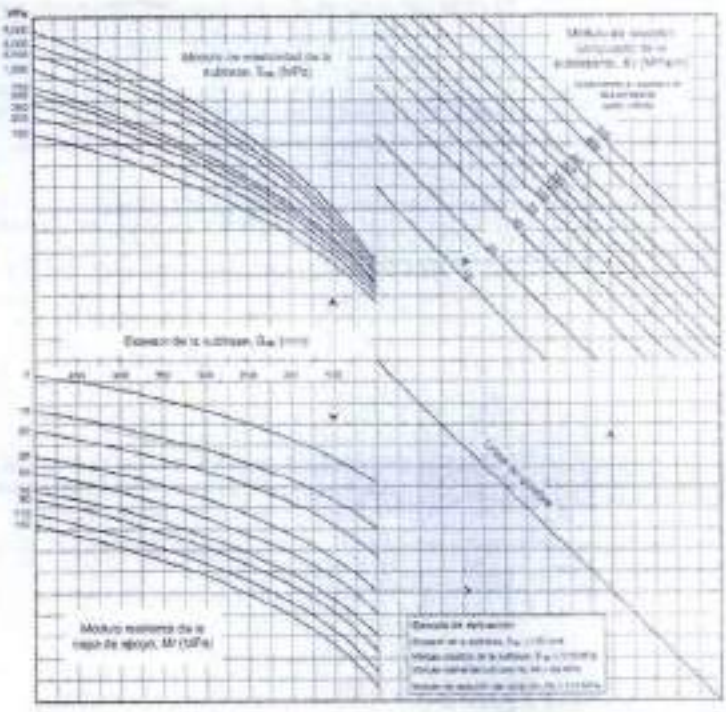
$$Mr_{Capa\ granular} = 0.206 * h^{0.45} * Mr_{Capa\ de\ apoyo}$$

Dónde:

$Mr_{Capa\ granular}$: Modulo resiliente de la capa granular que se está evaluando (Kg/cm^2).

h: Espesor de la capa de subbase (mm).

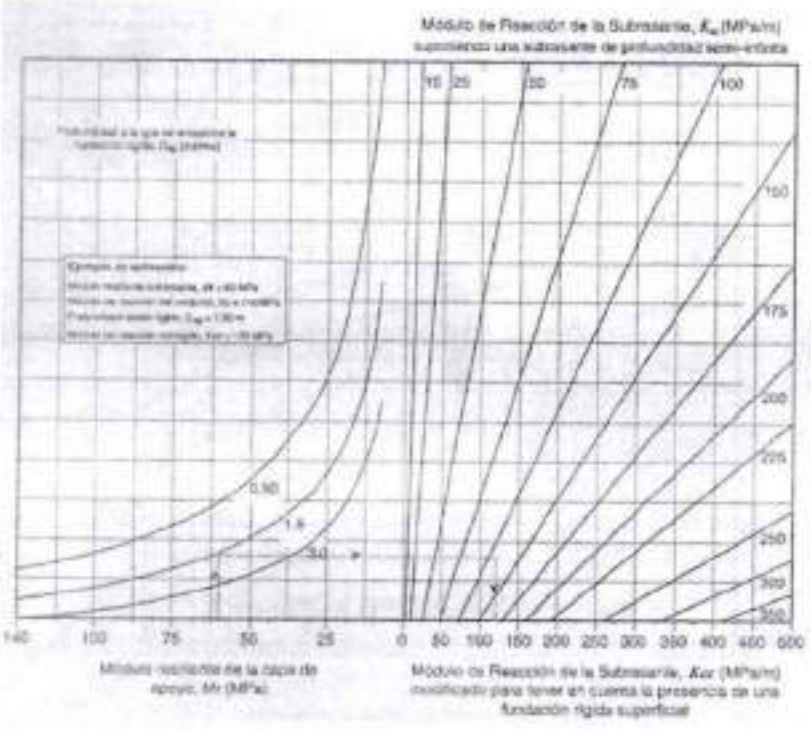
$Mr_{Capa\ de\ apoyo}$: Modulo resiliente de la capa de apoyo, ya sea subrasante o subbase granular.



Gráfica 2. Carta para estimar el módulo de reacción compuesto asumiendo una profundidad semi-infinita de la capa de soporte.
Fuente: AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.

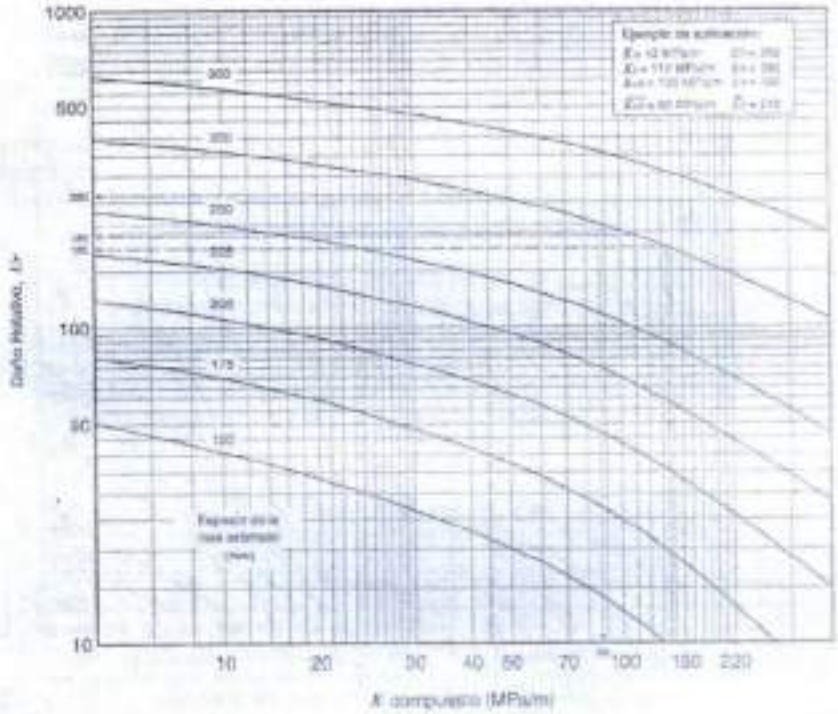
b) Si la subrasante está sobre un estrato rígido (rocoso) a menos de 3.00 m de profundidad, hay que corregir el módulo de reacción compuesto obtenido en el paso anterior, utilizando las siguientes curvas y con los siguientes parámetros:

- Módulo resiliente de la capa de apoyo.
- Profundidad a la que se encuentra la fundación rígida.



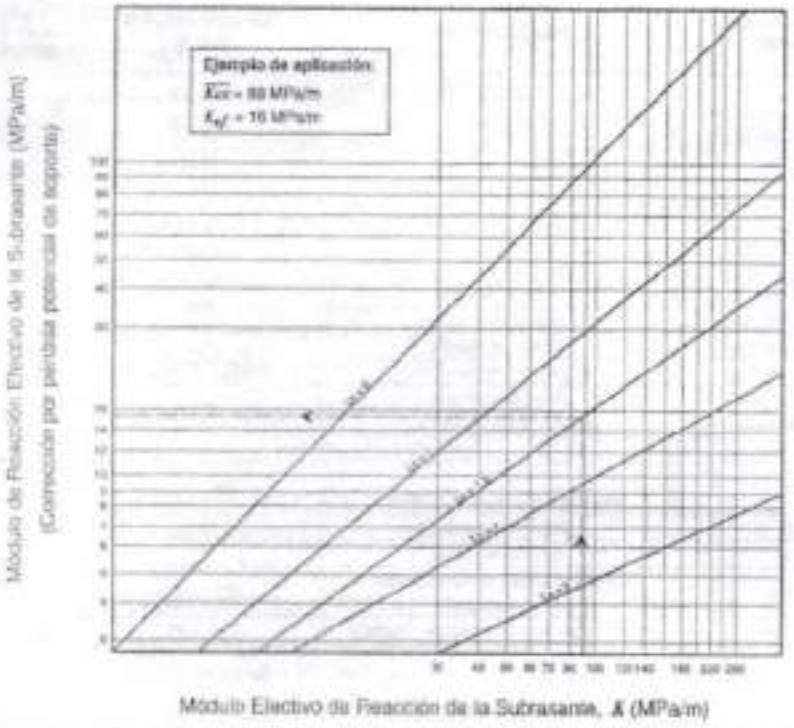
Gráfica 3. Carta para modificar el módulo de reacción de la subrasante por la presencia de una capa rígida cercana a la superficie.
Fuente: AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.

c) Se determina el módulo de reacción del conjunto promedio Kcc, estimando un espesor de diseño de la losa y calculando el daño relativo Ur.



Gráfica 4. Carta para estimar el daño relativo (Ur) en pavimentos rígidos.
Fuente: AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.

d) Para finalizar, se corrige el módulo efectivo de la subrasante (Kef), por perdida potencial de soporte debido a la erosión de la subbase. Este el valor a utilizar en el diseño de pavimentos.



Gráfica 5. **Carta para corregir el módulo de reacción efectivo de la subrasante por pérdida potencial de soporte de la subbase.**
Fuente: **AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.**

Tipo de base o subbase	Factor de pérdida de soporte Ls
Bases granulares tratadas con cemento (E:7000 a 14000 Mpa)	0.0 a 1.0
Subbases tratadas con cemento (E: 3500 a 7000 Mpa)	0.0 a 1.0
Bases estabilizadas (E:2500 - 7000 Mpa)	0.0 a 1.0
Subbases estabilizadas con asfalto (E: 300 a 2000 Mpa)	0.0 a 1.0
Estabilización con cal (E: 150 a 1000 Mpa)	1.0 a 3.0
Materiales granulares sin tratar (E: 100 a 300 Mpa)	1.0 a 3.0
Suelos finos y subrasantes naturales (E: 20 a 300 Mpa)	2.0 a 3.0
En esta tabla, E es el módulo elástico o el de resiliencia del material (Mpa = 10.1971 Kgf/cm2)	

Tabla 15. Factor de pérdida de soporte, Ls.
Fuente: **AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.**

7.2.7. Módulo de rotura.

Este parámetro se estima como se describe en el numeral 7.1.4.

7.2.8. Módulo de elasticidad de concreto.

Se determina de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma ASTM C469, o en su defecto correlacionándolo con otras características del material como lo es la resistencia a la compresión.

Cuando no se tiene información del tipo de agregado o de su origen, se utiliza la siguiente formulación:

$$Ec = 3900\sqrt{f'c} - 12500\sqrt{f'c}$$

Dónde:
f'c: Resistencia a la compresión del concreto (Mpa – Kg/cm^2).

Por lo que para un concreto de módulo de rotura igual a 38 Kg/cm^2, lo cual equivale a 245 Kg/cm^2 de resistencia a la compresión, se tiene lo siguiente:

$$Ec = 12500\sqrt{245Kg/cm2} = 195656Kg/cm2 = 2782228PSI$$

7.2.9. Determinación del espesor de concreto.

Se determina por medio de la expresión general o formula básica de la AASHTO, partiendo de conocimientos del tránsito, condiciones de serviciabilidad, condiciones ambientales, de transferencia de carga, características del concreto y de la resistencia de la subrasante.
La ecuación básica de la AASHTO para determinar el espesor de la losa de concreto es:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right]}{1+\frac{1.624\times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times p_t) \times \log_{10}\left[\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J\left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}}\right]}\right]$$

Dónde:

W_{18}: Numero previsto de ejes equivalentes a 8.2 t, a lo largo del periodo de diseño.
Z_1: Desviación normal estándar.
S_0: Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.
D: Espesor del pavimento de concreto (en mm).
ΔPSI: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.
Pt: Índice de servicio final.
Mr: Resistencia media del concreto (en Mpa) o flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz).

Cd: Coeficiente de drenaje.
J: Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.
Ec: Módulo de elasticidad del concreto.
k: Módulo de reacción de la superficie (base o sub-base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.
El diseño se realiza con ayuda del software AASHTO, desarrollado por el ingeniero Luis Ricardo Varela, Manizales octubre de 2000.

7.3. Diseño de juntas.

El concreto hidráulico como superficie de rodadura, se encuentra sujeto a diferentes esfuerzos, entre los cuales se encuentran: las cargas de tránsito, contracción y expansión del concreto (el concreto al endurecer ocupa menos volumen que cuando está fresco) y diferencias de temperatura o humedad entre la fibra superior y la inferior, entre otras. Con el fin de contrarrestar estos esfuerzos, no es suficiente el proporcionar un espesor adecuado, sino proyectar juntas longitudinales y transversales que impidan un fisuramiento temprano del concreto, estas juntas deben estar diseñadas técnicamente, y se dividen en longitudinales y transversales:

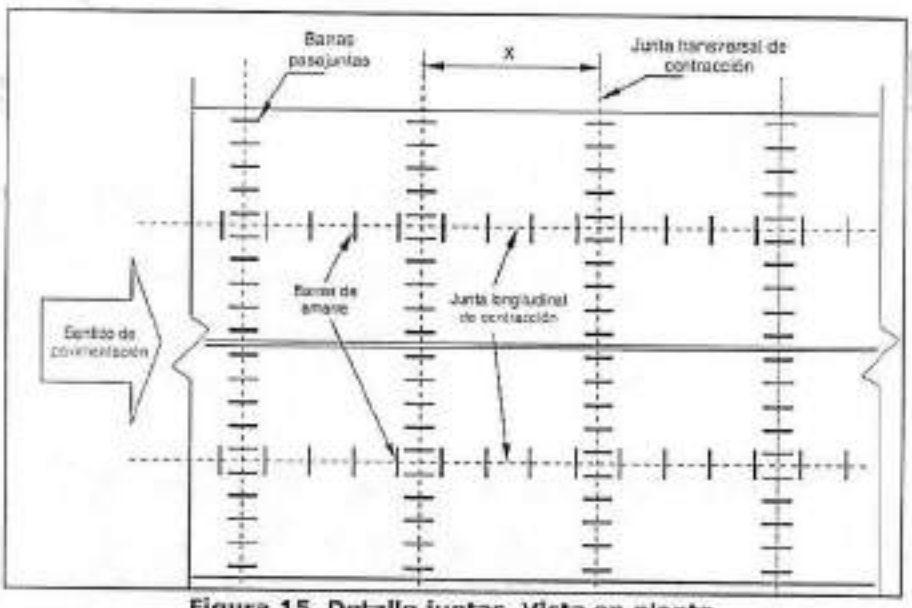


Figura 15. Detalle juntas. Vista en planta
Fuente: Manual Pemex para diseño de pavimentos en concreto rígido. 2004.

7.3.1. Juntas longitudinales.

Se colocarán juntas longitudinales para dividir la calzada en dos franjas iguales con lo cual se facilita la construcción del pavimento, sin embargo, estas juntas se dotarán de

barras de anclaje para impedir que se desplacen las losas de un carril, respecto a las del otro y para resistir la fuerza de tracción causada por la fricción generada entre la losa y el conjunto de subrasante más material granular.

Se recomienda emplear la siguiente tabla para la escogencia de las barras de anclaje, en función del espesor de pavimento adoptado:

Espesor de losa (cm)	Barras de Φ9.5 mm (3/8")				Barras de Φ12.7 mm (1/2")				Barras de Φ15.9 mm (5/8")			
	Longitud (cm)	Separación entre barras según carril (cm)			Longitud (cm)	Separación entre barras según carril (cm)			Longitud (cm)	Separación entre barras según carril (cm)		
		3.05 m	3.35 m	3.65 m		3.05 m	3.35 m	3.65 m		3.05 m	3.35 m	3.65 m
Acero de fy=1.875 kgf/cm2 (40000 Psi)												
15.00		80	75	65		120	120	120		120	120	120
17.50		70	60	55		120	110	100		120	120	120
20.00	45	60	55	50	60	105	100	90	70	120	120	120
22.50		55	50	45		55	85	80		120	120	120
25.00		45	45	40		85	80	70		120	120	120
Acero de fy=2.800 kgf/cm2 (60000 Psi)												
15.00		120	110	100		120	120	120		120	120	120
17.50		105	95	85		120	120	120		120	120	120
20.00	65	90	80	75	85	120	120	120	100	120	120	120
22.50		80	75	65		120	120	120		120	120	120
25.00		70	65	60		120	115	110		120	120	120

Tabla 16. Recomendaciones para la selección de las barras de anclaje.
Fuente: Instituto Colombiano de Productores de Cemento (I.C.P.C). Pavimentos de Concreto, Manual de Diseño, Piloto Ltda., Medellín, 1996.



Figura 16. Detalle junta longitudinal.
Fuente: Manual Pemex para diseño de pavimentos en concreto rígido. 2004.

7.3.2. Juntas transversales.

Con el fin de controlar las grietas del concreto causadas por fenómenos de retracción, de fraguado del hormigón y por las acciones climáticas: temperatura y humedad, las juntas transversales se colocarán en la unión de cada placa y se complementarán con la

colocación de pasadores de carga, que son, barras de acero cortas y lisas con un límite de fluencia mínimo de 60KSI, metidas en el concreto fresco.
Las dovelas, para poder cumplir con su objetivo, deben ser fáciles de instalar, lisas y al menos dos terceras partes de su longitud deben estar recubiertas con un material antiadherente, con el propósito de no restringir los desplazamientos horizontales de las losas. Además, deben ser resistentes a la fatiga y a la corrosión.

Se recomienda emplear barras de acero liso tal como se muestra en la siguiente tabla acorde a las alternativas planteadas:

Espesor del pavimento	Diametro del pasador		Longitud total	Separacion entre centro
(mm)	(mm)	(pulg)	(mm)	(mm)
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	3/4	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
210 - 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Tabla 17. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga.
Fuente: American Association of State of Highway and Transportation AASHTO. Guide for Design of Pavements Structures 1986. Washington: AASHTO 1986, P.V.

A continuación, se presentan los detalles típicos de la construcción de juntas:



Figura 17. Detalle junta transversal.
Fuente: Manual Pemex para diseño de pavimentos en concreto rígido 2004.

8. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

8.1. Método de la PCA.

8.1.1. Factor de seguridad.

Teniendo en cuenta que las vías a diseñar presentan volumen de tránsito pesado bajo, se adopta un factor de seguridad de carga igual a 1.00.

8.1.2. Mejoramiento de la subrasante.

Se hace necesaria la realización de un mejoramiento teniendo en cuenta el valor obtenido de CBR de diseño (2.15%) por debajo del 5%. A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

a (cm)	10.80
ES (Kg/cm²)	224.55
hm (cm)	**30.00**
Em (Kg/cm²)	673
Ecc (Kg/cm²)	519.45
CBR subrasante (%)	**2.15**
n	1.55
CBR subrasante mejorada %	**7.0**

Tabla 18. Cálculos para el mejoramiento de la subrasante.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

Dónde:
a: Radio de la huella (cm).
Es: Módulo de la subrasante (Kg/cm2).
hm: Espesor del reemplazo (cm).
Em: Módulo del material de mejoramiento (Kg/cm2).
Ecc: Módulo del sistema combinado (Kg/cm2).

El espesor de mejoramiento requerido es igual a 0.30 m correspondiente a piedra rajón sobre geotextil. El mejoramiento recomendado se muestra en la siguiente figura:

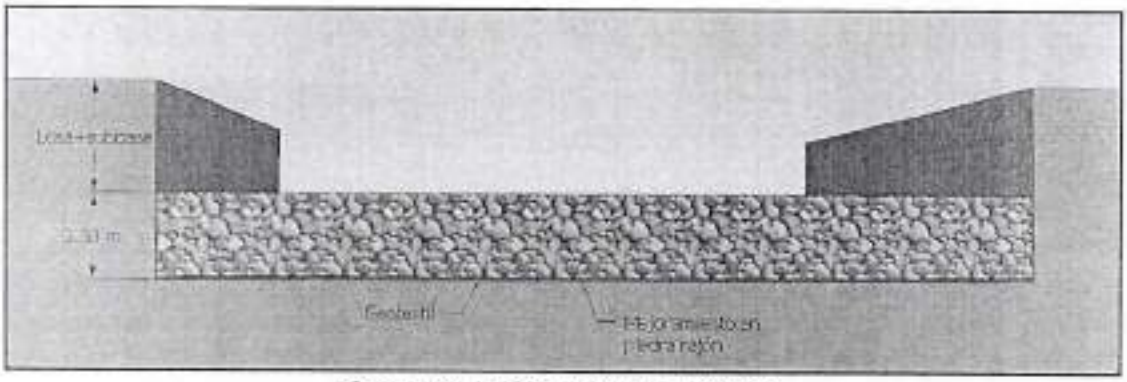


Figura 18. Mejoramiento a realizar.
Fuente: Elaborado por la presente consultoria, con ayuda de la herramienta SketchUp.

8.1.3. Módulo de reacción de la subrasante.

Para el CBR mejorado determinado en el estudio de suelos numeral 4.3, igual a 7.00% se obtiene un valor de módulo de reacción igual a 47 Mpa/m.

8.1.4. Módulo de reacción del Soporte K combinado (Subrasante – Subbase).

Con el módulo de reacción K de la subrasante igual a 47 Mpa/m, se estima el K combinado en función de espesores tentativos de subbase, los cuales se muestran a continuación:

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

K de la subrasante (Mpa/m)	Espesor subbase (mm)	K combinada subrasante – subbase (Mpa/m)
47	200	60.8
47	250	67.2
47	300	74.4
47	350	81.6

Tabla 19. Resumen de los valores obtenidos de K combinados.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

Se recomienda la utilización de un geotextil en la parte inferior y a los lados de la capa de subbase granular con el fin de disminuir la erosionabilidad del material y evitar así el fenómeno del bombeo.

Nota: *Los materiales de subbase de la zona frecuentemente son susceptibles al realizarles una prueba de colapso como se muestra en el anexo 1, debido a esto se recomienda la utilización de geotextil para protección de la subbase granular, sin embargo, se puede omitir su uso si la subbase granular cumple con los requisitos dados*

por el INVIAS en el artículo 320-13 y al realizar el ensayo de potencial de colapso INV E-157-13 este resulta sin ningún grado de colapso de acuerdo con la tabla 157-1.

8.1.5. Determinación del espesor de concreto.

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos en el software PCA, descartando los resultados obtenidos por encima del mínimo permitido en función de los requerimientos de fatiga y erosión (menores a 100%):

Espesor de la subbase	K de la Subrasante combinada	Espesor de losa	Módulo de rotura	Consumo (%)	
(mm)	(Mpa/m)	(mm)	(Mpa)	Fatiga	Erosión
200	60.8	190	3.8	211.34	2.42
200	**60.8**	**200**	**3.8**	**62.19**	**1.57**
200	60.8	210	3.8	20.70	1.03
250	67.2	200	3.8	45.71	1.50
200	60.8	220	3.8	6.65	0.68
250	67.2	210	3.8	15.42	0.98
300	74.4	200	3.8	33.60	1.44
350	81.6	190	3.8	81.83	2.17
200	60.8	230	3.8	1.50	0.45
250	67.2	220	3.8	4.56	0.65
300	74.4	210	3.8	11.23	0.94
350	81.6	200	3.8	25.54	1.39
200	60.8	240	3.8	0.14	0.30
250	67.2	230	3.8	0.84	0.43
300	74.4	220	3.8	2.97	0.61
350	81.6	210	3.8	8.25	0.90
200	60.8	250	3.8	0.00	0.20
250	67.2	240	3.8	0.04	0.28
300	74.4	230	3.8	0.42	0.40
350	81.6	220	3.8	1.92	0.59
250	67.2	250	3.8	0.00	0.18
300	74.4	240	3.8	0.00	0.26
350	81.6	230	3.8	0.19	0.38
300	74.4	250	3.8	0.00	0.17
350	81.6	240	3.8	0.00	0.25
350	81.6	250	3.8	0.00	0.16

Tabla 20. Resultados arrojados de la estructura del pavimento software BS-PCA (UNICAUCA). Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

Analizando los resultados obtenidos en función de los requerimientos de fatiga y erosión, se obtiene como sección eficiente la mostrada a continuación:

Descripción de la vía	Espesor de subbase (mm)	Espesor losa (mm)	Módulo de rotura (Kg/cm²)	Fatiga (%)	Erosión (%)
BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE	200	200	38	62.19	1.57

Tabla 21. Alternativa eficiente determinada con el método de la PCA.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

8.2. Método de la AASHTO.

8.2.1. Desviación normal estándar Zr.

Según la clasificación vial dada en el POT del municipio la vía se clasifica como local, debido a esto se toma un nivel de confiabilidad del 80%, para el cual la desviación normal estándar es -0.841.

8.2.2. Error estándar So.

Por tratarse de una construcción nueva en pavimento rígido, se toma un valor de error estándar igual a 0.35.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

8.2.3. Índice de servicio y su variación.

El índice de servicio inicial Po para pavimento rígido se toma de 4.50, valor estimado en los pavimentos del ensayo AASHTO. Para el índice de serviciabilidad final se toma un valor de 2.50 por tratarse de carreteras, es decir, el ΔPSI que depende de la calidad de la construcción será igual a 2.00.

8.2.4. Coeficiente de drenaje CD.

Se toma un valor de 1.00 debido a las características de drenaje de la zona que se consideran buenas al demorar 1 día el agua en ser evacuada.

8.2.5. Coeficiente de transferencia de carga, J.

Para estimar el coeficiente de transferencia de carga J, se debe determinar si se tiene en cuenta o no las bermas de concreto unidas o losas ensanchadas las cuales reducen las tensiones y deformaciones en una losa. Es por eso que se usan valores menores de J. La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de concreto unida es

porque se supone que los vehículos no transitarán por ellas, en este caso como se proyectan vías estrechas este efecto no se tendrá en cuenta.

En este caso se considera un valor del coeficiente de transferencia de carga igual a 3.10, siendo este el valor máximo para este tipo de pavimentos.

8.2.6. Módulo de reacción efectivo de la losa.

La losa del pavimento estará apoyada sobre una subbase granular de 200 mm de espesor, según esto y teniendo en cuenta la Tabla 15, el factor de perdida de soporte igual a 1.00.

Realizando el procedimiento descrito en el numeral 7.2.6 se obtiene un valor de módulo de reacción efectivo de 28 Mpa/m, o lo que es lo mismo 103.04 PCI.

8.2.7. Determinación del espesor de concreto.

A continuación, se muestra una imagen del programa al introducir las variables y obtener el resultado del espesor:



Tabla 22. Resultados arrojados de la estructura del pavimento software AASHTO.
Fuente: Elaborada por la presente consultoria, con ayuda del software AASHTO.

A continuación, se resumen los resultados obtenidos:

Descripción de la vía	Espesor de subbase (mm)	Espesor de losa (mm)	Módulo de rotura (Kg/cm²)
BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE	200	140	38

Tabla 23. Alternativa eficiente determinada por el método AASHTO.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

8.3. Estructura de pavimento.

Los métodos utilizados corresponden a la PCA y la AASHTO, ambos válidos, sin embargo, el valor obtenido por el método AASHTO no se considera viable por su bajo valor el cual no cumple con las condiciones necesarias de esfuerzos y deformaciones, por lo tanto, se tiene como estructura óptima la obtenida por la PCA, la cual se resume a continuación:

Descripción de la vía	Espesor de subbase (mm)	Espesor losa (mm)	Módulo de rotura (Kg/cm²)
BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE	200	200	38

Tabla 24. Alternativa eficiente determinada por el método PCA.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

Se deben implementar las recomendaciones dadas en cuanto a la protección de la subbase y el mejoramiento. La siguiente figura muestra la estructura de pavimento recomendada:

Estudios Geotécnicos y Ambientales

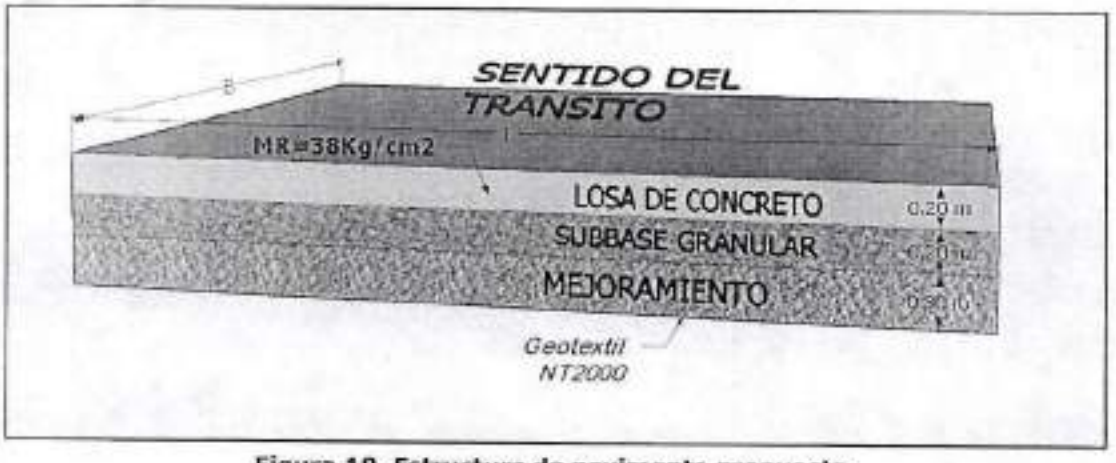


Figura 19. Estructura de pavimento propuesta.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría, con ayuda de la herramienta SketchUp.

8.4. Dimensiones de la losa de concreto.

Los criterios para determinar la longitud de diseño de las losas rectangulares son:

a) Criterio Ideal: Longitud = Ancho, losas cuadradas.
b) Longitud de la losa= 25 veces su espesor.
c) Longitud de la losa= 1.25 veces el ancho del carril.

Para losas rectangulares se toma el menor valor entre los 3 criterios mencionados, para una losa de 20 cm de espesor y un ancho del carril de 3.50 m (longitud establecida en el diseño geométrico del proyecto):

a) Criterio ideal: B=3.50 = L.

b) Longitud de la losa: 25 x D= 25 x 20 cm = 500 cm= 5.00 m. Sin embargo, se descarta el uso de este criterio al no cumplir la relación de esbeltez.

c) Longitud de la losa: Ancho del carril x 1.25 = 3.50 m x 1.25 = 4.37 m.

Por lo tanto, en el diseño geométrico proyectado se pueden utilizar losas de 3.50 m de ancho y longitud variable entre 3.50 y 4.30 m. Con la longitud máxima se tiene una relación de esbeltez como se muestra:

$$RE = \frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}} = \frac{4.30\ m}{3.50\ m} = 1.23 < 1.25$$

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

8.5. Diseño de juntas.

A continuación, se muestran las recomendaciones de las barras de anclaje y pasadores de carga a utilizar, según el espesor de pavimento estimado:

Barras de anclaje				
fy (KSI)	**Espesor del pavimento (mm)**	**Longitud (cm)**	**Diámetro barras (pulg)**	**Separación entre barras según carril (cm)**
60	200	85	1/2	120

Tabla 25. Resumen características de las barras de anclaje.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

Pasadores de carga				
fy (KSI)	**Espesor del pavimento (mm)**	**Diámetro del pasador (pulg)**	**Longitud total (mm)**	**Separación entre centros (mm)**
60	200	1	350	300

Tabla 26. Resumen características de los pasadores de carga.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

La siguiente figura muestra la estructura de pavimento con dimensiones tolerables y de forma esquemática el acero de refuerzo:

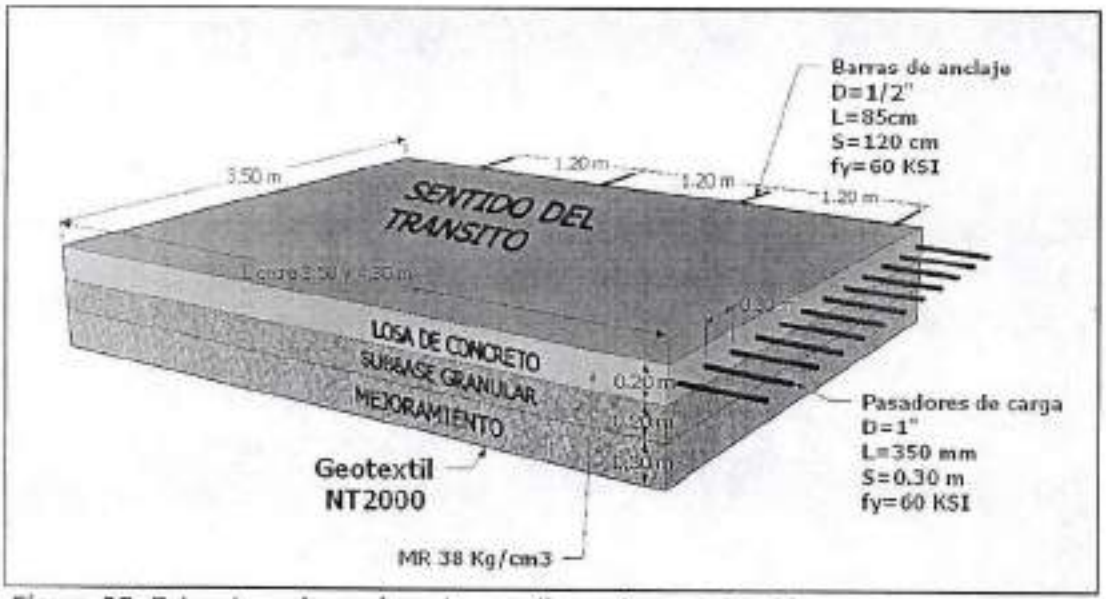


Figura 20. Estructura de pavimento con dimensiones tolerables y acero de refuerzo. Fuente: Elaborado por la presente consultoría, con ayuda de la herramienta SketchUp.

8.6. Esfuerzos y deflexiones en las losas de concreto.

Se calculan los esfuerzos y las deflexiones en el borde, en el interior y en la esquina de la losa, de manera que los esfuerzos en dichos puntos no superen el valor admisible y garantizar que la losa actúe de manera adecuada ante las solicitudes de carga impuestas por el tránsito y el medio ambiente.

El análisis se realiza para la condición crítica con L máxima igual a 4.30 m.

8.6.1. Calculo de esfuerzos por alabeo.

Siguiendo las fórmulas propuestas por westergaard se obtuvo el esfuerzo interior máximo en el centro en sentido longitudinal y lateral a través de la siguientes formulas

$$\sigma_x = \frac{E * \alpha_t * \Delta t}{2 * (1 - \mu^2)} * (C_x + \mu * C_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E * \alpha_t * \Delta t}{2 * (1 - \mu^2)} * (C_y + \mu * C_x)$$

Donde:

σ_x= Esfuerzo interior máximo por alabeo en la dirección X (Kg/cm²).

σ_Y= Esfuerzo interior máximo por alabeo en la dirección Y (Kg/cm²).

E= Modulo de elasticidad del concreto (Kg/cm²).

α_t= Coeficiente de expansión térmica del concreto (/°C).

Δt= Diferencia de temperatura entre la cara superior y la inferior de la losa (°C.

μ= Relación de Poisson del concreto.

C_x y C_x= Factores de corrección por losa infinita.

Siendo $\Delta t = \delta_t * H$

Donde:

δ_t = Gradiente de temperatura durante el día (°C/cm).

H = Espesor del pavimento (cm).

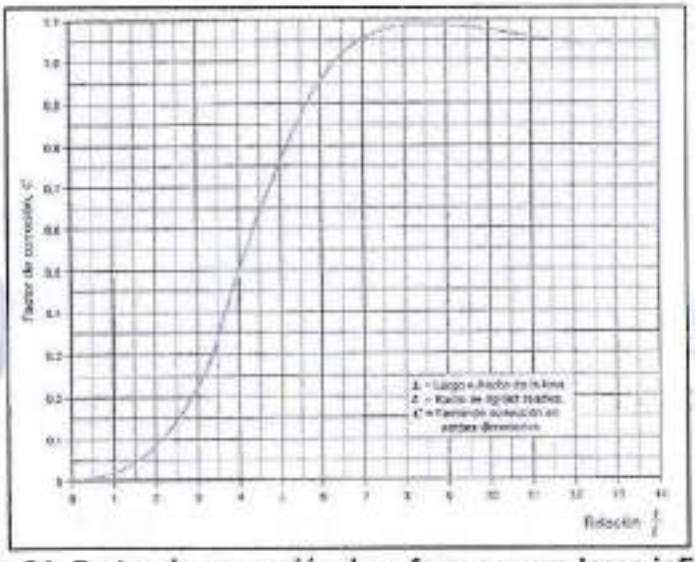


Figura 21. Factor de corrección de esfuerzos para losas infinitas.
Fuente: Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimento para carreteras, volumen II.

Los factores de corrección son obtenidos de la curva creada por Bradbury, donde se relaciona la longitud en el sentido x o y con el radio de rigidez relativa, valor resultante de la siguiente ecuación.

$$\ell = \left[\frac{Eh^3}{12 * (1-\mu^2) * k}\right]^{0.25}$$

ℓ = Radio de rigidez relativa (cm).

E = Modulo de elasticidad del concreto (kg/cm²).

h = Espesor de la losa (cm).

μ = Relación de Poisson del concreto.

K = Modulo de reacción de la subrasante (kg/cm²/cm).

Para el cálculo del esfuerzo en el borde a la mitad de la losa es:

$$\sigma = \frac{C * E * \alpha_t * \Delta t}{2}$$

Donde, σ y C dependen de la dirección X o Y.

Para el cálculo del esfuerzo en la esquina de la losa es:

$$\sigma_t = \frac{E * \alpha_t * \Delta t}{3 * (1 - \mu)} * \left(\sqrt{\frac{a}{l}}\right)$$

8.6.2. Calculo de esfuerzos y deflexiones por carga en la esquina de la losa.

Aplicando las fórmulas por el método de aproximación de westergaard para un radio del área cargada de 15 cm y considerando para el análisis una relación de Poisson de 0.15 y un semieje de la carga referencia que es de 80KN (8.2 toneladas), se obtuvieron los siguientes esfuerzos.

a) Calculo de esfuerzos y deflexiones por carga en la esquina de la losa.

Las formulaciones se muestran a continuación:

$$\sigma_e = \frac{3P}{h^2}\left[1 - \left(\frac{a * \sqrt{2}}{\ell}\right)^{0.6}\right]$$

$$\Delta_e = \frac{P}{kl^2}\left[1.1 - 0.88\left(\frac{a * \sqrt{2}}{\ell}\right)\right]$$

Donde:

σ_e = Esfuerzo en la esquina de la losa (Kg/cm²).
Δ_e =Deflexión en la esquina de la losa (cm).
P = Carga aplica (Kg).
h = Espesor de la losa (cm).
a = Radio del área circular de carga (cm).
ℓ = Radio de rigidez relativa (cm).

b) Calculo de esfuerzos y deflexiones por carga en el interior de la losa.

Las formulaciones se muestran a continuación:

$$\sigma_i = \frac{0.316P}{h^2}\left[4log\left(\frac{\ell}{b}\right) + 1.069\right]$$

$$\Delta_i = \frac{P}{8k\ell^2}\left\{1 + \frac{1}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{a}{2\ell}\right) - 0.673\right]\left(\frac{a}{\ell}\right)^2\right\}$$

Siendo $b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h$.

Donde:

σ_i = Esfuerzo en el interior de la losa (Kg/cm²).

Δ_i =Deflexión en el interior de la losa (cm).

P = Carga aplica (Kg).

h = Espesor de la losa (cm).

ℓ = Radio de rigidez relativa (cm).

c) Calculo de esfuerzos y deflexiones por carga en el borde de la losa.

Las formulaciones se muestran a continuación:

$$\sigma_b = \frac{0.572P}{h^2}\left[4log\left(\frac{\ell}{b}\right) + 0.359\right]$$

$$\Delta_b = \frac{0.431P}{kl^2}\left[1 - 0.349\frac{a}{\ell}\right]$$

Siendo $b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h$.

Donde:

σ_b = Esfuerzo en el interior de la losa (Kg/cm²).

Δ_b =Deflexión en el borde de la losa (cm).

P = Carga aplicada (Kg).

h = Espesor de la losa (cm).

ℓ = Radio de rigidez relativa (cm).

8.6.3. Resultados obtenidos.

A continuación, se muestran los parámetros y resultados obtenidos de esfuerzo y deflexiones para el espesor de losa determinado en el numeral 8.3, igual a 0.19 m.

Parámetros par cálculos de esfuerzos y deflexiones	
Módulo de Poisson	0.15
Módulo de elasticidad del concreto (Kg/cm²)	195655.948
Módulo de Rotura (Kg/cm²)	38

Módulo de reacción - Conjunto Subrasante mejorada y Subbase (Kg/cm²/cm)	6.19
Espesor Losa (m)	0.20
Longitud (m)	4.30
Base (m)	3.50
Gradiente de temperatura durante el día ∂t (°C/cm)	0.55
Coeficiente de dilatación térmica del concreto /°C	0.0000108
a Radio del área circular de carga (cm)	15
P carga aplicada (Kg)	4078.8

Tabla 27. Resumen Parámetros par cálculos de esfuerzos y deflexiones.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

- **Esfuerzos por alabeo:**

Δt	Radio rigidez relativa - ρ (cm)	L/ρ	B/ρ	Cx	Cy
11.00	68.13	6.3	5.1	0.94	0.74

Borde de la losa (Kg/cm2)	Interior de losa (Kg/cm2)	Esquina de losa (Kg/cm2)	(σmáx/MR)*100	Revisión
10.92	X = 12.50	4.28	32.88	cumple
	Y =10.47		28.75	cumple

Tabla 28. Resultados de los cálculos de esfuerzos por alabeo.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

- **Esfuerzos y deflexiones por carga en la esquina de la losa:**

A continuación, se presentan los cálculos de esfuerzos y deformaciones por carga, siendo *b= 14.03.*

Posición en la losa	Esfuerzo de tensión σ(Kg/cm²)	Mr Módulo de Rotura (Kg/cm²)	(σ/MR)*100	Revisión	(Δe/MR) mm
Esquina de la losa (kgf)	15.40	38.00	40.53	cumple	1.17
Interior de la losa (Mpa)	12.28		32.32	cumple	0.17
Borde de la losa (Mpa)	18.08		47.57	cumple	0.56

Tabla 29. Resultados de los cálculos de esfuerzos y deflexiones por carga.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

De acuerdo con las deflexiones calculadas se puede apreciar que los puntos débiles de la losa son las esquinas (mayor deflexión), lo cual se puede traducir en fractura si los esfuerzos actuantes son mayores a los admisibles.

En cuanto a los esfuerzos de tensión en la losa de concreto estimados, se observa que son menores al esfuerzo a la flexo-tracción del concreto (relación porcentual σ/MR<55%), por lo tanto, la losa diseñada se considera de dimensiones ancho, largo y espesor adecuados, previendo un buen comportamiento tanto estructural como funcional durante el periodo de servicio.

Nota: *Se analizan los esfuerzos y deformaciones del espesor dado por el método de la AAHSTO con el fin de corroborar que dicho valor es inviable, igual a 0.14 m:*

Posición en la losa	esfuerzo de tensión σ(Kg/cm2)	MR Módulo de Rotura (Kg/cm²)	(σ/MR)*100	Revisión	(Δe/MR) mm
Esquina de la losa (kgf)	26.03	38.00	68.51	No cumple	1.80
Interior de la losa (Mpa)	21.96		57.79	No cumple	0.29
Borde de la losa (Mpa)	31.27		82.29	No cumple	0.94

Tabla 30. Resultados de los cálculos de esfuerzos y deflexiones por carga.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

Como se puede observar la relación entre los esfuerzos de tensión en la losa de concreto y esfuerzo a la flexo-tracción del concreto (relación porcentual σ/MR) supera el valor permisible, por tanto, se descarta su uso.

9. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN.

9.1. Concreto rígido.

Los agregados del concreto rígido son los siguientes:

- **Cemento.**

El cemento a utilizar debe cumplir lo indicado en el Artículo 501-22, tabla 501-1:

Denominación	Norma	DENOMINACIÓN
Cemento hidraulico especificado por desempeño	NTC 121	- Propiedades de desempeño. - No hay restricciones sobre la composicion del cemento o sus ingredientes.
Cemento Portland	ASTM C150	- Ingredientes - Proporciones - Composicion quimica - Requisitos fisicos
Cemento hidraulico adicionado (nota)	ASTM C595	

Tabla 31. Especificaciones de cemento hidráulicos.
Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS-22. Artículo 501-22, Tabla 501-1.

Nota: se excluyen los cementos tipo IS (> 70).

- **Agregado fino.**

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.3.1 del artículo 630-22.

El agregado fino deberá satisfacer el requisito granulométrico señalado en la tabla 630-2 y se resume a continuación:

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075
	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100	Nro. 200
% PASA	100	95-100	80-100	50-85	25-60	5-30	0-10	0-3 (Nota 1 y nota 2)

Tabla 32. Franja granulométrica del agregado para concreto hidráulico.
Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS. Artículo 630-22, Tabla 630-2.

Nota 1: para concretos que no estén sometidos a abrasión, el límite para el material más fino que el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) debe ser de máximo cinco por ciento (5 %).

Nota 2: para finos obtenidos de trituración u otros agregados reciclados, si el material más fino que el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) compuesto de polvo de trituración, esencialmente libre de arcillas o esquistos, este límite puede ser cinco por ciento (5 %) para concretos sometidos a abrasión y máximo siete por ciento (7 %) para concretos no sujetos a abrasión.

El agregado fino deberá cumplir además con los requisitos de calidad indicados en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Composición		
Granulometría: -Análisis granulométrico de los agregados finos -Material que pasa tamiz de 0.075 mm (nro. 200)	E-213 E-214	Ver tabla 630-2
Módulo de finura (Nota 1)	E-213	2.3 - 3.1
Durabilidad (O)		
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota 2): -Sulfato de sodio -Sulfato de magnesio	E-220	 10 15
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%). (Nota 3)	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%) -Cuando la apariencia superficial del concreto sea de importancia, máxima (%) -Todos los demás concretos, máximo (%)	E-211	 0.5 1.0

Contenido de material orgánica (F)		
Color más oscuro permisible	E-212	Igualal color de referencia o de la placa orgánica nro. 3
Caracteristicas químicas (O)		
Contenido de sulfatos, expresado como SO4, máximo (%)	E-233	1.2

Tabla 33. Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico. Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS. Articulo 630-22, Tabla 630-1.

Nota 1: Adicional a esta especificación, es necesario probar el comportamiento competente del material en obras ya construidas. Durante el período de construcción no se permiten variaciones mayores de dos décimas (0,2) en el módulo de finura, con respecto al valor correspondiente a la curva adoptada para la fórmula de trabajo. Cuando se presenten variaciones superiores del módulo de finura, se debe revisar que no haya modificaciones a la curva adoptada de trabajo y se deben chequear afectaciones en los diseños. Si hay variaciones, se debe ajustar una nueva curva de trabajo y se debe corregir el diseño en caso de que haya lugar.

Nota 2: El ensayo se puede realizar con sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Nota 3: El porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznables puede ser hasta de un tres por ciento (3 %) siempre y cuando no afecte la durabilidad y la resistencia del concreto.

- **Agregados gruesos.**

El agregado fino deberá satisfacer el requisito granulométrico señalado en la tabla 500-1 y se resume a continuación:

TIPO DE GRADACIÓN			TAMIZ (mm/U.S. Standard)								
			63	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36
INVIAS		ASTM C33	2 1/2"	2"	11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
			Pasa tamiz (%)								
AG-1	Fracción 1: 2" a 1"	3	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-
	Fracción 2: 1" a No.4	57	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
AG-2	Fracción 1: 1 1/2" a 3/4"	4	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-
	Fracción 2: 3/4" a No.4	67	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
AG-3	1" a No.4	57	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
AG-4	2" a No.4	357	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
AG-5	1 1/2" a No.4	467	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-

AG-6	1" a 1/2"	5	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-
AG-7	1" a 3/8"	56	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-
AG-8	3/4" a 3/8"	6	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-

Tabla 34. Franja granulométrica del agregado para concreto hidráulico.
Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS. Artículo 500-22, Tabla 500-1.

El agregado grueso deberá cumplir además con los requisitos de calidad indicados en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Dureza (O)		
Desgaste en la quina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	E-218	
- 500 revoluciones		40
- 100 revoluciones		8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	30
Resistencia mecánica por el método de 10% de finos	E-224	
valor en seco, mínimo (KN)		90
Relación húmeda/seco, mínimo (%)		75
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220	
Sulfato de sodio		12
Sulfato de magnesio		8
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	0.5
Geometría de las partículas (F)		
Partículas facturadas mecánicamente (una cara), mínimo (%)	E-227	60
Índice de alargamiento, máximo (%)	E-230	25
Índice de aplanamiento, máximo (%)	E-240	25
Características químicas (o)		
Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como SO4, máximo (%)	E-233	1

Tabla 35. Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico.
Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS. Artículo 500-22, Tabla 500-2.

- **Agua.**

Rige lo establecido en el numeral 630.2.1.4 del artículo 630-22.

El agua que se emplee para las mezclas de concreto hidráulico deberá estar limpia y libre de aceite, ácidos, azúcar, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial al concreto terminado. En cualquier caso, se debe cumplir los requisitos dados en la tabla 630-5 y 630-6.

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO	LÍMITES
Ph	NTC 3651 (ASTM D1293)	6.5
Resistencia a la compresión, en cubos de mortero, porcentaje (%) mínimo en control a 7 días	NTC 220 (ASTM C109)	90
Tiempo de fraguado, desviación respecto al tiempo de control (horas: minutos)	NTC 118 (ASTM C403)	de 1:00 inicial a 1:30 final

Tabla 36. Requisitos para el agua de mezcla.
Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS. Artículo 630-22, Tabla 630-5.

CONTAMINANTE	NORMA DE ENSAYO ASTM	LÍMITE MÁXIMO (ppm) (Nota 1)
Ión Cloro (CL)	C114	500 (Nota 2) o 1000 (Nota 3)
Sulfatos (SO4)	C114	3000
Álcalis como (Na2O+0.658 K2O) (Nota 4)	C114	600
Sólidos totales	C1603	50000

Tabla 37. Limites químicos opcionales para el agua de mezclado.
Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS. Artículo 630-22, Tabla 630-6.

Nota 1: ppm corresponde a partes por millón.
Nota 2: Concreto pretensado.
Nota 3: Concreto reforzado.
Nota 4: Se pueden emplear también las normas ASTM D4191 y ASTM D4192.

9.2. Subbase.

Se definen tres (3) clases de subbase granular en función de la calidad de los agregados (clases A, B y C), si los documentos no indican otra cosa, la clasificación de la subbase se realizará en función del nivel de tránsito del proyecto:

CLASE DE SUB-BASE GRANULAR	NIVEL DE TRÁNSITO
Clase A	NT3

Clase B	NT2
Clase C	NT1

Tabla 38. Uso típico de las diferentes clases de subbase granular.
Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS. Artículo 320-22, Tabla 320-1.

Los agregados deben cumplir los siguientes requisitos:

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUB-BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
DUREZA (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones (%)	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	30	35	-
Durabilidad (o)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220			
Sulfato de sodio		12	12	12
Sulfato de magnesio		18	18	18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 Y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	40	30	30

Tabla 39. Requisitos de los agregados para subbases granular.
Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS. Artículo 320-22, Tabla 320-2.

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm/U.S. Standard)								
	50.0	37.5	25.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 1/2"	1"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200
	%PASA								
SBG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SGB-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0%	7%				6%			3%

Tabla 40. Franjas granulométricas del material de subbases granular.

Fuente: Especificaciones técnicas del INVIAS. Articulo 320-22, Tabla 320-3.

10.CONCLUSIONES.

De acuerdo con el estudio se generan las siguientes conclusiones:

- Después de hacer una evaluación de la estructura del pavimento se tiene como espesores de diseño los mostrados en la siguiente figura:



Figura 22. Estructura de pavimento propuesta.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría, con ayuda de la herramienta SketchUp.

- Para la modelación en el software PCA se tuvo en cuenta un módulo de rotura del concreto de 38 Kg/cm², el efecto combinado de la subbase y la subrasante para el cálculo del módulo de reacción k, el factor de seguridad de carga y las repeticiones de carga esperadas.
- Con la estructura de pavimento diseñada se cumple con los requisitos de cargas dados por el tránsito, y con los esfuerzos y deformaciones generados.
- De acuerdo con el artículo 100 del INVIAS y el número de ejes equivalentes estimado en el estudio de transito realizado para el presente proyecto, se tiene que el nivel de transito clasifica como NT1, por lo que la subbase granular debe ser clase C y el módulo de rotura del concreto de 38 Kg/cm².
- Las características de la mezcla recomendada para la subbase granular en el estudio geológico del presente proyecto, la clasifican como una subbase tipo A, lo cual excede el requerimiento para subbase del proyecto. En nuestra zona esto va en detrimento de las condiciones económicas del proyecto puesto que no contamos con una gran variedad ni con los equipos necesarios para fabricar a un costo diferencial subbases de tipo A, B y C. Las diferentes canteras y la metodología de extracción logran materiales casi que uniformes en sus

condiciones geomecánicas. Teniendo en cuenta todo lo anterior, esta mezcla se utilizará indistintamente para cualquier requerimiento de subbase.

11. RECOMENDACIONES.

De acuerdo con el estudio se generan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda que el geotextil a utilizar sea no tejido (NT 2000) y cumpla con los requisitos dados en las tablas 231-1 y 231-2, esta información se encuentra consignada en el artículo 231 -13 del INVIAS.
- Los materiales de la zona son susceptibles de colapso, debido a esto se recomienda la utilización de geotextil para protección de la subbase granular en la parte inferior y a los lados de la capa, sin embargo, se puede omitir su uso si la subbase granular cumple con los requisitos dados por el INVIAS en el artículo 320-22 y al realizar el ensayo de potencial de colapso INV E-157-13 este resulta sin ningún grado de colapso de acuerdo con la tabla 157-1.

Las recomendaciones hacen énfasis a la construcción del pavimento, en razón a que este elemento de la vía representa gran parte de la estabilidad del mismo, por lo tanto, debe hacerse con toda la técnica y personal especializado disponible:

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

- Antes de realizar los trabajos tendientes a la construcción del proyecto, se debe replantear el proyecto a partir de la cartera de localización y rasante, el eje de la vía y sus bordes para determinar la congruencia de abscisas y cotas con los elementos adyacentes a la vía.
- Se recomienda hacer control estricto de la superficie o nivelación del material granular antes de instalar el concreto con equipo topográfico, con el fin de evitar dejar desniveles o depresiones que generen en el concreto esfuerzo de tensión inadmisible para el mismo.
- El comportamiento de una estructura de pavimento ante las solicitudes de carga es función de la calidad de cada uno de los materiales empleados en la construcción, por lo tanto, se debe verificar que cumplan con los requisitos dados por el INVIAS artículo 500-22, 320-22 y 300-22.
- Antes de instalar el concreto se recomienda la revisión del Módulo de Reacción K con el fin de verificar las hipótesis del diseño. Para tal fin se propone realizar ensayos de placa controlada.
- Se recomienda reforzar las losas irregulares (geometrías con diferencias superiores al 8% en su largo y ancho de la losa) con acero de refuerzo corrugado de ½" cada 0.20 m en ambas direcciones, ubicadas a 1/3 del espesor en la fibra

superior e inferior, como medida de control de autofisuración del concreto. También, se recomienda el empleo de este refuerzo en las losas que hacen parte de zonas de paraderos, considerando los efectos de frenado y aceleración de los vehículos.

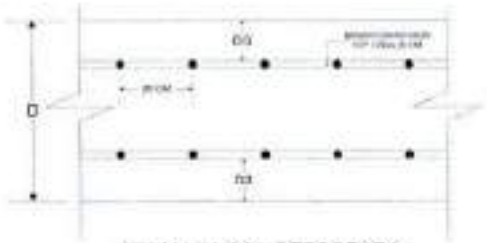


Figura 23. Detalle de las losas reforzadas.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría.

- Los pasadores se deben colocar en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía y a la superficie del pavimento, con una tolerancia medida en el extremo del pasador que no sobrepase los 10.00 mm respecto a la posición teórica. La manera más eficiente de lograr esto, es la de colocar los pasadores sobre unos soportes hechos con varillas, que quedan embebidos en el concreto.
- El concreto alrededor de los pasadores debe tener la misma compactación que en el resto del pavimento, para evitar la creación de zonas en las cuales la resistencia a la tracción sea más baja y por ende se convierta en un área que se puede fisurar.
- Para la construcción de las juntas transversales, debe realizarse inicialmente un primer corte dentro del tiempo oportuno llamado "ventana de corte", de tal forma que se realice en el momento justo, ni antes, teniendo en cuenta que el concreto no soporte el peso de los equipos y se deforme, ni después que genere fisuración por retracción del concreto. Esta ventana de corte está sujeta a las condiciones climáticas, velocidad del viento, temperatura del concreto, etc. Es necesario llevar a cabo un tramo de prueba para definir el tiempo de la "ventana de corte" que puede estar entre 6 y 8 horas. Adicionalmente, se debe tener cuidado con la limpieza y adecuación de la junta y tipo de sello a colocar, son importantes para garantizar la vida útil del sello.
- Se recomienda el empleo de protectores de juntas o sellos temporales con el fin de evitar agrietamiento tipo desportillamientos en las juntas que, comúnmente se encuentran en los pavimentos recién construidos.
- Se recomienda dar servicio al tráfico hasta que el concreto alcance una resistencia superior al 100% de la de diseño.

- Se recomienda realizar mantenimiento rutinario y preventivo del pavimento para conservar la estructura hasta el periodo final del pavimento, tales como: sellos de juntas, limpieza, revisión de las obras de drenaje, etc.
- Al realizar la modulación de las losas de concreto hidráulico, con el fin de controlar los esfuerzos de alabeo por temperatura se recomienda limitar la esbeltez de la misma, es decir, la relación entre la longitud de la losa (Lx) y su ancho (Ly). Lo ideal es diseñar losas cuadradas, con una relación de esbeltez igual a 1.00, para losas rectangulares la relación de esbeltez debe ser menor a 1.25, según las recomendaciones de la AASHTO.

12. BIBLIOGRAFÍA.

Como parte de este estudio se utilizó la siguiente bibliografía:

- Instituto geográfico Agustín Codazzi, "Estudio general de suelos y zonificación de tierras – Departamento de Córdoba". Imprenta nacional de Colombia, Bogotá D.C. 2009.
- Plan de ordenamiento territorial del municipio de Montería córdoba.
- Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G. "Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones". 8ª Edición.
- Braja M. Das, "Fundamentos de ingeniería de cimentaciones", Thomson Learning.
- MS-1. Asphalt Institute, Thickness Dessing, 1981.
- Juárez Badillo. E. y Rico, A. Mecánica de suelo, Tomo 1; Fundamentos de la mecánica de suelos, U.N.A.M, México, 1969, 3ª. Edición.
- Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS de 1998 y según el método AASHTO 2002.
- Metodología Portland Cement Association PCA 1984.
- Canadian Portland Cement Association. Thinckness Design for Concrete Hoghway and Street Pavements.
- Manual Pemex para diseño de pavimentos en concreto rígido. 2004.
- Instituto Colombiano de Productores de Cemento (I.C.P.C). Pavimentos de Concreto, Manual de Diseño, Piloto Ltda., Medellín, 1996.
- American Association of State of Highway and Transportation AASHTO. Guide for Design of Pavements Structures 1986. Washington: AASHTO 1986, P.V.
- Especificaciones técnicas del INVIAS 2022.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

13. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

El presente documento se elabora en función de unas condiciones de tránsito adoptadas y consideraciones particulares de los suelos y capas existentes. Es indispensable que durante las obras se lleven a cabo los controles de calidad del caso, en cuanto a idoneidad de los materiales y garantizar los espesores del diseño. Cualquier cambio que se realice sin previo conocimiento por parte del consultor durante las obras no garantizará tales situaciones.

En los casos en que las verificaciones durante la etapa de obra arrojen la conclusión de que los supuestos de diseño se han alterado, deberá llevarse a cabo el correspondiente proceso de ajuste de los diseños, de modo que éstos se validen.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Ingeniero Civil
Especialista en mecánica de suelos y cimentaciones.
Especialista en ingeniería ambiental.
Especialista en Prevención, atención y reducción de desastres.
Especialista en gerencia para ingenieros.
M.P. 1320251172BLV
Montería, noviembre de 2022.

ANEXO 1
ENSAYOS DE ÍNDICE DE COLAPSO

	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO	V1
	PROYECTO:	CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO
	CONTRATISTA:	MUNICIPIO DE MONTERÍA
	CANTERA:	AGREGAR S.A.S
	NORMA INVIASE -157 -07	

DATOS DEL ANILLO			CONTENIDO DE AGUA	ANTES DEL ENSAYO	DESPUES DEL ENSAYO	PARAMETROS DEL ENSAYO		INICIAL	FINAL
						PESO UNITARIO SECO MAXIMO	gr/cm3	1.80	
DIAMETRO	50	mm	PESO ANILLO + SUELO HUMEDO (g)	330.60	334.8	HUMEDAD OPTIMA	%	18.8	
			PESO ANILLO Y SUELO SECO (g)	283.36	302.9	90% DEL PESO UNITARIO SECO MAXIMO	gr/cm3	1.622	1.622
AREA	1963.5	mm2	PESO ANILLO (g)	124.2	124.2	GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)		2.65	
			PESO DEL SUELO (g)	67.16	78.7	ALTURA DE SOLIDOS Hs	cm	1.513	
ALTURA Ho	22.000	mm	CONTENIDO DE AGUA %	28.85	35.1	VOLUMEN DE SOLIDOS Vs	cm3	25.249	
VOLUMEN TOTAL	43196.0	mm3	SATURACIÓN %	107.0	100.3	VOLUMEN DE VACIOS Vv	cm3	31.51	

APLICACIÓN DE PRESIONES									
PRESIONES APLICADAS (kg/cm2)	LECTURA DEL DIAL DE DEFORMACIÓN		DEFORMACIÓN	ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA	ALTURA FINAL DE LA MUESTRA Hf	ALTURA DE VACIOS Hv=Hf-Hs	DEFORMACION %	dH-i	Hi
	INICIAL di	FINAL df							
1.0	0.00000	0.00000	0.00000	22.00000	22.00000	0.48749	0.00000		
12.7	0.00000	0.01501	0.02921	22.00000	21.97079	0.48497	0.00155		
25.5	0.02921	0.05842	0.02921	21.97079	21.94158	0.48165	0.00266		
51.0	0.05842	0.11085	0.04239	21.94158	21.87935	0.47542	0.00548		
101.9	0.12265	0.29464	0.17399	21.87935	21.70536	0.45802	0.01599		
200.0	0.29464	0.45974	0.16510	21.70536	21.54026	0.44151	0.02090		
INUNDACIÓN DE LA MUESTRA								0.68326	0.68326
200.0	0.45974	1.34300	0.88326	21.54026	20.85700	0.57939	0.05196		
402.6	0.68580	0.76708	0.08128	20.85700	20.77572	0.56506	0.03487		
815.2	0.00000	0.00000	0.00000	20.77572	20.77572	0.56506	0.00000		
							Ieo	0.08104	
							Ie=	0.03106	

Ing. Civil NATHALIA HERNANDEZ
M.P. 223201668650DR

Ing. Geotecnista PABLO CASTILLA NEGRETE
M.P. 130225-17250LV

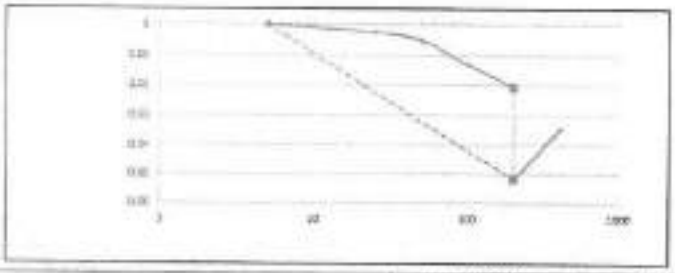
PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE ESTE LABORATORIO

301/R

	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO	V1
PROYECTO:	CONSTRUCCION DE PAVIMENTO RIGIDO	
COMITENTE(S):	VILLA OPIO DE MONTEVERDE	
CANTERA:	AGREGAR S.A.S	

NORMA: INVIAS E - 151 -13

TIEMPO EN MINUTOS	LECTURA DEL DIAL DE DEFORMACIÓN								
	LECTURAS DEL DIAL DE PRESIÓN (Cm)								
	0-0.5	0-12	12-25	25-51	51-101	101-203	203-304	305-407	407-814
0.1	0.00000	0.00000	0.02903	0.09842	0.12305	0.23464	0.40260	0.68586	0.00000
0.25							0.40260	0.69347	0.00000
0.5							0.40260	0.69859	0.00000
1							0.50350	0.70013	0.00000
2							0.64586	0.71329	0.00000
4							0.64586	0.71590	0.00000
8							0.64981	0.72008	0.00000
15	0.00000	0.01786	0.03283	0.10178	0.13088	0.24586	0.50371	0.71498	0.00000
30	0.00000	0.02547	0.03481	0.10480	0.13178	0.24450	0.50480	0.71838	0.00000
60	0.00000	0.02821	0.03602	0.10580	0.13464	0.25071	0.50586	0.73814	0.00000
120							0.50695	0.74295	0.00000
240							0.57531	0.74302	0.00000
480							0.76200	0.74948	0.00000
1440							1.24000	0.76208	0.00000



NOMBRE DEL ENSAYO		ESPECIFICACIÓN (INT. 330 TABLA 330-1)	RESULTADO	CUMPLE - NO CUMPLE
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO	SUELO ADECUADO	2.0 %	0.0 %	NO CUMPLE

Ing. CIVIL ANTONIO ROMERO RAMIREZ
M.P. 2220238780-CQD

Ing. Geotecnia PABLO CASTILLA VESGUETE
M.P. 1320251172-N

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE ESTE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO

V1

PROYECTO:	CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO
CONTRATISTA:	MUNICIPIO DE MONTERÍA
CANTERA:	LOMA GRANDE

NORMA INVIAS E -157 -13

DATOS DEL ANILLO			CONTENIDO DE AGUA	ANTES DEL ENSAYO	DESPUES DEL ENSAYO	PARAMETROS DEL ENSAYO		INICIAL	FINAL
						PESO UNITARIO SECO MAXIMO	g/cm3	1.91	
DIAMETRO	50.48	mm	PESO ANILLO Y SUELO HUMEDO (g)	196.31	196.5	HUMEDAD OPTIMA	%	12	
			PESO ANILLO Y SUELO SECO (g)	187.87	186.77	90% DEL PESO UNITARIO SECO MAXIMO	g/cm3	1.563	1.787
AREA	2001.4	mm2	PESO ANILLO (g)	124.46	124.46	GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)		2.692	
			PESO DEL SUELO (g)	63.41	72.31	ALTURA DE SOLIDOS hs	cm	1.172	
ALTURA (h)	20.223	mm	CONTENIDO DE AGUA %	13.15	12.1	VOLUMEN DE SOLIDOS Vs	cm3	20.574	
VOLUMEN TOTAL	40467.8	mm3	SATURACIÓN %	55.9	58.5	VOLUMEN DE VACIOS Vv	cm3	14.01	

APLICACIÓN DE PRESIONES									
PRESIONES APLICADAS (kpa)	LECTURA DEL DIAL DE DEFORMACIÓN		DEFORMACIÓN	ALTURA INICIAL DE LA MUESTRA	ALTURA FINAL DE LA MUESTRA Hf	ALTURA DE RADIOS Hv=Hf-Hs	DEFORMACION %	df-di	dv
	INICIAL di	FINAL df							
5.0	0.00000	0.00000	0.00000	20.22000	20.22000	0.84970	0.00000		
12.7	0.00000	0.00254	0.00254	20.22000	20.21746	0.84945	0.00013		
25.5	0.00254	0.00508	0.00254	20.21746	20.21492	0.84920	0.00013		
51.0	0.00508	0.16256	0.15748	20.21492	20.05744	0.83345	0.00804		
101.9	0.16256	0.44450	0.28194	20.05744	19.77550	0.80525	0.02198		
204.0	0.44450	0.69850	0.25400	19.77550	19.52150	0.78023	0.03140		
INUNDACIÓN DE LA MUESTRA								0.69500	0.69500
204.0	0.93500	1.27000	0.83500	19.96900	19.86100	0.72273	0.04281		
407.6	1.86012	2.49174	0.54202	19.96000	19.43898	0.96869	0.12929		
813.2	0.00000	0.00000	0.00000	19.43898	19.43898	0.96869	0.00000		
							Ip= (df-di)/Ho	0.03140	
							Ien	Δh/Ho		0.03140

Ing. Civil NATHALIA HERNANDEZ
M.P. 2202216876SCOR

Ing. Geotecnista PABLO CASTILLA NEGRETE
M.P. 1320391172BLV

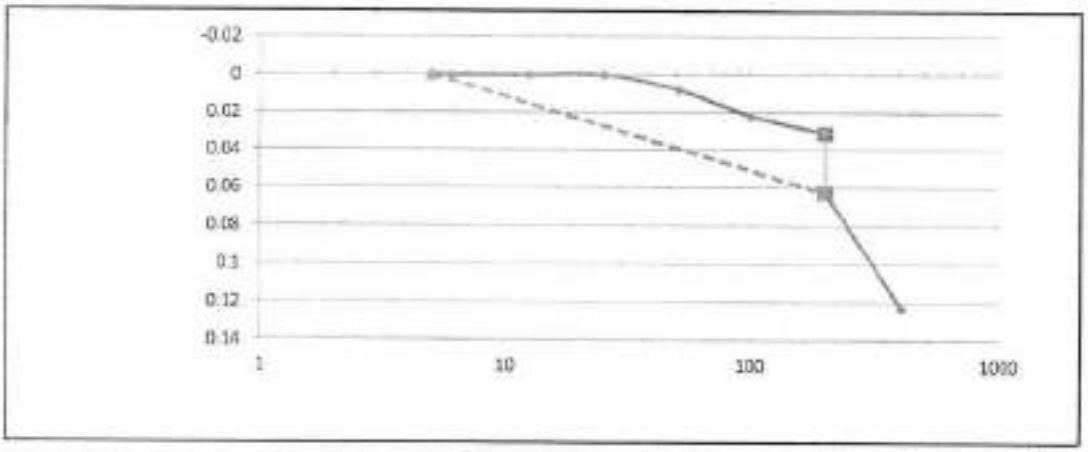
PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE ESTE LABORATORIO

502/x

	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO	V1
	PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO	
	CONTRATISTA: MUNICIPIO DE MONTERÍA	
	CANTERA: LOMA GRANDE	

NORMA INVIAS E -157 -07

TIEMPO EN MINUTOS	LECTURA DEL DIAL DE DEFORMACIÓN								
	INCREMENTOS DE PRESIÓN (Kpa)								
	0.0-5	5-12	12-25	25-51	51-102	102-203	102-203	203-407	407-814
0.1	0.00000	0.00000	0.00254	0.00508	0.16256	0.44450	0.79085	1.95072	0.00000
0.25							0.83068	1.96088	0.00000
0.5							0.81280	1.98120	0.00000
1							0.95504	1.99644	0.00000
2							0.98806	2.01168	0.00000
4							1.00584	2.02438	0.00000
8							1.01854	2.03962	0.00000
15	0.00000	0.00127	0.00381	0.14224	0.42672	0.61468	1.02870	2.04978	0.00000
30	0.00000	0.00254	0.00381	0.15240	0.43688	0.62738	1.03886	2.06248	0.00000
60	0.00000	0.00254	0.00508	0.16256	0.44450	0.63500	1.04902	2.07518	0.00000
120							1.06172	2.09042	0.00000
240							1.07442	2.10312	0.00000
480							1.09220	2.11836	0.00000
1440							1.27000	2.48174	0.00000



NOMBRE DEL ENSAYO		ESPECIFICACIÓN (ART. 220 TABLA 220.1)	RESULTADO	CUMPLE - NO CUMPLE
DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO Ie	SUELO ADECUADO	≤ 2 %	3.140%	NO CUMPLE

Ing. Civil NATHALIA HERNANDEZ
M.P. 22202186785COR

Ing. Geotecnista PABLO CASTILLA NEGRETE
M.P. 1320261172BLV

PROHIBIDA LA REPRODUCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE ESTE LABORATORIO

TRANSITO - COMUNA 8

CONVIAL | IAS | MJS | Ingeniería Vial

503

CONSORCIO CONSULTORÍA VIAL MONTERÍA
NIT 901847594-7

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL A REALIZAR POR LA SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA DEL MUNICIPIO DE MONTERÍA

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. CMA-SIM-017-2024

CONSORCIO CONSULTORÍA VIAL MONTERÍA

INFORME ESTUDIO DE TRANSITO

GRUPO PROYECTO 1A

Versión 1

NOVIEMBRE DE 2024

BOGOTÁ D.C.

Carrera 22 N° 104-30
Edificio Town Center - Oficina 404 B
Bogotá - Colombia

T: +57 (1) 220 1077
M: +57 300 587 35 99
E: gerencia.convial@gmail.com

CONTROL DE VERSIONES

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DE MODIFICACIÓN	FOLIOS
Versión 1	Noviembre - 2024	Versión Inicial	87

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

CONSORCIO CONSULTORÍA VIAL MONTERÍA		
Elaboró	Revisó	Aprobó
Ing. Jorge Antonio González Ayus	Ing. Jorge Antonio González Ayus	Ing. Manuel José Meza Soto
Especialista	Especialista	Director

SUPERVISION / INTERVENTORÍA
Revisó
Ing. Ingrid Sofia Morales Ávila
Alcaldía de Montería Gerente de Proyectos

Contenido

Introducción 8
1 Objetivos 9
1.1 Objetivo general 9
1.2 Objetivos específicos 9
2 Antecedentes 10
2.1 Localización del proyecto 10
2.2 Descripción del proyecto 10
3 Marco de referencia 12
3.1 Variable tránsito 12
3.2 Tránsito promedio diario, TPD 12
3.3 Estimación del tránsito inicial 13
3.4 Factor carril [Fca] 13
3.5 Factor dirección [Fd] 14
3.6 Modelo de repeticiones esperadas 14
4 Metodología 16
4.1 Trabajo de campo 16
4.2 Análisis de ingeniería 16
5 Resultados 17
5.1 Ubicación de las estaciones de conteo 17
5.2 Aforos vehiculares 17
5.2.1 Barrio Villa Fátima 17
5.2.2 Barrios Santa Bárbara 23
5.2.3 Barrio El Edén II 34
5.2.4 Barrio San José 45
5.2.5 Barrios El Mora y Altos de la Floresta 70
6 Conclusiones 86
7 Limitaciones del estudio 86
Bibliografía 87

Índice de tablas

Tabla 1. Características de la vía a pavimentar 10
Tabla 2. Estimación del factor carril 14
Tabla 3. Resumen de aforo vehicular realizado en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41. 17
Tabla 4. Composición vehicular en la salida de barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41. 18
Tabla 5. Demanda máxima. 20
Tabla 6. Volumen horario máximo en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41. 21
Tabla 7. Tránsito inicial en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41. 22
Tabla 8. Número de ejes equivalentes según PCA en la salida de barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41. 22
Tabla 9. Resumen de aforo vehicular realizado en la Calle 46 entre la Cra. 18 y la Vía Montería – San Carlos. 23
Tabla 10. Resumen de aforo vehicular realizado en la Cra. 18B entre calles 44ª y 48 24
Tabla 11. Composición vehicular Calle 46 entre la Cra. 18 y la Vía Montería – San Carlos 24
Tabla 12. Composición vehicular Cra. 18b entre calles 44ª y 48. 25
Tabla 13. Demanda máxima. 28
Tabla 14. Volumen horario máximo en calle 46 entre la cra. 18 y la vía Montería – San Carlos. 29
Tabla 15. Demanda máxima. 30
Tabla 16. Volumen horario máximo en la cra. 18b entre calles 44ª y 48. 31
Tabla 17. Tránsito inicial en la calle 46 entre carrera 18 y vía Montería – San Carlos 31
Tabla 18. Tránsito inicial en la carrera 18b entre calles 44ª y 48. 33
Tabla 19. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 18b entre calles 44ª y 48. 33
Tabla 20. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 15b entre calles 28 y 34. 34
Tabla 21. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 16b entre calles 29 y 38. 35
Tabla 22. Composición vehicular carrera 15b entre calles 29 y 34. 35
Tabla 23. Composición vehicular Cra. 16b entre calles 29 y 38 36
Tabla 24. Demanda máxima. 39
Tabla 25. Volumen horario máximo en carrera 15b entre calles 29 y 34. 40
Tabla 26. Demanda máxima. 41
Tabla 27. Volumen horario máximo en la cra. 16b entre calles 29 y 38. 42
Tabla 28. Tránsito inicial en la carrera 15b entre calles 29 y 34. 42
Tabla 29. Número de ejes equivalentes según PCA en la en la carrera 15b entre calles 29 y 34 43
Tabla 30. Tránsito inicial en la carrera 16b entre calles 29 y 38 44
Tabla 31. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 16b entre calles 29 y 38. 44

Tabla 32. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 16c entre calles 38 y 39. 45
Tabla 33. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 18 entre calles 38 y 39. 46
Tabla 34. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 20 entre calles 38 y 39 46
Tabla 35. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 22 entre calles 38 y 39 47
Tabla 36. Resumen de aforo vehicular realizado en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29 47
Tabla 37. Composición vehicular carrera 16c entre calle 38-39. 48
Tabla 38. Composición vehicular carrera 18 entre calle 38-39 49
Tabla 39. Composición vehicular carrera 20 entre calle 38-39 49
Tabla 40. Composición vehicular carrera 22 entre calle 29 y 38 50
Tabla 41. Composición vehicular calle 39 entre carrera 22 y calle 29 51
Tabla 42. Demanda máxima. 55
Tabla 43. Volumen horario máximo en carrera 16C entre calles 38 y 39. 56
Tabla 44. Demanda máxima. 57
Tabla 45. Volumen horario máximo en la cra. 18 entre calles 38 y 39. 58
Tabla 46. Demanda máxima. 58
Tabla 47. Volumen horario máximo en la cra. 20 entre calles 38 y 39. 59
Tabla 48. Demanda máxima. 60
Tabla 49. Volumen horario máximo en la cra. 22 entre calles 29 y 38. 61
Tabla 50. Demanda máxima. 61
Tabla 51. Volumen horario máximo en la cra. 18 entre calles 38 y 39. 62
Tabla 52. Tránsito inicial en la carrera 16c entre calles 38 y 39. 63
Tabla 53. Número de ejes equivalentes según PCA en la en la carrera 16c entre calles 38 y 39. 63
Tabla 54. Tránsito inicial en la carrera 18 entre calles 38 y 39. 64
Tabla 55. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 18 entre calles 38 y 39. 65
Tabla 56. Tránsito inicial en la carrera 20 entre calles 38 y 39. 66
Tabla 57. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 20 entre calles 38 y 39. 66
Tabla 58. Tránsito inicial en la carrera 22 entre calles 29 y 38. 67
Tabla 59. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 22 entre calles 29 y 38. 68
Tabla 60. Tránsito inicial en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29. 69
Tabla 61. Número de ejes equivalentes según PCA en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29. 69
Tabla 62. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 16A entre calles 40 y 41. 70
Tabla 63. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 15D entre calles 40a y 40b. 71
Tabla 64. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 15c entre calles 40a y 41. 71
Tabla 65. Composición vehicular carrera 16a entre calles 40 y 41 72
Tabla 66. Composición vehicular Cra. 15d entre calles 40a y 40b 73
Tabla 67. Composición vehicular Cra. 15c entre calles 40a y 41 73
Tabla 68. Demanda máxima. 77
Tabla 69. Volumen horario máximo en carrera 16a entre calles 40 y 41 78

Tabla 70. Demanda máxima. 78
Tabla 71. Volumen horario máximo en la cra. 15d entre calles 40a y 40b. 79
Tabla 72. Demanda máxima. 80
Tabla 73. Volumen horario máximo en la cra. 15c entre calles 40a y 41. 81
Tabla 74. Tránsito inicial en la carrera 16a entre calles 40 y 41. 81
Tabla 75. Número de ejes equivalentes según PCA en la en la carrera 16ª entre calles 40 y 41. 82
Tabla 76. Tránsito inicial en la carrera 15d entre calles 40a y 40b. 83
Tabla 77. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 15d entre calles 40a y 40b. 83
Tabla 78. Tránsito inicial en la carrera 15c entre calles 40a y 41. 84
Tabla 79. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 15c entre calles 40a y 41. 85

Índice de figuras

Figura 1. Imagen satelital del sector 10
Figura 2. Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano. 11
Figura 3. Categorización de camiones 12

Introducción

En el presente informe se exponen los resultados de los conteos vehiculares desarrollados en el mes de agosto del año 2024 en los tramos viales donde se proyecta la construcción de pavimento en concreto rígido de 2.50 km de vías urbanas distribuidos en seis (6) barrios de la comuna 8 en el municipio de Montería, departamento de Córdoba. Con base en la información registrada en el aforo, se elaboró la distribución porcentual de los vehículos que circularon en el periodo de observación del sitio. Seguidamente se realizó un análisis de ingeniería que arrojó el número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el año base y la proyección de estos en el periodo de diseño.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

- Determinar el número de ejes simples equivalentes de 8.2 ton acumulados y el espectro de cargas para un periodo de diseño de 20 años, en los tramos viales ubicado en vías de barrios pertenecientes a las comunas 7 y 8, donde se proyecta la construcción de pavimento en concreto rígido, en el municipio de Montería, departamento de Córdoba.

1.2 Objetivos específicos

- Adelantar conteos de tránsito para definir el tránsito de diseño expresado en términos de ejes equivalentes de 8.2 ton y espectro de cargas teniendo en cuenta los pesos máximos por tipo de eje de acuerdo con Artículo 4.3.3.8. Peso bruto vehicular de la RESOLUCIÓN NÚMERO 20223040045295 de 04-08-2022 "Por medio del cual se expide la Resolución Única Compilatoria en materia de Tránsito del Ministerio de Transporte".

- Determinar la distribución porcentual de vehículos livianos y comerciales en los tramos viales ubicados en vías de barrios pertenecientes a la comuna 8.

2 Antecedentes

2.1 *Localización del proyecto*

El proyecto se encuentra localizado en los barrios Villa Fátima, Santa Bàrbara, El Edén II, El Mora, Altos de la Floresta y San José, pertenecientes a la comuna 8, zona urbana del municipio de Montería, Departamento de Córdoba:

Figura 1. Imagen satelital del sector



Fuente: Google (2024) Montería, Córdoba, Colombia]. Google Earth. https://www.googleearth.com.

2.2 *Descripción del proyecto*

El proyecto consiste en la construcción de pavimento rígido en concreto hidráulico en aproximadamente 2.50 km de vías urbanas, distribuidos en barrios de la comuna 8, como se muestra en la tabla 1. La anterior descripción se realiza con base en la información suministrada por el solicitante y la visita de campo.

Tabla 1. Características de la vía a pavimentar

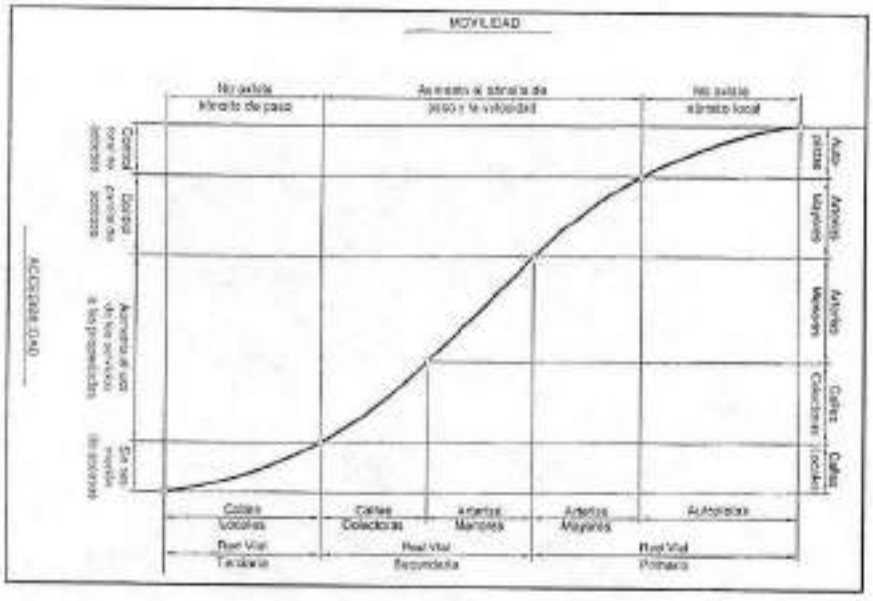
Comuna	Barrios	Longitud del tramo (km)	Dirección
8	Villa Fátima	0.320	Salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Calle 41

	Santa Bárbara, El Edén II, El Mora, Altos de la Floresta y San José	2.173	Calle 46 entre la Cra 18 y la Vía Montería – San Carlos
			Cra 8b entre las Calles 44ª y 46
			Cra 15b entre las Calles 29 y 34
			Cra 16ª entre las Calles 40 y 41
			Cra 15d entre las Calles 40ª y 40B
			Cra. 15c entre las calles 40ª y 41
			Cra 16b entre las Calles 29 y 38
			Cra 16c entre las Calles 38 y 39
			Cra 18 entre las Calles 38 y 39
			Cra 20 entre las Calles 38 y 39
			Cra 22 entre las Calles 28 y 29
			Calle 39 entre la Cra 22 y la Calle 29

Como característica principal se evidencia la circulación en una calzada, con un carril en cada sentido, con un ancho variable según la geometría establecida por el trazado actual. Así mismo, la vía actualmente presenta una topografía variable, su estructura existente corresponde a una vía en afirmado, esta se encuentra en condiciones regulares, ya que presenta deterioro en un alto porcentaje de la longitud proyectada para la intervención.

Las vías urbanas se jerarquizan según su función en autopistas, arterias, colectoras y de servicio.

Figura 2. Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano.



Fuente: Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G. "Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones". 8ª Edición.

Según la ubicación e importancia de las vías donde se va a realizar el proyecto estas se denominan vías terciarias locales.

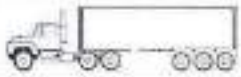
3 Marco de referencia

3.1 Variable tránsito

Una de las variables de mayor importancia en el diseño de estructuras de pavimento es el tránsito, el cual, se categoriza en vehículos livianos (autos) y vehículos comerciales (buses y camiones), siendo los vehículos comerciales los que generan los deterioros de la vida útil del pavimento durante el periodo de diseño. Por lo anteriormente expuesto se hace necesario estimar la cantidad de vehículos comerciales que transitan actualmente en la zona del proyecto, así mismo, estimar el crecimiento de la circulación de vehículos una vez el tramo vial a intervenir entre en funcionamiento y de esta manera proyectar la circulación durante el periodo de diseño de la estructura de pavimento.

Para el análisis de la variable transito se desarrollan conteos vehiculares en la zona de influencia del proyecto, para lo cual se categorizaron en autos y vehículos comerciales, a su vez estos últimos se subdividieron en buses y camiones. Para la categorización de camiones se adopta la clasificación propuesta por el INVIAS, la cual se muestra a continuación:

Figura 3. Categorización de camiones

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes. Camión sencillo
3		Camión de tres ejes. Doblemaque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Fuente: (INVIAS, 2008)

3.2 Tránsito promedio diario, TPD

Los conteos vehiculares se realizan durante un periodo de tiempo establecido, se registran todos los vehículos que pasan por una sección de la vía (todos los carriles y ambas direcciones), luego se saca un promedio diario, para de esta manera obtener el valor de tránsito promedio diario [TPD]. A partir de la información de los conteos se determina el porcentaje de vehículos livianos (autos) y vehículos comerciales (buses y camiones). Los conteos pueden ser semanales, mensuales e inclusive anuales, en ese caso a la sigla TPD se le incluye el subíndice "s", "m", o, "a" según sea el caso.

3.3 *Estimación del tránsito inicial*

El tránsito en el año cero o inicial (TI) se estima como la suma del tránsito existente (TE), el atraído (Tat), tránsito generado (TG), el tránsito desarrollado (TD) y el crecimiento normal de tránsito (CNT)

$$T_i = TE + Tat + TG \qquad (1)$$

Dónde:

TE: corresponde al TPD resultante de los aforos
Tat: tránsito atraído
TG: tránsito generado

El tránsito existente (TE) se puede determinar a partir de aforos vehiculares sobre el tramo vial a intervenir.

Para la estimación del tránsito atraído (Tat) se debe contar con un amplio conocimiento de la zona de influencia del proyecto en términos de capacidad y de volumen de las vías existentes, así mismo, de los condiciones de origen y destino, ya que la atracción o desvió de una fracción del tránsito de rutas alternas hacia el tramo vial a intervenir se dará por la mejora de las condiciones de servicio.

El crecimiento normal del tránsito es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos.

El tránsito generado (TG) constituye los recorridos vehiculares, diferentes a los desarrollados a través del transporte público, que no se realizarían ante la intervención del tramo vial en estudio. El transito generado se puede categorizar en tránsito 1inducido, tránsito convertido y tránsito trasladado. Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre el 5% y el 25% del tránsito actual, con un período de generación de uno o dos años después de que la carretera se abre al servicio.

3.4 *Factor carril [Fca]*

Para la caracterización de la variable transito empleada en el método de diseño de pavimento rígido propuesto por Portland Cement Association - PCA (1984) se realiza la cuantificación a través de espectros de carga o del número de ejes pesados o comerciales de determinada carga y configuración. Dentro del procedimiento que realiza para la obtención del número de ejes esperados que circulen en el carril de diseño durante el período de diseño se requiere el valor del factor carril [Fca], este parámetro corresponde a la distribución de camiones entre los carriles con el mismo sentido. En carreteras de dos carriles, con un carril por sentido, el valor del factor de distribución direccional es de 1, mientras que para carreteras de dos sentidos, con múltiples carriles por sentido, los valores del factor de distribución por carril (Fca) adoptados son los recomendados por la guía del National Cooperative Higway Research Program (NCHRP), y que se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Estimación del factor carril

Número Total de carriles en cada sentido	Factor de distribución para el carril de diseño (Fca.)
1	1.00
2	0.90
3	0.60
4 o más	0.45

Fuente: ARA, 2004

3.5 Factor dirección [Fd]

Dentro del procedimiento que realiza para la obtención del número de ejes esperados que circulen en el carril de diseño durante el periodo de diseño se requiere el valor del factor dirección [Fd], este corresponde a la distribución porcentual de los vehículos comerciales en cada sentido de circulación, obtenidos de los resultados de un conteo o por observación directa en el campo. Generalmente en el país se asume un 50% en cada sentido, sin embargo en algunos casos la distribución puede variar según las condiciones de tránsito particulares de una vía.

El uso de este factor es fundamental para la caracterización de la variable transito utilizada en el método de diseño de pavimento rígido propuesto por la PCA.

3.6 Modelo de repeticiones esperadas.

Para la estimación del volumen ya sea de vehículos o ejes que circularan por el tramo vial a intervenir durante el periodo de diseño, bastará con determinar la composición vehicular en términos porcentuales y a partir de esta determinar la fracción de cada tipo de vehículo comercial.

El número de ejes equivalentes se determina de la siguiente manera:

$$N_{ejes} = 365 * Fca * Fd * \sum (TPD_i * FEC_i) \qquad (2)$$

Donde:
Fca: factor carril

Fd: factor de proyección
TPDi: Tránsito promedio diario para cada vehículo en el periodo de diseño
FECi: Factor de equivalencia de carga de cada vehículo
365: Número de días de un año

4 Metodología

Con el objeto de dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados, el presente informe se fraccionó en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

4.1 Trabajo de campo

Para la correcta caracterización vehicular del sitio donde se proyecta la construcción de una estructura de pavimento tipo rígido se proponen las siguientes actividades metodológicas en campo:

- Ubicación de las estaciones de conteo
- Aforos vehiculares.
- Observaciones puntuales del sitio

4.2 Análisis de ingeniería

En esta etapa se realiza la tabulación y sistematización de la información recolectada a través de los formatos de conteo. Lo anterior tiene como propósito determinar la distribución vehicular porcentual vehicular en la zona de estudio y la estimación del TPD en el periodo de observación, lo cual, se puede alcanzar mediante las siguientes actividades metodológicas:

- Construcción de la composición vehicular.
- Evaluación de la variación horaria del volumen de tránsito.
- Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda.
- Determinación de TPD en el año base
- Determinación del espectro de carga
- Evaluación del número de repeticiones de ejes simples, tándem y tridem en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

511/2

5 Resultados

5.1 *Ubicación de las estaciones de conteo*

El desarrollo de la actividad de conteo vehicular se ubicó sobre las vías locales a pavimentar.

5.2 *Aforos vehiculares*

Para la obtención de la información requerida con el objeto de cuantificar el tránsito existente de las vías se realizaron aforos vehiculares en un periodo de tres (3) días, los cuales se desarrollaron durante los días 26, 27 y 31 de agosto del año 2024. (Ver anexo, tabla de aforos)

Los registros se desarrollaron desde las 6:00 am hasta las 6:00 pm y los volúmenes se tomaron en periodos de 15 minutos durante las horas de aforo, discriminados en autos, buses y camiones. (También se referenciaron las motos, pero no son tenidas en cuenta para el cálculo del TPDs).

5.2.1 *Barrio Villa Fátima*

A continuación, se muestra el resumen de los resultados en los aforos vehiculares en el barrio Villa Fátima, concretamente en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Calle 41. Anexo al presente informe se encuentra los formatos de campo diligenciados.

Tabla 3. Resumen de aforo vehicular realizado en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	150	148	150	150
BUS	0	0	0	0
C2P	28	32	30	30
C2G	33	36	34	35
C-3	161	160	158	160
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	1	0	2	1
C3-S3	1	1	1	1
MOTOS	0	0	0	0
TOTAL	**374**	**377**	**375**	**377**

Luego tenemos:
TPDs= 377 veh/dia.

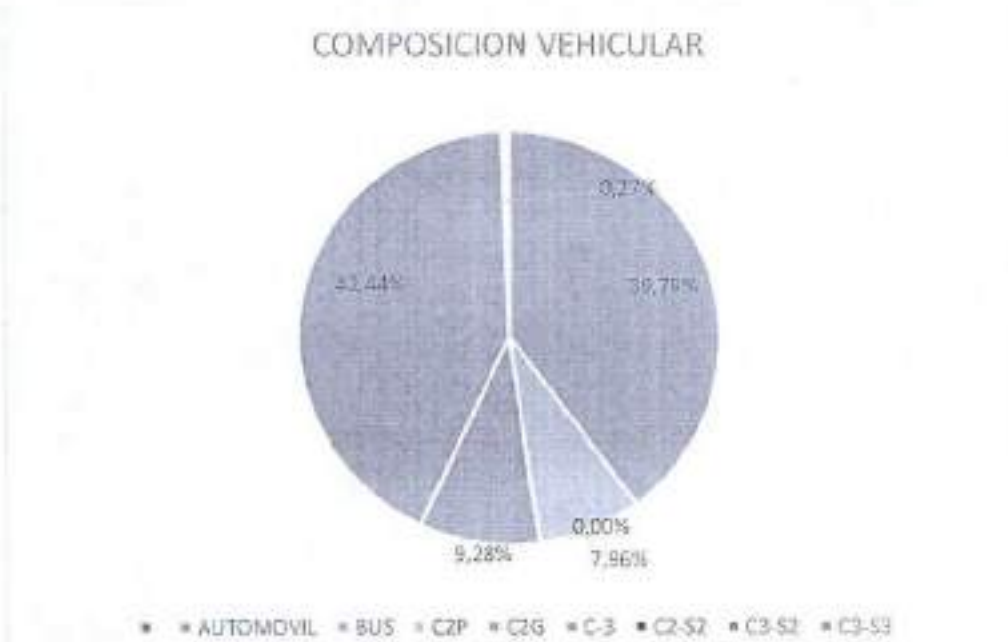
5.2.1.1 *Composición vehicular barrio Villa Fátima.*

La composición vehicular se utiliza para tener una estimación del tipo de vehículos que circulan en la vía en sus condiciones actuales, la cual se expresa en porcentajes. A continuación, se muestra la composición vehicular:

Tabla 4. Composición vehicular en la salida de barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	150	148	150	150	39,79%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	28	32	30	30	7,96%
C2G	33	36	34	35	9,28%
C-3	161	160	158	160	42,44%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	1	0	2	1	0,27%
C3-S3	1	1	1	1	0,27%
TOTAL	**374**	**377**	**375**	**377**	**100%**

Gráfica 1. Composición vehicular en la salida de San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41.



En la vía donde se hizo el aforo, predomina el flujo de camiones con un 60.21%, seguido de vehículos automóviles con un 39.79%, por otro lado tenemos que no hay flujo de buses.

5.2.1.2 *Variación horaria del volumen de tránsito barrio Villa Fátima.*

Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

Según los aforos vehiculares, el día de mayor flujo vehicular 27 de agosto, a continuación, se muestra la variación vehicular de este día:

Gráfica 2. Variación horaria del volumen de tránsito de la vía del día de mayor tráfico en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41.



Las variaciones horarias muestran que, durante el día, los vehículos que más circulan son los camiones y automóviles, por lo tanto, los diseños geométricos deben estar acordes con el vehículo de diseño, en este caso los ya mencionados.

5.2.1.3 *Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda del barrio Villa Fátima.*

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora máxima.

Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})} \qquad (3)$$

Dónde,
FHMD: Factor de la hora de máxima demanda.
VHMD: Volumen horario de máxima demanda.
Qmáx: Volumen máximo.
N: Número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Los valores estimados de hora pico, volumen de hora pico y factor de hora pico, se muestran a continuación por cada grupo trabajado.

Gráfica 3. Variación del volumen de tránsito en un día en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 5. Demanda máxima.

VHMD	49veh/hr
HORA	5-6

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 4. Variación del volumen de tránsito en la hora pico en un día en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 6. Volumen horario máximo en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41.

HORA	VOLUMEN
5:15:00 p. m.	9
5:30:00 p. m.	12
5:45:00 p. m.	13
6:00:00 p. m.	15

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 4,08 valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

5.2.1.4 *Determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño para el barrio Villa Fátima*

Para la estimación del tránsito en el año base se consideró la cercanía del tramo vial a intervenir con vías existentes, se evidenció que la vía donde se proyecta la intervención colinda con dos vías principales (calle 35 y calle 41), con base en esto se asume un porcentaje medio de tránsito atraído, por lo cual, se establece que una vez la vía sea pavimentada es del 23% del tránsito existente. Así mismo, se establece que el transito generado es del 20% del tránsito existente, debido a las mismas razones del tránsito atraído.

A continuación, se muestra el valor del tránsito inicial de la vía:

Tabla 7. Tránsito inicial en la salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41.

Aforo salida San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia Cll 41				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	377	87	75	539
T_i año base				539

A partir de las características de la vía, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 60.21%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 8. Número de ejes equivalentes según PCA en la salida de barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Cll 41.

Tránsito promedio diario [TPD]	539
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$$

AÑO	TPD
2024	539
2025	561
2026	583
2027	606
2028	631
2029	656
2030	682
2031	709
2032	738
2033	767
2034	798
2035	830
2036	863
2037	897
2038	933
2039	971
2040	1010
2041	1050
2042	1092
2043	1136
2044	1181
TPD futuro	16692

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO				
Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
AUTOS	39.75	6803	0	12.898.000
C2P	7.86	1326	0.41	
C2G	9.29	1589	2.40	
C3	42.80	7064	9.77	
C2S3	0.21	36	13.84	
C3S3	0.27	45	11.83	

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehiculo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Tridem
	3.1	6	6.8	11	21	22	24
C2P	242,490		242,490				
C2G		282,702		282,702			
C3		1,292,876				1,292,876	
C2S3		8,225			16,450		
C2S3		8,225				8,225	8,225
TOTAL	242,490	1,593,809	242,490	282,702	16,450	1,301,102	8,225

Numero de vehiculos en el periodo de diseño	
Vehiculo	Cantidad
C2P	242,490
C2G	282,702
C3	1292876
C2S3	8,225
C2S3	8,225

5.2.2 *Barrios Santa Bárbara*

A continuación, se muestra el resumen de los resultados en los aforos vehiculares en el barrio Santa Bárbara, sobre los tramos Calle 46 entre la Cra. 18 y la Vía Montería – San Carlos, Cra 18B entre las Calles 44ª y 48.

Tabla 9. Resumen de aforo vehicular realizado en la Calle 46 entre la Cra. 18 y la Vía Montería – San Carlos.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	55	62	58	65
BUS	0	0	0	0
C2P	10	12	8	10
C2G	9	10	11	10
C-3	3	6	3	4
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
TOTAL	87	90	90	89

Luego tenemos:
TPDs= 89 veh/día

Tabla 10. Resumen de aforo vehicular realizado en la Cra. 18B entre calles 44ª y 48

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	68	64	63	65
BUS	0	0	0	0
C2P	17	13	13	15
C2G	13	14	16	15
C-3	1	1	1	1
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
TOTAL	**99**	**92**	**93**	96

Luego tenemos:
TPDs= 96 veh/dia

5.2.2.1 *Composición vehicular barrio Santa Bárbara.*

La composición vehicular se utiliza para tener una estimación del tipo de vehiculos que circulan en la vía en sus condiciones actuales, la cual se expresa en porcentajes. A continuación, la composición vehicular de los tramos correspondientes,

Tabla 11. Composición vehicular Calle 46 entre la Cra. 18 y la Vía Montería – San Carlos.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	65	62	68	65	73,03%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	10	12	8	10	11,24%
C2G	9	10	11	10	11,24%
C-3	3	6	3	4	4,49%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
MOTO	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	**87**	**90**	**90**	89	100%

Gráfica 5. Composición vehicular Calle 46 entre la Cra. 18 y la Vía Montería – San Carlos.

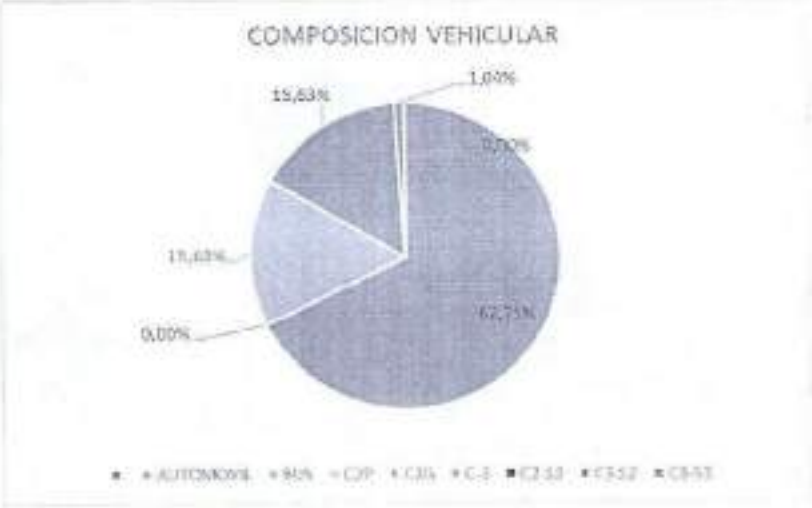


En la vía calle 46 entre carrera 18 y la vía Montería – San Carlos, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 73.00%, seguido de vehículos camiones con un 26.97%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

Tabla 12. Composición vehicular Cra. 18b entre calles 44ª y 48

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	68	64	63	65	67,71%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	17	13	13	15	15,63%
C2G	13	14	16	15	15,63%
C-3	1	1	1	1	1,04%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	99	92	93	96	100%

Gráfica 6. Composición vehicular Cra. 18b entre calles 44ª y 48



En la vía carrera 18b entre calles 44ª y 48, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 67.71%, seguido de vehículos camiones con un 32.29%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

5.2.2.2 *Variación horaria del volumen de tránsito del barrio Santa Bárbara*

Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

Según los aforos vehiculares, el día de mayor flujo vehicular en la calle 46 fue el 31 de agosto, por su parte en la cra. 18b fue el día 26 de agosto, a continuación, se muestra la variación vehicular promedio para cada tramo:

516/2

Gráfica 7. Variación horaria del volumen de tránsito de la Calle 46 entre la Cra. 18 y la Vía Montería – San Carlos.



Gráfica 8. Variación horaria del volumen de tránsito de la Cra. 18b entre calles 44ª y 48



Las variaciones horarias muestran que, durante el día, los vehículos que más circulan por ambos tramos son los automóviles y camiones, por lo tanto, los diseños geométricos deben estar acordes con el vehículo de diseño, en este caso, los antes mencionados.

5.2.2.3 *Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda del barrio Santa Bárbara.*

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto

significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora máxima.

Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})} \quad (4)$$

Dónde,
FHMD: Factor de la hora de máxima demanda.
VHMD: Volumen horario de máxima demanda.
Qmáx: Volumen máximo.
N: Número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Los valores estimados de hora pico, volumen de hora pico y factor de hora pico, se muestran a continuación por cada grupo trabajado.

Gráfica 9. Variación del volumen de tránsito en un día en la calle 46 entre la cra. 18 y la vía Montería – San Carlos.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 13. Demanda máxima.

VHMD	12veh/hr
HORA	5-6

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 10. Variación del volumen de tránsito en un día en la calle 46 entre la cra. 18 y la vía Montería – San Carlos.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 14. Volumen horario máximo en calle 46 entre la cra. 18 y la vía Montería – San Carlos.

HORA	VOLUMEN
5:15:00 p. m.	1
5:30:00 p. m.	1
5:45:00 p. m.	3
6:00:00 p. m.	7

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 1.00, valores que indican que existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

Para la carrera 18b entre calles 44° y 48, tenemos que:

Gráfica 11. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 18b entre calles 44ª y 48.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 15. Demanda máxima.

VHMD	12veh/hr
HORA	5-6

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 12. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 18b entre calles 44ª y 48.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 16. Volumen horario máximo en la cra. 18b entre calles 44ª y 48.

HORA	VOLUMEN
5:15:00 p. m.	4
5:30:00 p. m.	2
5:45:00 p. m.	2
6:00:00 p. m.	4

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 1.00, valores que indican que existen ciertas variaciones del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

5.2.2.4 *Determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño para el barrio Santa Bárbara*

Para la estimación del tránsito en el año base se consideró la cercanía del tramo vial a intervenir con vías existentes, se evidenció que la vía donde se proyecta la intervención colinda la carrera 18 y la vía Montería – San Carlos, con base en esto se asume un porcentaje medio de tránsito atraído, por lo cual, se establece que una vez la vía sea pavimentada es del 23% del tránsito existente. Así mismo, se establece que el transito generado es del 20% del tránsito existente, debido a las mismas razones del tránsito atraído.

A continuación, se muestra el valor del tránsito inicial para la calle 46 entre carrera 18 y la vía Montería – San Carlos:

Tabla 17. Tránsito inicial en la calle 46 entre carrera 18 y vía Montería – San Carlos.

Aforo Cll 46 Cra 18 vía Montería - San Carlos				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	89	20	18	127
T_i año base				**127**

A partir de las características de la vía, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 26.97%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 14. Número de ejes equivalentes según PCA en la calle 46 entre la carrera 18 y la vía Montería – San Carlos.

Tránsito promedio diario [TPD]	127
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$

AÑO	TPD
2024	127
2025	132
2026	137
2027	143
2028	149
2029	155
2030	161
2031	167
2032	174
2033	181
2034	188
2035	196
2036	203
2037	211
2038	220
2039	229
2040	238
2041	247
2042	257
2043	268
2044	278
TPD futuro	3933

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO

Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	73.03	2872	0	871,146
C2P	11.24	442	0.41	
C2G	11.24	442	4.46	
C3	4.49	177	8.77	
C2S2	0.00	0	13.84	
C3S3	0.00	0	11.83	

Número de vehículos en el periodo de diseño

Vehículo	Cantidad
C2P	80676
C2G	80676
C3	32229
C2S2	0
C3S3	0

ESPECTRO DE CARGAS

Vehículo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje tridem
	3.1	6	6.8	11	21	32	34
C2P	80,679		80,679				
C2G		80,679		80,679			
C3		32,229				32,229	
C2S2		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	80,679	112,908	80,679	80,679	0	32,229	0

Para la carrera 18b entre calles 44ª y 48 tenemos:

Tabla 18. Tránsito inicial en la carrera 18b entre calles 44ª y 48.

Aforo Cra. 18B Cll 44A y 48				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	96	22	19	137
T_i año base				137

A partir de las caracteristicas de la via, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 32.29%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 19. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 18b entre calles 44ª y 48.

Tránsito promedio diario [TPD]	137
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$$

AÑO	TPD
2024	137
2025	142
2026	148
2027	154
2028	160
2029	167
2030	173
2031	180
2032	187
2033	195
2034	203
2035	211
2036	219
2037	228
2038	237
2039	247
2040	257
2041	267
2042	278
2043	289
2044	300
TPD futuro	4243

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO				
Vehiculos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	97.71	2873	0	653,371
C2P	15.85	693	0.41	
C2G	15.85	693	4.40	
C3	1.04	44	8.77	
C2S3	0.00	0	33.84	
C3S3	0.00	0	51.85	

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehiculo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Trídem
	5.1	6	6.6	11	21	25	34
C2P	121,024		121,024				
C2G		121,024		121,024			
C3		8,053				8,053	
C2S3		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	121,024	129,077	121,024	121,024	0	8,053	0

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehiculo	Cantidad
C2P	121024
C2G	121024
C3	8053
C2S3	0
C3S3	0

5.2.3 *Barrio El Edén II*

A continuación, se muestra el resumen de los resultados en los aforos vehiculares en el barrio El Edén II, sobre los tramos carrera 15b entre calles 28 y 34 y carrera 16b entre calles 29 y 38.

Tabla 20. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 15b entre calles 28 y 34.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	80	80	78	80
BUS	0	0	0	0
C2P	22	23	29	25
C2G	9	14	12	12
C-3	5	4	3	4
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
TOTAL	**116**	**121**	**122**	**121**

Luego tenemos:
TPDs= 121 veh/día

Tabla 21. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 16b entre calles 29 y 38.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	77	79	83	80
BUS	0	0	0	0
C2P	23	27	25	25
C2G	11	14	11	12
C-3	0	0	0	0
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
TOTAL	111	120	119	117

Luego tenemos:
TPDs= 117 veh/dia

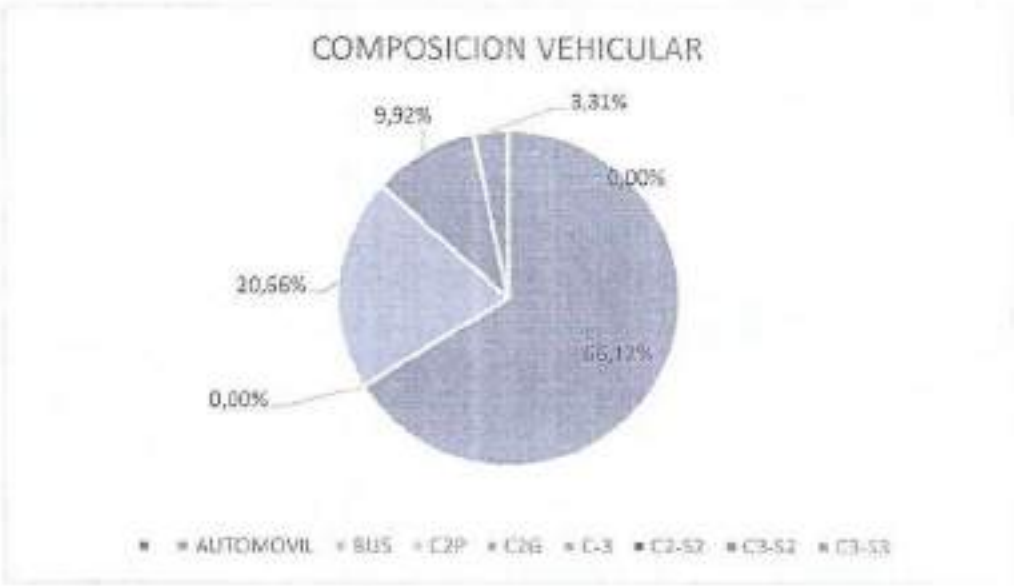
5.2.3.1 *Composición vehicular barrio El Edén II.*

La composición vehicular se utiliza para tener una estimación del tipo de vehiculos que circulan en la vía en sus condiciones actuales, la cual se expresa en porcentajes. A continuación, la composición vehicular de los tramos correspondientes,

Tabla 22. Composición vehicular carrera 15b entre calles 29 y 34.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	80	80	78	80	66,12%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	22	23	29	25	20,66%
C2G	9	14	12	12	9,92%
C-3	5	4	3	4	3,31%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	116	121	122	121	100%

Gráfica 13. Composición vehicular carrera 15b entre calles 29 y 34.



En la vía carrera 15b entre calles 29 y 34, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 66.12%, seguido de vehículos camiones con un 33.88%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

Tabla 23. Composición vehicular Cra. 16b entre calles 29 y 38

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	77	79	83	80	68,38%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	23	27	25	25	21,37%
C2G	11	14	11	12	10,26%
C-3	0	0	0	0	0,00%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	**111**	**120**	**119**	**117**	100%

Gráfica 14. Composición vehicular Cra. 16b entre calles 29 y 38.



En la vía carrera 16b entre calles 29 y 38, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 68.4%, seguido de vehículos camiones con un 31.62%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

5.2.3.2 *Variación horaria del volumen de tránsito del barrio El Edén II*

Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

Según los aforos vehiculares, el día de mayor flujo vehicular en carrera 15 b entre calles 29 y 34 fue el 31 de agosto, al igual que en la carrera 16b entre calles 29 y 38, a continuación, se muestra la variación vehicular promedio para cada tramo:

Gráfica 15. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 15b entre calles 29 y 34.



Gráfica 16. Variación horaria del volumen de tránsito de la Cra. 16b entre calles 29 y 38



Las variaciones horarias muestran que, durante el día, los vehículos que más circulan por ambos tramos son los automóviles y camiones, por lo tanto, los diseños geométricos deben estar acordes con el vehículo de diseño, en este caso, los antes mencionados.

5.2.3.3 *Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda del barrio El Edén II.*

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora máxima.

Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})} \qquad (5)$$

Dónde,
FHMD: Factor de la hora de máxima demanda.
VHMD: Volumen horario de máxima demanda.
Qmáx: Volumen máximo.
N: Número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Los valores estimados de hora pico, volumen de hora pico y factor de hora pico, se muestran a continuación por cada grupo trabajado.

Gráfica 17. Variación del volumen de tránsito en un día en la carrera 15b entre calles 29 y 34.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 07:00 am – 08:00 am y su volumen horario es:

Tabla 24. Demanda máxima.

VHMD	18veh/hr
HORA	7-8

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 18. Variación del volumen de tránsito en un día en la en la carrera 15b entre calles 29 y 34.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

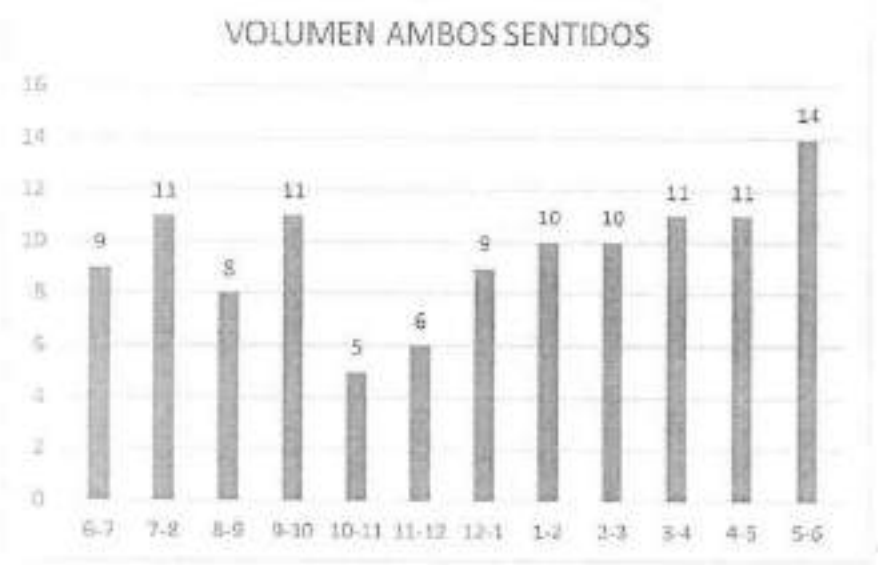
Tabla 25. Volumen horario máximo en carrera 15b entre calles 29 y 34.

HORA	VOLUMEN
7:15:00 a. m.	4
7:30:00 a. m.	5
7:45:00 a. m.	5
8:00:00 a. m.	4

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 1.50, valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

Para la carrera 16b entre calles 29 y 38, tenemos que:

Gráfica 19. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 16b entre calles 29 y 38.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 26. Demanda máxima.

VHMD	14veh/hr
HORA	5-6

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 20. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 16b entre calles 29 y 38.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 27. Volumen horario máximo en la cra. 16b entre calles 29 y 38.

HORA	VOLUMEN
5:15:00 p. m.	3
5:30:00 p. m.	3
5:45:00 p. m.	5
6:00:00 p. m.	3

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 1.170, valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

5.2.3.4 *Determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño para el barrio El Edén II*

Para la estimación del tránsito en el año base se consideró la cercanía del tramo vial a intervenir con vías existentes, se evidenció que la vía donde se proyecta la intervención colinda calle 29, vía colectora de la ciudad, con base en esto se asume un porcentaje medio de tránsito atraído, por lo cual, se establece que una vez la vía sea pavimentada es del 23% del tránsito existente. Así mismo, se establece que el transito generado es del 20% del tránsito existente, debido a las mismas razones del tránsito atraído.

A continuación, se muestra el valor del tránsito inicial para la carrera 15b entre calles 29 y 34:

Tabla 28. Tránsito inicial en la carrera 15b entre calles 29 y 34.

Aforo Cra 15B Cll 29 y 34				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	121	28	24	173
T_i año base				173

A partir de las características de la vía, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 33.88%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 29. Número de ejes equivalentes según PCA en la en la carrera 15b entre calles 29 y 34.

Tránsito promedio diario [TPD]	173
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.6
Periodo de diseño	20

$$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$$

AÑO	TPD
2024	173
2025	180
2026	187
2027	195
2028	202
2029	210
2030	219
2031	228
2032	237
2033	246
2034	256
2035	266
2036	277
2037	288
2038	300
2039	312
2040	324
2041	337
2042	350
2043	364
2044	379
TPD futuro	5358

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO

Vehículo	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	66.12	3542	0	794,435
C2P	20.58	1107	0,41	
C2G	6.42	331	2,40	
C3	6.31	177	8,77	
C2S2	0.00	0	13,84	
C2S3	0.00	0	11,80	

ESPECTRO DE CARGAS

Vehículo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Trídem
	3.1	6	6.0	11	21	22	24
C2P	202,008		202,008				
C2G		96,495		96,995			
C3		32,364				32,364	
C2S2		0			0		
C2S3		0				0	0
TOTAL	202,008	128,360	202,008	96,995	0	32,364	0

Número de vehículos en el periodo de diseño

Vehículo	Cantidad
C2P	202008
C2G	96995
C3	32364
C2S2	0
C2S3	0

Para la carrera 16b entre calles 29 y 38 tenemos:

Tabla 30. Tránsito inicial en la carrera 16b entre calles 29 y 38.

Aforo Cra 16B Cll 29 y 38				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	117	27	23	167
T_i año base				167

A partir de las características de la vía, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 31.62%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 31. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 16b entre calles 29 y 38.

Tránsito promedio diario [TPD]	167
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$$

AÑO	TPD
2024	167
2025	174
2026	181
2027	188
2028	195
2029	203
2030	211
2031	220
2032	229
2033	238
2034	247
2035	257
2036	267
2037	278
2038	289
2039	301
2040	313
2041	326
2042	338
2043	352
2044	366
TPD futuro	5172

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO				
Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	66.34	3567	0	503,690
C2P	21.21	1105	0.67	
C2G	10.36	831	4.49	
C3	0.00	0	8.77	
C2S2	0.00	0	10.64	
C2S3	0.00	0	11.45	

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehículo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Trídem
	3.1	6	6.6	11	21	23	34
C2P	201,704		201,704				
C2G		98,840		96,840			
C3		0				0	
C2S2		0			0		
C2S3		0				0	0
TOTAL	201,704	98,840	201,704	96,840	0	0	0

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	201704
C2G	97041
C3	0
C2S2	0
C2S3	0

5.2.4 *Barrio San José*

A continuación, se muestra el resumen de los resultados en los aforos vehiculares en el barrio San José, sobre los tramos Cra 16C entre las Calles 38 y 39, Cra 18 entre las Calles 38 y 39, Cra 20 entre las Calles 38 y 39, Cra 22 entre las Calles 29 y 38 y Calle 39 entre la Cra 22 y Calle 29.

Tabla 32. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 16c entre calles 38 y 39.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	31	32	27	30
BUS	0	0	0	0
C2P	15	16	14	15
C2G	5	8	8	7
C-3	0	0	0	0
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
TOTAL	51	56	49	52

Luego tenemos:
TPDs= 52 veh/día

Tabla 33. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 18 entre calles 38 y 39.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	21	20	18	20
BUS	0	0	0	0
C2P	5	6	4	5
C2G	8	6	6	7
C-3	0	0	0	0
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
MOTOS	0	0	0	0
TOTAL	**34**	**32**	**28**	**32**

Luego tenemos:
TPDs= 32 veh/dia

Tabla 34. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 20 entre calles 38 y 39

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	30	28	30	30
BUS	0	0	0	0
C2P	7	6	7	7
C2G	7	6	9	8
C-3	0	0	0	0
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
TOTAL	**44**	**40**	**46**	**45**

Luego tenemos:
TPDs= 45 veh/dia

Tabla 35. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 22 entre calles 38 y 39

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	22	22	20	22
BUS	0	0	0	0
C2P	11	9	10	10
C2G	8	7	10	9
C-3	0	0	0	0
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
TOTAL	41	38	40	41

Luego tenemos:
TPDs= 41 veh/día

Tabla 36. Resumen de aforo vehicular realizado en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	43	45	46	45
BUS	0	0	0	0
C2P	23	17	19	20
C2G	12	13	10	12
C-3	6	3	3	4
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
TOTAL	84	78	78	81

Luego tenemos:
TPDs= 81 veh/día

5.2.4.1 *Composición vehicular barrio San José.*

La composición vehicular se utiliza para tener una estimación del tipo de vehículos que circulan en la vía en sus condiciones actuales, la cual se expresa en porcentajes. A continuación, la composición vehicular de los tramos correspondientes,

Tabla 37. Composición vehicular carrera 16c entre calle 38-39.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	31	32	27	30	57,69%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	15	16	14	15	28,85%
C2G	5	8	8	7	13,46%
C-3	0	0	0	0	0,00%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	51	56	49	52	100%

Gráfica 21. Composición vehicular carrera 16c entre calle 38-39.



En la via carrera 16c entre calles 38 y 39, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 57.69%, seguido de vehiculos camiones con un 42.31%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

Tabla 38. Composición vehicular carrera 18 entre calle 38-39

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	21	20	18	20	62,50%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	5	6	4	5	15,63%
C2G	8	6	6	7	21,88%
C-3	0	0	0	0	0,00%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
MOTO	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	34	32	28	32	100%

Gráfica 22. Composición vehicular Cra. 18 entre calles 38 y 39.



En la vía carrera 18 entre calles 38 y 39, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 62.5%, seguido de vehículos camiones con un 37.5%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

Tabla 39. Composición vehicular carrera 20 entre calle 38-39

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	30	28	30	30	66,67%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	7	6	7	7	15,56%
C2G	7	6	9	8	17,78%
C-3	0	0	0	0	0,00%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	44	40	46	45	100%

Gráfica 23. Composición vehicular Cra. 18 entre calles 38 y 39.



En la vía carrera 20 entre calles 38 y 39, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 66.67%, seguido de vehículos camiones con un 33.33%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

Tabla 40. Composición vehicular carrera 22 entre calle 29 y 38

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	22	22	20	22	53,66%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	11	9	10	10	24,39%
C2G	8	7	10	9	21,95%
C-3	0	0	0	0	0,00%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	41	38	40	41	100%

Gráfica 24. Composición vehicular Cra. 22 entre calles 29 y 38.

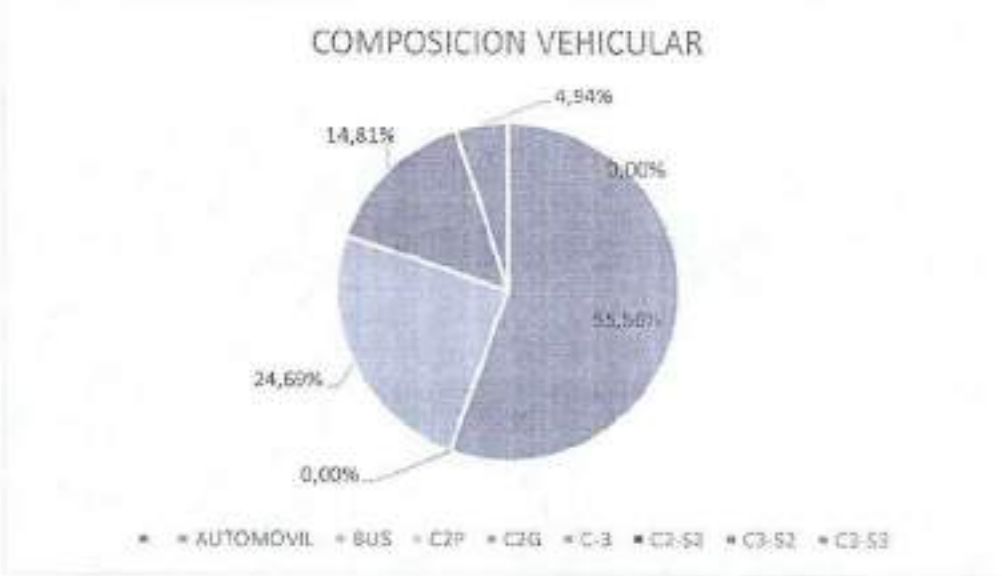


En la vía carrera 22 entre calles 29 y 38, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 53.7%, seguido de vehículos camiones con un 46.34%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

Tabla 41. Composición vehicular calle 39 entre carrera 22 y calle 29

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMÓVIL	43	45	46	45	55,56%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	23	17	19	20	24,69%
C2G	12	13	10	12	14,81%
C-3	6	3	3	4	4,94%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	84	78	78	81	100%

Gráfica 25. Composición vehicular calle 39 entre carrera 22 y calle 29.



En la vía calle 39 entre carrera 22 y calle 29, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 55.56%, seguido de vehículos camiones con un 44.44%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses

5.2.4.2 *Variación horaria del volumen de tránsito del barrio San José*

Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

Según los aforos vehiculares, el día de mayor flujo vehicular en la carrera 16c entre calles 38 y 39 fue el 27 de agosto, por su parte, en las carreras 18 y 22 entre calles 38 y 39, y en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29 fue el 26 de agosto; para la carrera 20 entre calles 38 y 39 fue el31 de agosto. A continuación, se muestra la variación vehicular promedio para cada tramo:

Gráfica 26. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 16c entre calles 38 y 39.



Gráfica 27. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 18 entre calles 38 y 39



Gráfica 28. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 20 entre calles 38 y 39



Gráfica 29. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 22 entre calles 29 y 38



Gráfica 30. Variación horaria del volumen de tránsito en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29



Las variaciones horarias muestran que, durante el día, los vehículos que más circulan por los tramos son los automóviles y camiones, por lo tanto, los diseños geométricos deben estar acordes con el vehículo de diseño, en este caso, los antes mencionados.

5.2.4.3 *Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda del barrio San José.*

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo período máximo.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora máxima.

Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})} \qquad (6)$$

Dónde,
FHMD: Factor de la hora de máxima demanda.
VHMD: Volumen horario de máxima demanda.
Qmáx: Volumen máximo.
N: Número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Los valores estimados de hora pico, volumen de hora pico y factor de hora pico, se muestran a continuación por cada grupo trabajado.

Gráfica 31. Variación del volumen de tránsito en un día en la carrera 19C entre calles 38 y 39.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 08:00 am – 09:00 am y su volumen horario es:

Tabla 42. Demanda máxima.

VHMD	6veh/hr
HORA	8-9

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 32. Variación del volumen de tránsito en un día en la en la carrera 16C entre calles 38 y 39



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

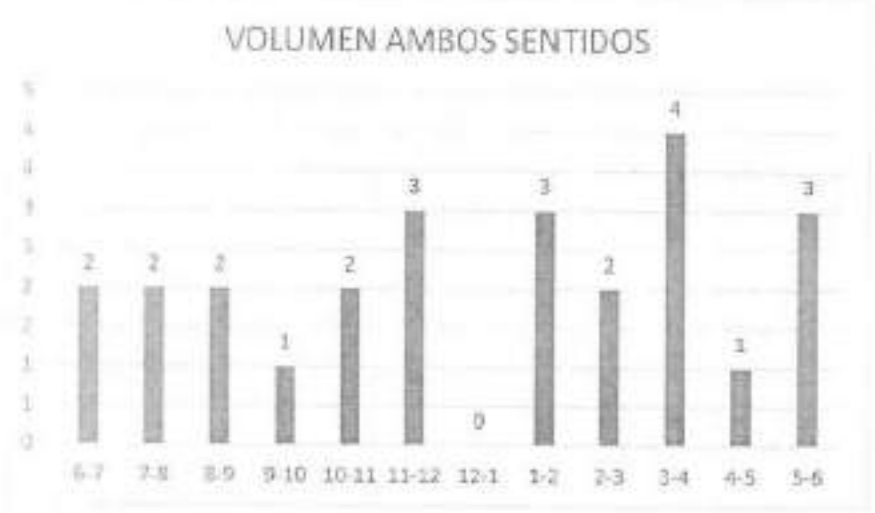
Tabla 43. Volumen horario máximo en carrera 16C entre calles 38 y 39.

HORA	VOLUMEN
8:15:00 a. m.	2
8:30:00 a. m.	1
8:45:00 a. m.	2
9:00:00 a. m.	1

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 0.50, valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

Para la carrera 18 entre calles 38 y 39, tenemos que:

Gráfica 33. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 18 entre calles 38 y 39.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 03:00 pm – 04:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 44. Demanda máxima.

VHMD	4veh/hr
HORA	3-4

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 34. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 18 entre calles 38 y 39.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 45. Volumen horario máximo en la cra. 18 entre calles 38 y 39.

HORA	VOLUMEN
3:15:00 p. m.	0
3:30:00 p. m.	1
3:45:00 p. m.	1
4:00:00 p. m.	2

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 0.33, valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

Para la carrera 20 entre calles 38 y 39, tenemos que:

Gráfica 35. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 20 entre calles 38 y 39.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 07:00 am – 08:00 am y su volumen horario es:

Tabla 46. Demanda máxima.

VHMD	5veh/hr
HORA	7-8

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 36. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 20 entre calles 38 y 39.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 47. Volumen horario máximo en la cra. 20 entre calles 38 y 39.

HORA	VOLUMEN
7:15:00 a. m.	2
7:30:00 a. m.	1
7:45:00 a. m.	1
8:00:00 a. m.	1

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 0.42, valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

Para la carrera 22 entre calles 29 y 38, tenemos que:

Gráfica 37. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 22 entre calles 29 y 38.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 12:00 pm – 01:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 48. Demanda máxima.

VHMD	5veh/hr
HORA	12-1

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 38. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 22 entre calles 29 y 38.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 49. Volumen horario máximo en la cra. 22 entre calles 29 y 38.

HORA	VOLUMEN
12:15:00 p. m.	1
12:30:00 p. m.	2
12:45:00 p. m.	1
1:00:00 p. m.	1

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 0.42, valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

Para calle 39 entre carrera 22 y calle 29, tenemos que:

Gráfica 39. Variación del volumen de tránsito en un día en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 50. Demanda máxima.

VHMD	9veh/hr
HORA	5-6

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 40. Variación del volumen de tránsito en un día en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 51. Volumen horario máximo en la cra. 18 entre calles 38 y 39.

HORA	VOLUMEN
5:15:00 p. m.	2
5:30:00 p. m.	2
5:45:00 p. m.	1
6:00:00 p. m.	4

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 0.75, valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

5.2.4.4 *Determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño para el barrio San José*

Para la estimación del tránsito en el año base se consideró la cercanía del tramo vial a intervenir con vías existentes, se evidenció que la vía donde se proyecta la intervención colinda con la calle 29, vía colectora de la ciudad, con base en esto se asume un porcentaje medio de tránsito atraído, por lo cual, se establece que una vez la vía sea pavimentada es del 23% del tránsito existente. Así mismo, se establece que el transito generado es del 20% del tránsito existente, debido a las mismas razones del tránsito atraído.

A continuación, se muestra el valor del tránsito inicial para la carrera 16c entre calles 38 y 39:

Tabla 52. Tránsito inicial en la carrera 16c entre calles 38 y 39.

Aforo cra 16C entre calles 38 y 39				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	52	12	10	74
T_i año base				74

A partir de las caracteristicas de la via, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 42.31%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 53. Número de ejes equivalentes según PCA en la en la carrera 16c entre calles 38 y 39.

Tránsito promedio diario [TPD]	74
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$

AÑO	TPD
2024	74
2025	77
2026	80
2027	83
2028	87
2029	90
2030	94
2031	97
2032	101
2033	105
2034	110
2035	114
2036	118
2037	123
2038	128
2039	133
2040	139
2041	144
2042	150
2043	156
2044	162
TPD futuro	2292

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO				
Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	62.50	1322	0	237,705
C2P	29.85	661	0.41	
C2G	13.40	308	4.40	
C3	0.08	0	8.77	
C2S3	0.08	0	13.84	
C3S3	0.08	0	11.82	

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehículo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Trídem
	3.1	8	6.6	11	21	33	24
C2P	120.662		120.662				
C2G		56.295		56.295			
C3		0				0	
C2S3		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	120,662	56,295	120,662	56,295	0	0	0

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	120662
C2G	56295
C3	0
C2S3	0
C3S3	0

Para la carrera 18 entre calles 38 y 39 tenemos:

Tabla 54. Tránsito inicial en la carrera 18 entre calles 38 y 39.

Aforo Cra 18 entre calles 38 y 39				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	32	7	6	45
T_i año base				45

A partir de las caracteristicas de la via, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El Indice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 37.50%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

CONVIAL | IAS | MJS | Ingeniería Vial

CONSORCIO CONSULTORÍA VIAL MONTERÍA
NIT 901847594-7

Tabla 55. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 18 entre calles 38 y 39.

Tránsito promedio diario [TPD]	45
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$

AÑO	TPD
2024	45
2025	47
2026	49
2027	51
2028	53
2029	55
2030	57
2031	59
2032	62
2033	64
2034	67
2035	69
2036	72
2037	75
2038	78
2039	81
2040	84
2041	88
2042	91
2043	95
2044	99
TPD futuro	1394

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO

Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	62.50	871	0	201,304
C2P	15.40	215	0.21	
C2G	22.40	305	4.80	
C3	0.00	0	6.77	
C2S2	4.00	0	13.84	
C3S2	0.00	0	11.83	

ESPECTRO DE CARGAS

Vehículo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Tridem
	3.1	6	8.8	11	21	22	24
C2P	39,752		39,752				
C2G		55,648		55,648			
C1		0				0	
C2S2		0			0		
C3S2		0				0	0
TOTAL	39,752	55,648	39,752	55,648	0	0	0

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	39752
C2G	55648
C3	0
C2S2	0
C3S2	0

Para la carrera 20 entre calles 38 y 39 tenemos:

Tabla 56. Tránsito inicial en la carrera 20 entre calles 38 y 39.

Aforo Cra 20 entre calles 38 y 39				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	45	10	9	64
T_i año base				64

A partir de las características de la vía, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 33.33%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 57. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 20 entre calles 38 y 39.

Tránsito promedio diario [TPD]	64
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$$

AÑO	TPD
2024	64
2025	67
2026	69
2027	72
2028	75
2029	78
2030	81
2031	84
2032	88
2033	91
2034	95
2035	99
2036	102
2037	107
2038	111
2039	115
2040	120
2041	125
2042	130
2043	135
2044	140
TPD futuro	1982

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO				
Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	66.67	1221	0	306.283
C2P	15.94	292	0.41	
C2G	17.39	318	4.40	
C3	0.00	0	8.77	
C2S2	0.00	0	15.84	
C3S3	0.00	0	11.83	

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehiculo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Tridem
	3.1	6	6.6	11	21	22	24
C2P	16.264		56.264				
C2G		64.314		64.314			
C3		0				0	
C2S2		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	16.264	64.314	56.264	64.314	0	0	0

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	16.264
C2G	64.314
C3	0
C2S2	0
C3S3	0

Para la carrera 22 entre calles 29 y 38 tenemos:

Tabla 58. Tránsito inicial en la carrera 22 entre calles 29 y 38.

Aforo Cra 22 entre Cll 29 y 38				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	41	9	8	58
T_i año base				58

A partir de las características de la vía, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 46.34%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 59. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 22 entre calles 29 y 38.

Tránsito promedio diario [TPD]	58
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$$

AÑO	TPD
2024	58
2025	60
2026	63
2027	65
2028	68
2029	71
2030	73
2031	76
2032	79
2033	83
2034	86
2035	89
2036	93
2037	97
2038	100
2039	104
2040	109
2041	113
2042	117
2043	122
2044	127
TPD futuro	1796

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO

Vehiculos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	53.00	954	0	349,711
C2P	24.39	439	0.81	
C2G	21.99	394	4.40	
C3	0.00	0	8.77	
C2S3	0.00	0	13.84	
C3S3	0.00	0	11.83	

ESPECTRO DE CARGAS

Vehiculo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tandem		Eje Tridem
	3.1	8	6.6	11	21	23	24
C2P	79,863		79,863				
C2G		71,954		71,954			
C3		0				0	
C2S3		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	79,863	71,954	79,863	71,954	0	0	0

Número de vehiculos en el periodo de diseño

Vehiculo	Cantidad
C2P	79963
C2G	71954
C3	0
C2S3	0
C3S3	0

Para la calle 39 entre carrera 22 y calle 29, tenemos:

Tabla 60. Tránsito inicial en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29.

Aforo Cll 39 entre Cra 22 y Cll 29				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	81	19	16	116
T_i año base				**116**

A partir de las caracteristicas de la via, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El indice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 44.44%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 61. Número de ejes equivalentes según PCA en la calle 39 entre carrera 22 y calle 29.

Tránsito promedio diario [TPD]	116
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$$

AÑO	TPD
2024	116
2025	121
2026	125
2027	130
2028	136
2029	141
2030	147
2031	153
2032	159
2033	165
2034	172
2035	179
2036	186
2037	193
2038	201
2039	209
2040	217
2041	226
2042	235
2043	244
2044	254
TPD futuro	3592

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO				
Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	68.36	1686	0	728,440
C2P	24.69	887	3.41	
C2G	14.81	533	4.40	
C3	4.94	177	8.77	
C2S3	0.00	0	13.84	
C3S3	0.00	0	11.80	

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehículo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Tridem
	3.1	8	6.6	11	21	22	34
C2P	161,872		161,872				
C2G		97,097		97,097			
C3		32,366				32,366	
C2S3		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	161,872	129,463	161,872	97,097	0	32,366	0

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	161872
C2G	97097
C3	32366
C2S3	0
C3S3	0

5.2.5 *Barrios El Mora y Altos de la Floresta*

A continuación, se muestra el resumen de los resultados en los aforos vehiculares en los barrios El Mora y Altos de la Floresta, sobre los tramos Cra 16ª entre las Calles 40 y 41, Cra 15D entre las Calles 40ª y 40B, y, Cra 15C entre las Calles 40ª y 41. Anexo al presente informe se encuentran los formatos de campo diligenciados.

Tabla 62. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 16A entre calles 40 y 41.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	52	54	57	55
BUS	0	0	0	0
C2P	34	37	33	35
C2G	11	10	12	11
C-3	2	1	2	2
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
TOTAL	**99**	**102**	**104**	**103**

Luego tenemos:
TPDs= 103 veh/día

Tabla 63. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 15D entre calles 40a y 40b.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	23	26	26	25
BUS	0	0	0	0
C2P	36	40	44	40
C2G	9	9	12	10
C-3	0	0	0	0
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
MOTOS	0	0	0	0
TOTAL	68	75	82	75

Luego tenemos:
TPDs= 75 veh/dia

Tabla 64. Resumen de aforo vehicular realizado en la carrera 15c entre calles 40a y 41.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024	
AUTOMOVIL	23	30	35	30
BUS	0	0	0	0
C2P	26	23	26	25
C2G	8	7	9	8
C-3	0	0	0	0
C2-S2	0	0	0	0
C3-S2	0	0	0	0
C3-S3	0	0	0	0
MOTOS	0	0	0	0
TOTAL	57	60	70	63

Luego tenemos:
TPDs= 63 veh/dia

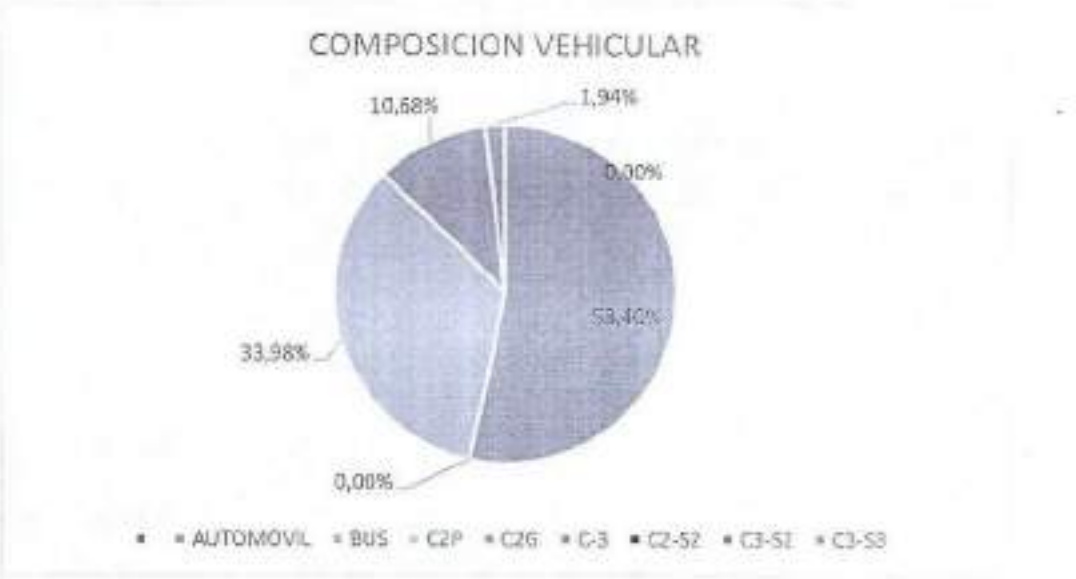
5.2.5.1 *Composición vehicular de barrios El Mora y Altos de La Floresta.*

La composición vehicular se utiliza para tener una estimación del tipo de vehículos que circulan en la vía en sus condiciones actuales, la cual se expresa en porcentajes. A continuación, la composición vehicular de los tramos correspondientes,

Tabla 65. Composición vehicular carrera 16a entre calles 40 y 41.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	52	54	57	55	53,40%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	34	37	33	35	33,98%
C2G	11	10	12	11	10,68%
C-3	2	1	2	2	1,94%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	99	102	104	103	100%

Gráfica 41. Composición vehicular carrera 16a entre calles 40 y 41.



En la vía carrera 16a entre calles 40 y 41, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 53.4%, seguido de vehículos camiones con un 46.6%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

Tabla 66. Composición vehicular Cra. 15d entre calles 40a y 40b

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	23	26	26	25	33,33%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	36	40	44	40	53,33%
C2G	9	9	12	10	13,33%
C-3	0	0	0	0	0,00%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	68	75	82	75	100%

Gráfica 42. Composición vehicular Cra. 15d entre calles 40a y 40b.

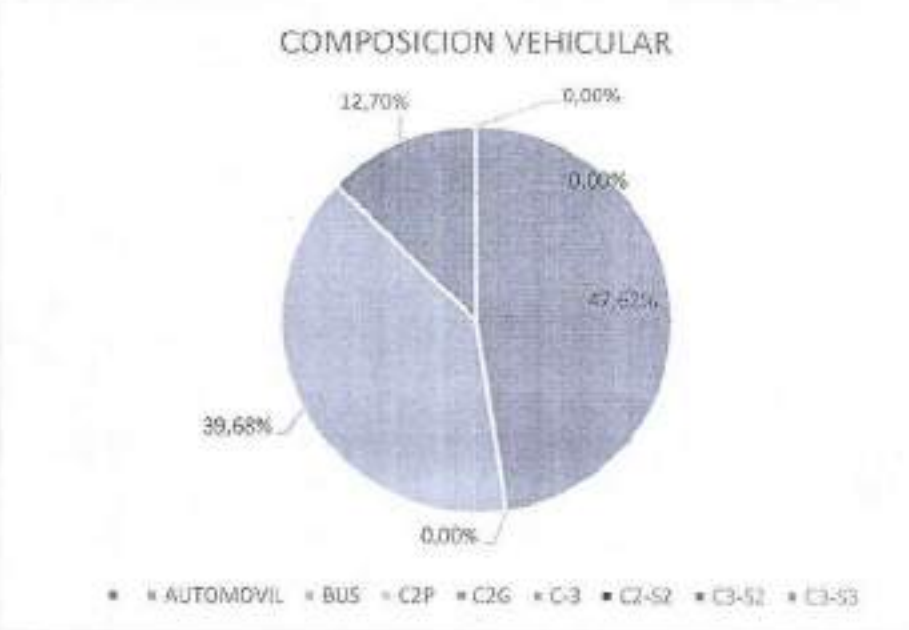


En la vía carrera 15d entre calles 40 y 41, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de camiones con un 53.33%, seguido de automóviles con un 33.3%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

Tabla 67. Composición vehicular Cra. 15c entre calles 40a y 41

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	26/08/2024	27/08/2024	31/08/2024		
AUTOMOVIL	23	30	35	30	47,62%
BUS	0	0	0	0	0,00%
C2P	20	23	26	25	39,68%
C2G	8	7	9	8	12,70%
C-3	0	0	0	0	0,00%
C2-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S2	0	0	0	0	0,00%
C3-S3	0	0	0	0	0,00%
TOTAL	57	60	70	63	100%

Gráfica 43. Composición vehicular Cra. 15c entre calles 40a y 41.



En la vía carrera 15c entre calles 40 y 41, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 47.62%, seguido de camiones con un 39.68%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses

5.2.5.2 *Variación horaria del volumen de tránsito de los barrios El Mora y Altos de La Floresta*

Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

Según los aforos vehiculares, el día de mayor flujo vehicular en las carreras 16ª y 15c entre calles 40 y 41, fue el 31 de agosto, por otra parte, en la carrera 15d entre calles 40 y 41 fue el 31 de agosto, a continuación, se muestra la variación vehicular promedio para cada tramo:

Gráfica 44. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 16a entre calles 40 y 41.



Gráfica 45. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 15d entre calles 40a y 40b



Gráfica 46. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 15c entre calles 40a y 41



Las variaciones horarias muestran que, durante el día, los vehículos que más circulan por ambos tramos son los automóviles y camiones, por lo tanto, los diseños geométricos deben estar acordes con el vehículo de diseño, en este caso, los antes mencionados.

5.2.5.3 *Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda de los barrios El Mora y Altos de La Floresta.*

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora máxima.

Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})} \qquad (7)$$

Dónde,
FHMD: Factor de la hora de máxima demanda.
VHMD: Volumen horario de máxima demanda.
Qmàx: Volumen máximo.
N: Número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Los valores estimados de hora pico, volumen de hora pico y factor de hora pico, se muestran a continuación por cada grupo trabajado.

Gráfica 47. Variación del volumen de tránsito en un día en la carrera 16a entre calles 40 y 41.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 68. Demanda máxima.

VHMD	17veh/hr
HORA	5-6

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 48. Variación del volumen de tránsito en un día en la carrera 16a entre calles 40 y 41.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 69. Volumen horario máximo en carrera 16a entre calles 40 y 41.

HORA	VOLUMEN
5:15:00 p. m.	2
5:30:00 p. m.	5
5:45:00 p. m.	4
6:00:00 p. m.	6

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 1.42, valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

Para la carrera 15d entre calles 40 y 41, tenemos que:

Gráfica 49. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 15d entre calles 40a y 40b.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 12:00 pm – 01:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 70. Demanda máxima.

VHMD	9veh/hr
HORA	12-1

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

542/k

Gráfica 50. Variación del volumen de tránsito en un día en la crs. 15d entre calles 40a y 40b.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 71. Volumen horario máximo en la cra. 15d entre calles 40a y 40b.

HORA	VOLUMEN
12:15:00 p. m.	3
12:30:00 p. m.	1
12:45:00 p. m.	4
1:00:00 p. m.	1

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 0.75, valores que indican que no existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

Para la carrera 15c entre calles 40 y 41, tenemos que:

Gráfica 51. Variación del volumen de tránsito en un dia en la cra. 15c entre calles 40a y 41.



Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 12:00 pm – 01:00 pm y su volumen horario es:

Tabla 72. Demanda máxima.

VHMD	8veh/hr
HORA	12-1

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:

Gráfica 52. Variación del volumen de tránsito en un dia en la cra. 15c entre calles 40a y 41.



Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

Tabla 73. Volumen horario máximo en la cra. 15c entre calles 40a y 41.

HORA	VOLUMEN
12:15:00 p. m.	2
12:30:00 p. m.	1
12:45:00 p. m.	4
1:00:00 p. m.	1

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 0.67, valores que indican que existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora

5.2.5.4 *Determinación del número de ejes equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño para los barrios El Mora y Altos de La Floresta*

Para la estimación del tránsito en el año base se consideró la cercanía del tramo vial a intervenir con vías existentes, se evidenció que la vía donde se proyecta la intervención colinda calle 41, vía colectora de la ciudad, con base en esto se asume un porcentaje medio de tránsito atraído, por lo cual, se establece que una vez la vía sea pavimentada es del 23% del tránsito existente. Así mismo, se establece que el transito generado es del 20% del tránsito existente, debido a las mismas razones del tránsito atraído.

A continuación, se muestra el valor del tránsito inicial para la carrera 16a entre calles 40 y 41:

Tabla 74. Tránsito inicial en la carrera 16a entre calles 40 y 41.

Aforo Cra 16A Cll 40 y 41				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	103	24	21	148
T_i año base				**148**

A partir de las características de la vía, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 46.60%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 75. Número de ejes equivalentes según PCA en la en la carrera 16ª entre calles 40 y 41.

Tránsito promedio diario [TPD]	148
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$$

AÑO	TPD
2024	148
2025	154
2026	160
2027	166
2028	173
2029	180
2030	187
2031	195
2032	203
2033	211
2034	219
2035	228
2036	237
2037	246
2038	256
2039	267
2040	277
2041	288
2042	300
2043	312
2044	324
TPD futuro	4583

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO				
Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	53.40	2448	0	553,271
C2P	33.68	1557	0.41	
C2G	10.68	490	4.40	
C3	1.94	89	8.77	
C2S2	0.00	0	15.84	
C2S3	0.00	0	15.83	

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehículo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Trídem
	3.1	6	6.6	11	21	22	24
C2P	284,235		284,235				
C2G		89,336		89,336			
C3		16,228				16,228	
C2S2		0			0		
C2S3		0				0	0
TOTAL	284,235	105,564	284,235	89,336	0	16,228	0

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	284235
C2G	89336
C3	16228
C2S2	0
C2S3	0

Para la carrera 15d entre calles 40 y 41 tenemos:

Tabla 76. Tránsito inicial en la carrera 15d entre calles 40a y 40b.

Aforo 15D Cll 40A y 40B				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	75	17	15	107
T_i año base				107

A partir de las características de la vía, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehículos comerciales corresponde a 66.67%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 77. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 15d entre calles 40a y 40b.

Tránsito promedio diario [TPD]	107
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$$

AÑO	TPD
2024	107
2025	111
2026	116
2027	120
2028	125
2029	130
2030	135
2031	141
2032	146
2033	152
2034	158
2035	165
2036	171
2037	178
2038	185
2039	193
2040	200
2041	208
2042	217
2043	225
2044	234
TPD futuro	3314

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO				
Vehiculos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	33.33	1104	0	488,404
C2P	53.33	1767	0.41	
C2G	13.33	442	4.40	
C3	0.00	0	8.77	
C2S3	0.00	0	13.84	
C3S3	0.00	0	11.83	

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehiculo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Trídem
	3.1	6	5.6	11	21	23	24
C2P	322,514		322,514				
C2G		80,613		80,613			
C3		0				0	
C2S3		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	322,514	80,613	322,514	80,613	0	0	0

Número de vehiculos en el periodo de diseño	
Vehiculo	Cantidad
C2P	322514
C2G	80613
C3	0
C2S3	0
C3S3	0

Para la carrera 15c entre calles 40 y 41 tenemos:

Tabla 78. Tránsito inicial en la carrera 15c entre calles 40a y 41.

Aforo 15C CII 40A y 40B				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	63	14	13	90
T_i año base				90

A partir de las caracteristicas de la vía, la cual presenta dos (2) carriles, uno (1) en cada dirección, se determinó el factor carril de 100%. El índice de crecimiento [i] fue de 4.0% anual. El porcentaje de vehiculos comerciales corresponde a 52.38%. El periodo de diseño para la intervención proyectada se consideró de 20 años.

La evaluación de la variable transito se determinó a partir de la ecuación 2.

A continuación, se muestra los resultados del número de ejes simples equivalentes de 8.2 t en el periodo de diseño usando el método PCA.

Tabla 79. Número de ejes equivalentes según PCA en la carrera 15c entre calles 40a y 41.

Tránsito promedio diario [TPD]	90
Factor dirección [Fd]	0.5
Factor carril [Fca]	1.0
Tasa de crecimiento (%)	4.0
Periodo de diseño	20

$TPD = TPD\ anterior * (1 + r)$

AÑO	TPD
2024	90
2025	94
2026	97
2027	101
2028	105
2029	109
2030	114
2031	118
2032	123
2033	128
2034	133
2035	139
2036	144
2037	150
2038	156
2039	162
2040	169
2041	175
2042	182
2043	190
2044	197
TPD futuro	2787

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO				
Vehiculos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	47.82	1327	0	367,913
C2P	39.64	1100	6.47	
C2G	12.79	354	4.49	
C3	0.00	0	8.27	
C2S2	0.00	0	15.84	
C3S3	0.00	0	11.49	

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehiculo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Trídem
	3.1	6	6.6	11	21	22	24
C2P	201,840		201,840				
C2G		64,601		64,601			
C3		0				0	
C2S2		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	201,840	64,601	201,840	64,601	0	0	0

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	201840
C2G	64601
C3	0
C2S2	0
C3S3	0

6 Conclusiones

- Teniendo como base los estudios en campo (aforos) se estimó el transito promedio diario semanal (TPDs), a su vez el transito atraído y generado, con dichos parámetros se estableció el transito futuro que pasará por la vía cuando se encuentre en funcionamiento.
- Se calcula las repeticiones admisibles y esperadas que producirán los vehículos que transitarán en la vía a diseñar cuando se encuentre en funcionamiento.
- Se recomienda implementación de un Plan de Manejo de Transito al momento durante la construcción de la vía.

7 Limitaciones del estudio

Este documento fue realizado con base en las condiciones de tránsito obtenidas en los aforos vehiculares. Es necesario que durante la ejecución de los trabajos se lleven y se tomen las medidas y controles recomendados. Cualquier cambio que se realice sin previo conocimiento por parte del consultor durante las obras no garantizará tales situaciones.

Bibliografía

Cárdenas Grisales, J. (2007). El volumen de tránsito atraído y desarrollado en carreteras de Colombia. Un caso real. 41-52. Recuperado el 30 de Septiembre de 2022, de https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/4039

INVIAS. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.* (ICPC, Ed.) INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO.

Londoño, C. (2004). *Diseño, Construcción y Mantenimiento De Pavimentos de Concreto.* Medellín: Instituto Colombiano De Productores De Cemento ICPC.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. (2015). *Manual de señalización vial.*

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2022). *PAVIMENTOS Materiales, construcción y diseño.* Bogotá: ECOE EDICIONES.

TRANSPORTE, M. D. (2015). *Manual de señalización vial.*

Fin del documento.

ESTUDIO DE TRÁNSITO BARRIO SUCRE Y PLAYA BRIGIDA

PROYECTO: "CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO DE LAS VIAS EN LOS BARRIOS EL CARMEN, LOS LAURELES, ALTOS DEL COUNTRY, SUCRE, SECTOR INDUSTRIAL EN EL MUNICIPIO DE MONTERIA-COMUNA 7" (BARRIO SUCRE Y PLAYA BRÍGIDA)

ELABORADO POR: ING. INGRID MORALES ÁVILA.

ABRIL 2021

ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL PROYECTO CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO DE LAS VIAS EN EL BARRIO SUCRE Y PLAYA BRIGIDA, EN EL MUCICIPIO DE MONTERIA-COMUNA 7

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN. 5

2. OBJETIVO Y ALCANCES. 7

2.1. Objetivo. 7
2.2. Alcances. 7

3. GENERALIDADES. 8

3.1. Generalidades del proyecto. 8
3.2. Generalidades del municipio. 9
3.3. Información del Municipio de Montería. 10
3.4. Clases de suelos municipio de Montería. 11
3.5. Clima. 12

4. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES. 13

5. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN. 14

5.1. Visita en campo. 14
5.2. Aforos vehiculares. 14
5.3. Transito promedio diario. 14
5.3.1. Composición vehicular. 15
5.3.2. Variación horaria del volumen de tránsito. 16
5.3.3. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda. 17
5.3.4. Factores de distribución. 19
5.4. Transito futuro. 20
5.5. Cálculo del número de repeticiones esperadas. 22
5.5.1. Repeticiones esperadas. 22

6. SEÑALIZACIÓN. 25

6.1. Estado actual de señalización de la vía. 25
6.2. Recomendaciones de señalización. 26
6.2.1. Señalización vertical. 26
6.2.2. Señalización de carreteras afectadas por obras. 30

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 32

8. BIBLIOGRAFÍA. 33

9. LIMITACIONES DEL ESTUDIO. 34

ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL PROYECTO CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO DE LAS VIAS EN EL BARRIO SUCRE Y PLAYA BRIGIDA, EN EL MUCICIPIO DE MONTERIA-COMUNA 7

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa general de Montería. 5
Figura 2. Tramo de estudio. 6
Figura 3. Localización del municipio de Montería en Colombia. 9
Figura 4. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba. 10
Figura 5. Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano. 13
Figura 6. Señal preventiva SP-25A 26
Figura 7. Señal preventiva SP-39. 26
Figura 8. Señal preventiva SP-03 y SP-04 27
Figura 9. Señal reglamentaria SR-01. 27
Figura 10. Señal reglamentaria SR-01. 28
Figura 11. Señal reglamentaria SR-30. 28
Figura 12. Señal reglamentaria SR-39. 29
Figura 13. Localización de las señales de tránsito. 30
Figura 14. Señal preventiva SP0-01. 30
Figura 15. Señal preventiva SP0-02. 31
Figura 16. Señales preventivas SR0-02. 31
Figura 17. Señales preventivas SIO-02 y SIO-03. 31

ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL PROYECTO CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO DE LAS VIAS EN EL BARRIO SUCRE Y PLAYA BRIGIDA, EN EL MUCICIPIO DE MONTERIA-COMUNA 7

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de la vía a pavimentar. 6

Tabla 2. Valor obtenido de TPDs en el aforo vehicular realizado en la calle 41 con 3, sentido Oeste-este. 15

Tabla 3. Composición vehicular de las vias en estudio. 15

Tabla 4. Factores de distribución por carril (DC) 20

Tabla 5. Transito inicial 22

Tabla 6. Valores comunes de tasa de crecimiento. 23

Tabla 7. Tabla de distribución vehicular en la vía. 24

Tabla 8. Tabla de repeticiones esperadas en la vía. 24

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Composición vehicular de la vía..... 16

Gráfica 2. Variación horaria del volumen de tránsito de la vía del día de mayor tráfico. 17

Gráfica 3. Variación del volumen de tránsito en un día. 18

Gráfica 4. Variación del volumen de tránsito en la hora pico en un día..... 19

ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL PROYECTO CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO DE LAS VIAS EN EL BARRIO SUCRE Y PLAYA BRIGIDA, EN EL MUCICIPIO DE MONTERIA-COMUNA 7

INTRODUCCIÓN.

Se realizó el estudio de tránsito para el proyecto de la pavimentación de las vías del barrio Sucre y Playa Brígida, municipio de Montería – departamento de córdoba.



Figura 1. Mapa general de Montería.
Fuente: sitio web: atlasgeografico.net

El proyecto consiste en la pavimentación de la vía del Barrio Sucre y Playa Brígida, en el municipio de Montería, Departamento de Córdoba, ubicada en la carrera 1, entre las calles 42 y 44.

	Final de vía	Longitud (m)	Ancho promedio (m)
Carrera 1, Calle 42	Carrera 1, Calle 44	629	6.00
Total:		**629**	

Tabla 1. Características de la vía a pavimentar.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la localización de la vía a pavimentar:



Figura 2. Tramo de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

2. OBJETIVO Y ALCANCES.

2.1. Objetivo.

Determinar las caracteristicas del flujo vehicular presentes en la carrera 1, entre calles 42 y 44 del barrio Sucre y Playa Brigida, en el municipio de Montería– departamento de Córdoba, para posteriormente realizar su pavimentación en concreto hidráulico.

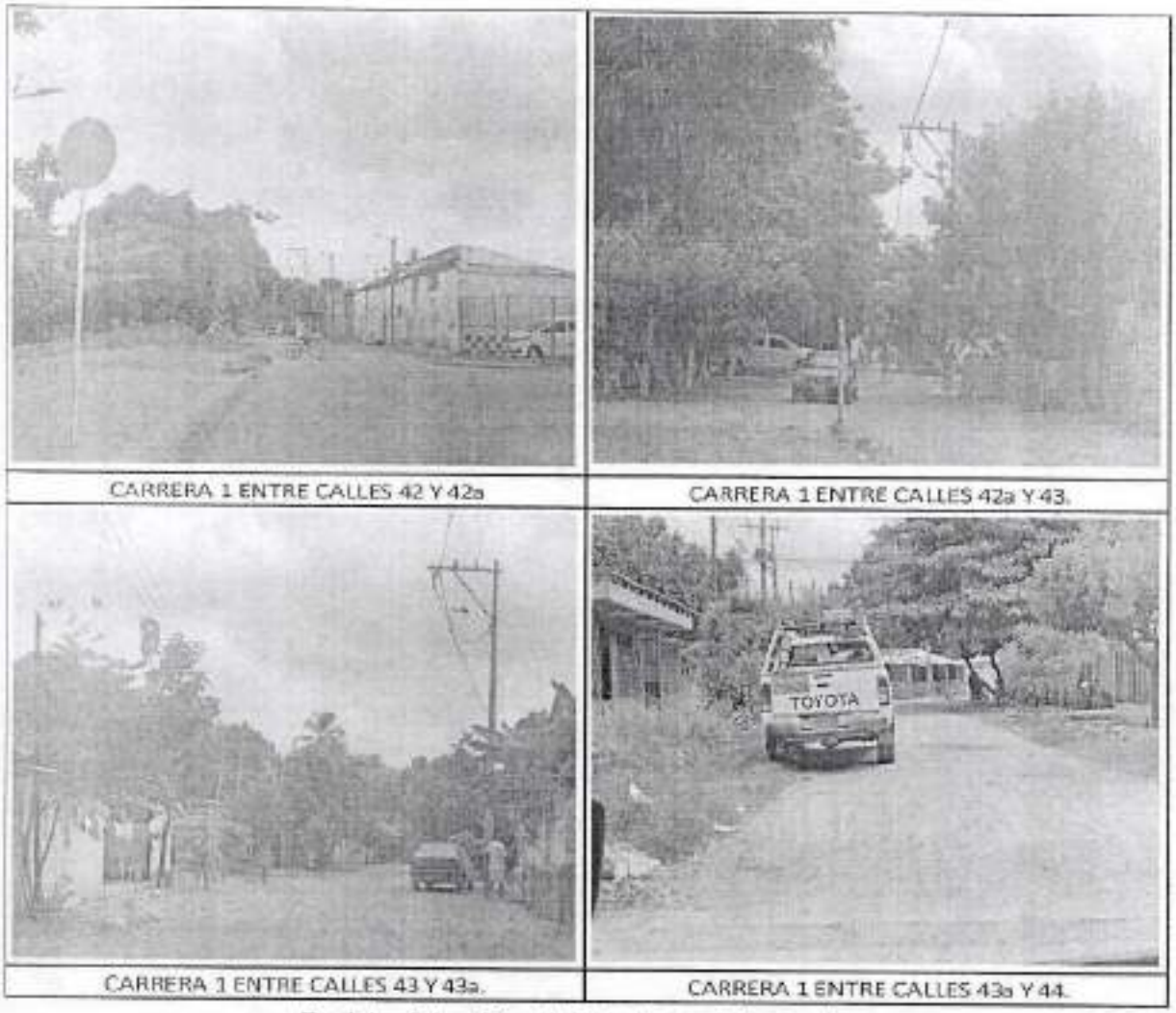
2.2. Alcances.

Tener un valor estimado del número de vehiculos que circulan y circularán en la vía a pavimentar para poder realizar los diseños de la via.

3. GENERALIDADES.

3.1. Generalidades del proyecto.

Consiste en la pavimentación de 1 tramo de vía urbana de 629 metros aproximadamente de longitud y cinco (5) metros de ancho promedio.
Esta vía actualmente presenta una topografía plana con pendientes no mayores a 3%, su estructura es actualmente un afirmado en condiciones regulares que presenta deterioros en puntos críticos formados por el paso de vehículos.
La circulación vehicular es en una calzada de doble sentido.
A continuación, se muestran fotos del estado actual de la vía:



CARRERA 1 ENTRE CALLES 42 Y 42a	CARRERA 1 ENTRE CALLES 42a Y 43.
CARRERA 1 ENTRE CALLES 43 Y 43a.	CARRERA 1 ENTRE CALLES 43a Y 44.

Registro fotográfico 1. Estado actual de las vías.
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Generalidades del municipio.

Montería se encuentra ubicado al noroccidente del país en la región Caribe Colombiana, en el departamento de Córdoba, se encuentra a orillas del río Sinú, por lo que es conocida como la Perla del Sinú. Es la capital del departamento y posee una superficie total de 3141 km^2, con una altitud media de 18 m.s.n.m y una población total de 505.334 hab.
En el departamento de Córdoba, Montería limita con los siguientes municipios:

Al norte: con Cereté, Puerto Escondido y San Pelayo
Al sur: con Tierralta y Valencia.
Al este: con Momil y Chimá.
Al oeste: con Canaletes, Puerto Escondido y el departamento de Antioquia
Extensión total: 1033 Km2
Extensión área urbana: 7,3 Km2
Extensión área rural: 1025,7 Km2



Figura 3. Localización del municipio de Montería en Colombia.
Fuente: GADM, Mapas y datos. "Montería"
Disponible en la web: http://gsdm.org/maps/COL/cordoba/monteria.html

352/F

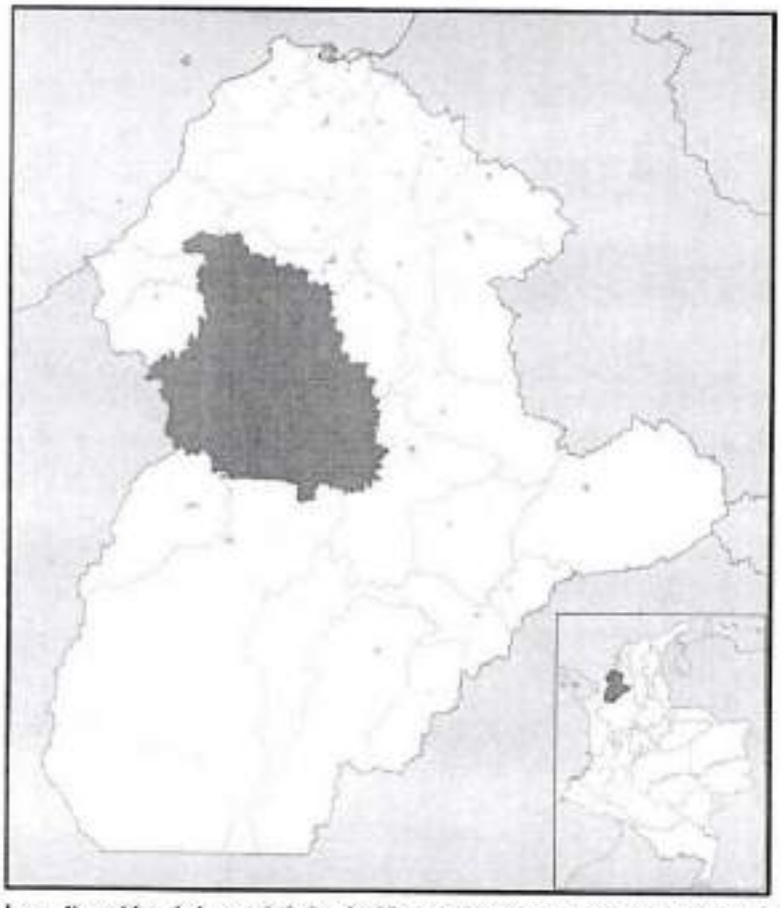


Figura 4. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba.
Fuente: Wikipedia, la enciclopedia libre. "Montería"
Disponible en la web: http://es.m.wikipedia.org/wiki/Colombia_-_Córdoba_-_Montería.svg

3.3. Información del Municipio de Montería.

El área rural del municipio de Montería se divide en 29 corregimientos, 168 veredas y 9 Unidades Espaciales de Funcionamiento (UEF) y el área urbana en 207 barrios. Estos barrios se agrupan en 9 comunas y en 5 piezas urbanas. Los corregimientos que conforman el municipio son Morindó Central, Santa Lucía, Santa Clara, Caño Viejo Palotal, Nuevo Paraíso, Martinica, Leticia, Pueblo Bujo, Lomas Verdes, Jaraquiel, Las Palomas, Guasimal, El Sabanal, El Kilómetro Doce, El Cerrito, Patio Bonito, La Victoria, Guateque, San Isidro, San Anterito, Nueva Lucía, Santa Isabel, Tres Palmas, Tres Piedras, Buenos Aires, La Manta, Nueva Esperanza y Garzones.

3.4. Clases de suelos municipio de Montería.

El municipio de Montería presenta la siguiente clasificación de suelos:

- **Suelo de consolidación urbana:** Está constituido por la porción del territorio, que se consolidará para el uso urbano durante la vigencia del presente Plan de Ordenamiento Territorial, según lo determinen los programas de ejecución.
- **Suelo rural:** Está constituida por los terrenos no aptos para el uso urbano, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales y actividades análogas.

Categorías de suelo: El suelo del Municipio de Montería se clasifica en suelo urbano, rural y de expansión urbana, así:

Suelo rural: 308.812 ha
Suelo Urbano: 4.435 Ha
Suelo de expansión: 1.724

Suelo rural: El suelo rural está constituido por los terrenos que, por razones de preservación de los recursos naturales, oportunidad productiva o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de explotación de recursos naturales o actividades análogas, no son aptos para el uso urbano.

Suelo suburbano: Está constituido por las áreas ubicadas dentro del suelo rural, en las que se mezclan los usos del suelo y las formas de vida del campo y la ciudad, diferentes a las clasificadas como áreas de expansión urbana, que pueden ser objeto de desarrollo con restricciones de uso, de intensidad y de densidad, garantizando el autoabastecimiento en servicios públicos domiciliarios, de conformidad con lo establecido en la Ley 99 de 1993 y en la Ley 142 de 1994.

Hacen parte de las categorías de desarrollo restringido definidas por el decreto 1077 de 2015. Los corredores viales suburbanos se establecen por su por su potencial de conectar el municipio con los municipios circundantes y la ciudad con nodos estratégicos, tienen potencial para la ubicación de actividades de transformación de productos, con un ancho de 300 m. Se reconocen en Montería los siguientes corredores viales suburbanos:
- Vía Montería – Arboletes
- Vía Montería – Planeta Rica
- Vía sector El Amparo – Tierralta hasta el sector Tres Piedras
- Vía Santa Lucia - San Pelayo

- Caserío km 15 - San Carlos

Suelos de expansión: El suelo de expansión está constituido por la porción de territorio municipal que se habilitará para el uso urbano.

Suelo Urbano: El suelo urbano del Municipio de Montería está conformado por las áreas destinadas a la prestación de usos urbanos, aglomeración de personas, por presentar un nivel de consolidación importante caracterizado por la existencia de soportes territoriales como las redes de servicios públicos domiciliarios, un sistema de equipamientos, un sistema de espacio público urbano y una red vial jerarquizada, que posibiliten su urbanización y edificación. La conformación del suelo urbano se divide en los siguientes sectores o polígonos.

Ciudad principal: 4272 ha
Villa Cielo: 36 ha
Garzones: 127 ha

Su Cabecera Municipal o área urbana está dividida en 207 barrios agrupados en 9 comunas.

3.5. Clima.

El clima en Montería se clasifica según el sistema de L. R. Holdridge como una formación vegetal de bosque seco tropical.
El promedio de lluvia total anual es de 1262 mm. Durante el año, presenta una temporada seca y una temporada de lluvias. La temporada seca se extiende de diciembre a marzo. En estos meses llueve entre 0 y 4 día al mes. De mayo a octubre se presenta la temporada de mayores lluvias; la frecuencia de días lluviosos en estos meses es de 15 a 18. Los meses de abril y noviembre pueden considerarse de transición y en promedio se registran alrededor de 8 días con lluvia por mes.
La temperatura promedio es de 27.8°C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 32 y 34°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 22 y 23 °C. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos de principios de año, la insolación oscila entre 6 y 8 horas/día.
La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 76 y 82 %, siendo mayor en los meses de octubre y noviembre. El brillo solar anual varía entre 1.800 y 2.100 horas de luz.
La evapotranspiración potencial (E.T.P.), presenta un área definida como de núcleo central regional del valle del Sinú que va en el rango de 1700 - 1750 mm anuales decreciendo hacia las zonas extremas de la cuenca hasta los 1650 mm/año.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES.

Las vías urbanas se jerarquizan según su función en autopistas, arterias, colectoras y de servicio.

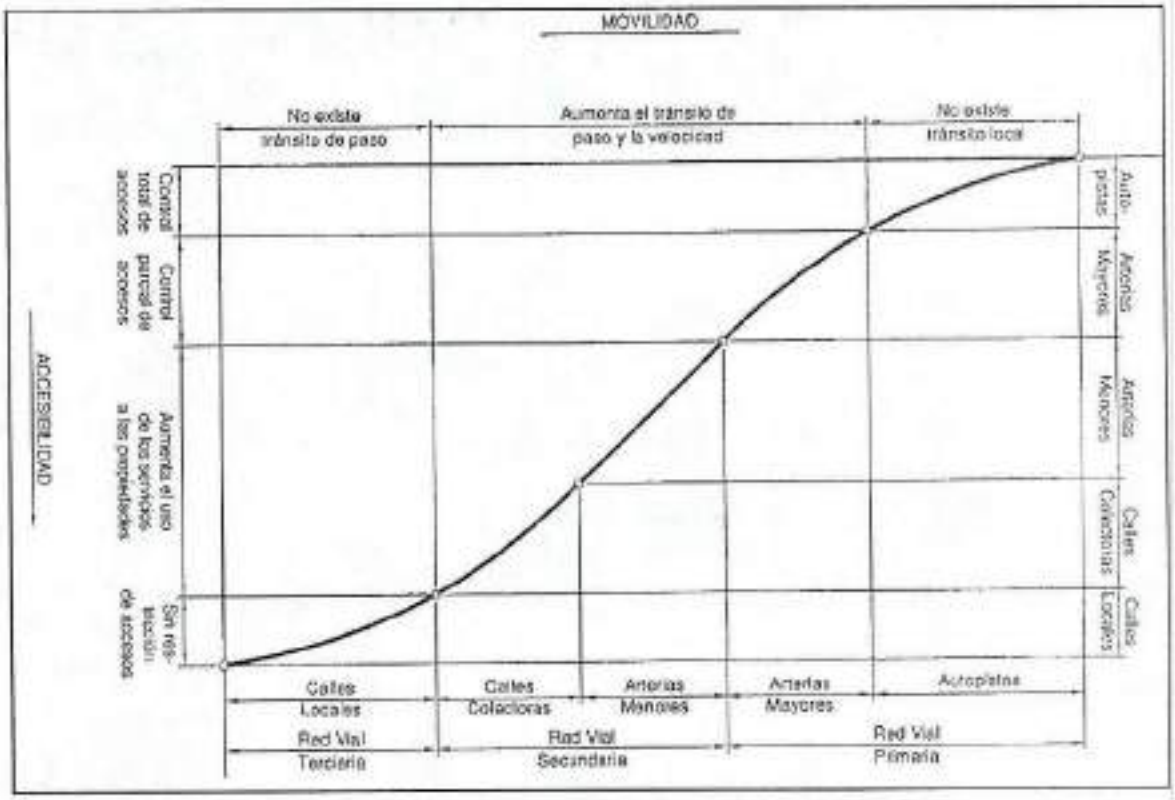


Figura 5. Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano.
Fuente: Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G. "Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones". 8ª Edición.

Según la ubicación e importancia de la vía donde se va a realizar el proyecto esta se denomina una vía secundaria colectora.

5. RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

5.1. Visita en campo.

Se realizó una visita de campo en la vía en estudio, en la que se llevó a cabo un aforo vehicular identificando los movimientos vehiculares direccionales, de manera cualitativa el grado de congestión el cual influye en la capacidad y niveles de servicio, y se realizó un registro fotográfico de las condiciones actuales de la vía.

5.2. Aforos vehiculares.

Para la acumulación de la información requerida para cuantificar el transito existente de la vía se realizaron aforos vehiculares en tres (3) días, de los cuales dos (2) durante la semana y uno (1) en el fin de semana entre el 25 de Marzo y 27 de Marzo del 2021. (Ver anexo, tabla de aforos)
Los aforos se tomaron desde las 6:00 am hasta las 6:00 pm y los volúmenes se tomaron en periodos de 15 minutos durante las horas de aforo, discriminados en autos, buses y camiones. (También se referenciaron las motos, pero no son tenidas en cuenta para el cálculo del TPDs).
Las estaciones de conteo se ubicaron en la calle 41 con carrera 3ª sentido oeste-este.

5.3. Transito promedio diario.

Se define el volumen de transito como el número total de vehículos que pasan durante un periodo de tiempo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido por el número de días del periodo. De manera general se expresa como:

$$TPD = \frac{N}{1dia < T \leq 1año}$$

Donde N representa el número de vehículos que pasan durante T días. De acuerdo al número de días del periodo, se pueden presentar los siguientes volúmenes:

TPDA (Tránsito promedio diario anual).
TPDM (Tránsito promedio diario mensual).
TPDS (Tránsito promedio diaria semanal).

En nuestro caso para el cálculo del proyecto se utilizará el transito promedio diario semanal.
A continuación, se muestra el resumen de los resultados obtenidos en los aforos (Ver anexos. Tabla de aforos) durante los cuatro días que se llevó a cabo el trabajo en campo.

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO
	25/03/2021	26/03/2021	27/03/2021	
AUTOMOVIL	3251	3534	3340	3375
BUS	163	159	163	162
C2P	219	269	266	252
C2G	190	237	190	206
C-3	90	83	90	88
C2-S2	10	11	10	11
C3-S2	8	8	8	8
C3-S3	15	15	15	15
TOTAL	**3946**	**4316**	**4082**	**4117**

Tabla 2. Valor obtenido de TPDs en el aforo vehicular realizado en la calle 41 con 3, sentido Oeste-este.
Fuente: Elaboración propia.

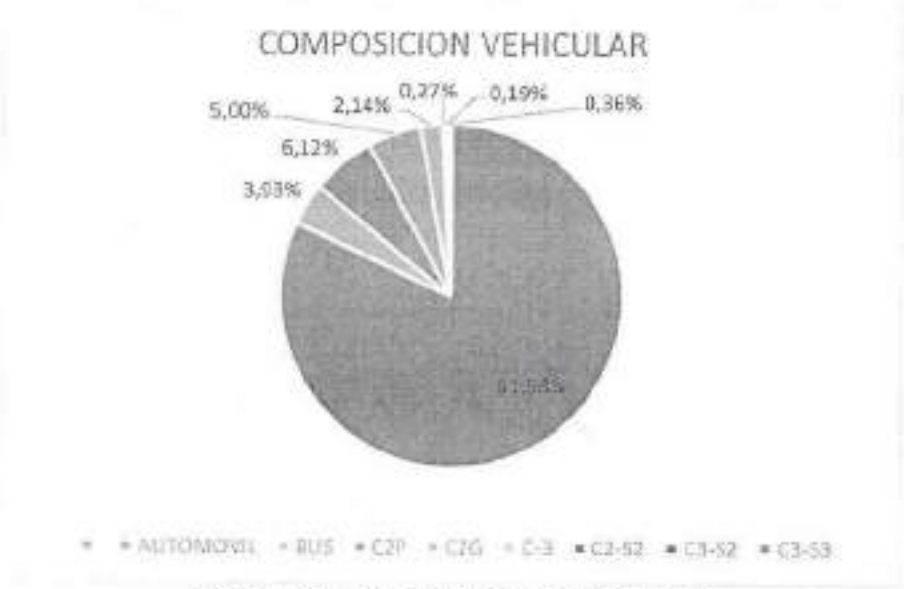
Luego tenemos:
TPDs= 4117 veh/día.

5.3.1. Composición vehicular.

La composición vehicular sirve para tener una estimación del tipo de vehículos que circulan en la vía en sus condiciones actuales, la cual se expresa en porcentajes. En este caso se tiene en cuenta la cantidad de motocicletas que fueron tomadas en los aforos. A continuación, se muestra la composición vehicular:

TIPO DE VEHICULO	VOLUMEN			PROMEDIO	COMPOSICION VEHICULAR
	25/03/2021	26/03/2021	27/03/2021		
AUTOMOVIL	3251	3534	3340	3375	81,98%
BUS	163	159	163	162	3,93%
C2P	219	269	266	252	6,12%
C2G	190	237	190	206	5,00%
C-3	90	83	90	88	2,14%
C2-S2	10	11	10	11	0,27%
C3-S2	8	8	8	8	0,19%
C3-S3	15	15	15	15	0,36%
TOTAL	**3946**	**4316**	**4082**	**4117**	**100%**

Tabla 3. Composición vehicular de las vias en estudio.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 1. Composición vehicular de la vía.
Fuente: Elaboración propia.

En las vías donde se hizo el aforo, en el sentido oeste-este predomina el flujo de vehículos automóviles con un 81.98% en el sentido 1 respectivamente. luego le siguen en orden de magnitudes los camiones.

5.3.2. Variación horaria del volumen de tránsito.

Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de transito según sus movimientos direccionales.
Según los aforos vehiculares, el día de mayor flujo vehicular fue el día viernes, a continuación, se muestra la variación vehicular de este dia:



Gráfica 2. Variación horaria del volumen de tránsito de la vía del día de mayor tráfico. Fuente: Elaboración propia.

Las variaciones horarias muestran que, durante el día, los vehículos que más circulan son los autos y camiones, por lo tanto, los diseños geométricos deben estar acordes con el vehículo de diseño en este caso, automóviles y camiones.

5.3.3. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda.

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de transito dentro de una misma hora de demanda, para una calle o intersección especifica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios dias de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo.
Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora máxima.
Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})}$$

Dónde:
FHMD: Factor de la hora de máxima demanda.
VHMD: Volumen horario de máxima demanda.
Qmáx: Volumen máximo.
N: Número de periodos durante la hora de máxima demanda.

Los valores estimados de hora pico, volumen de hora pico y factor de hora pico, se muestran a continuación por cada grupo trabajado.



Gráfica 3. Variación del volumen de tránsito en un día.
Fuente: Elaboración propia.

Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) es a medio dia y su volumen horario es:

VHMD	449veh/hr
HORA	12-1

A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en cada hora pico:



Gráfica 4. Variación del volumen de tránsito en la hora pico en un día.
Fuente: Elaboración propia.

Luego tenemos que los volúmenes de máxima intensidad en periodos de 15 minutos son:

HORA	VOLUMEN
12:15:00 p. m.	113
12:30:00 p. m.	114
12:45:00 p. m.	117
1:00:00 p. m.	105

Por lo cual tenemos que el factor de máxima demanda (hora pico) es de 0,96 valores que indican que existen variaciones considerables del volumen de vehículos cada ¼ de hora.

5.3.4. Factores de distribución.

Los datos obtenidos en los conteos corresponden al total de los vehículos que circulan en ambos sentidos, por lo cual el factor direccional (D_D) será igual a 0.50. De acuerdo a lo recomendado por el Instituto Nacional de Vías en la *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*.

←←←←← 50%

50% →→→→→

Debido a que la vía en estudio es de dos carriles; y cada uno en cada dirección tomamos el valor para el factor de distribución (Dc) de 1.

NUMEROS DE CARRILES EN CADA DIRECCION	FACTOR DE DISTRIBUCION PARA EL CARRIL DE DISEÑO (D_C)	
	INVIAS	AASHTO 2002
1	1	1
2	0,9	0,9
3	0,75	0,6
4	SIN INF.	0,4

Tabla 4. Factores de distribución por carril (DC)
Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS de 1998 y según el método AASHTO 2002.

5.4. Transito futuro.

El transito futuro se determina en función del tránsito inicial, el cual debe proyectarse hacia el futuro una vez se ha establecido el periodo de diseño, esto se hace a través de la estimación de la tasa anual de crecimiento del tránsito.

$$Tn = Ti * (1 + r)^n$$

Dónde:
Tn: Transito en cualquier año n.
Ti: Transito en el año cero (inicial).
r: Tasa de crecimiento anual del tránsito, se asume un valor del 3% siendo este el valor máximo valor recomendado por la AASHTO para casos en donde se da un crecimiento normal.
N: Periodo de diseño, comúnmente se utiliza para diseños de pavimento rigido un periodo de diseño de 20 años, en este caso este periodo estará comprendido entre los años 2021 y 2041.

El tránsito en el año cero o inicial se estima como la suma del tránsito existente (TE), el atraído (Tat) y el generado (TG).

$$Ti = TE + Tat + TG$$

Dónde:

TE: Se estima a través de aforos vehiculares en las vias de estudio.
T_{at}: Al no disponer de información más precisa, se puede aplicar el criterio del instituto de ingenieros de Estado Unidos que señala que al tránsito atraído se le asignan porcentajes entre el 5 y el 25% del tránsito normal, con un periodo de aparición de uno (1) o dos (2) años después que la carretera ha sido abierta al servicio.
Por las características de la via a pavimentar, la cual colinda con dos vías principales (carrera 4 y Avenida Circunvalar), se debe asumir un porcentaje alto de transito atraído, se establece entonces que el transito atraído una vez la vía sea pavimentada del 23% del tránsito existente.
TG: Al tránsito generado se le asignan tasa de incremento entre el 5 y 25% del tránsito actual. Con un periodo de generación de uno (1) a dos (2) años después de que la carretera ha sido abierta al servicio. Se establece entonces que el transito generado es del 20% del tránsito existente, debido a las mismas razones del tránsito atraído.

Nota: La formulación sirve para estimar el tránsito en cualquier año n.

A continuación, se muestra el valor del tránsito inicial de la vía:

Aforo calle 41 sentido OESTE-ESTE				
objeto	TPDS	T_{at}	TG	T_i
Transito	4117	947	823	5887
T_i año base				5887

Tabla 5. Transito inicial.
Fuente: Elaboración propia.

Luego tenemos que para un periodo de diseño de 20 años tenemos:

$$T_{20} = 5887 * (1 + 0{,}30)^{20} = 1'118.822{,}22 \ veh/dia$$

5.5. Cálculo del número de repeticiones esperadas.

La información referente al tráfico es empleada para conocer el número de repeticiones esperadas por tipo de eje en el periodo de diseño (método de la PCA).
Los parámetros requeridos para su cálculo son los siguientes:

- Transito promedio diario.
- Composición vehicular.
- Tasa de crecimiento anual del tránsito.
- Factor direccional.
- Factor distribución por carril.
- Periodo de diseño.

5.5.1. Repeticiones esperadas.

De acuerdo con los anteriores factores, el número de repeticiones esperadas se calcula como sigue y se discrimina por tipo de eje:

$$NVC = TPD * \%Te * D_p * D_C * 365 * Fp$$

Dónde:

NVC: Número de vehículos comerciales en el carril de diseño durante el periodo de diseño.
TPD: Tránsito promedio diario.
%Te: Porcentaje del TPD para cada tipo de eje.
D_D: Factor Direccicnal.
D_C: Factor distribución por carril.
Fp: Factor de proyección.

$$Fp = \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)}$$

Siendo:
r: Tasa de crecimiento anual del tránsito
n: Periodo de diseño 2014 a 2034 (20 años).

Para el valor de la tasa de crecimiento (r) como no se tiene la información necesaria para estimar un valor real, se asume el criterio de la siguiente tabla:

Valores comunes de tasa de crecimiento

Caso	Tasa de Crecimiento
Crecimiento normal	1% al 3%
Vias completamente saturadas	0% a 1%
Con tráfico inducido*	4% a 5%
Alto crecimiento *	mayor al 5%

*solamente durante 3 a 5 años

Tabla 6. Valores comunes de tasa de crecimiento.
Fuente: Método de diseño AASHTO.

Por lo anterior se asume una tasa de crecimiento (r): 3%
En base a los aforos realizados en campo y el transito calculado en el año base tenemos:

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO Y TOTAL	
Transito diario (TPD)	4117
Factor sentido	0,5
Factor carril	1
Tasa de crecimiento	3,00
Periodo de diseño	20

VEHÍCULOS	%	NÚMERO DE VEHÍCULOS DIARIOS	FACTOR DAÑO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO
		4117		
Autos	81,96%	3375	0,00	0
Buses	3,93%	162	0,42	68
Camiones	7,70%	317		
C2P	6,12%	252	0,31	78
C2G	5,00%	206	2,89	595
C3	2,14%	88	5,31	467
C3S2	0,19%	8	8,37	67
C3S3	0,36%	15	5,82	87
TRÁNSITO EQUIVALENTE DIARIO				1363
TRÁNSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO				6.684.134,63

Tabla 7. Tabla de distribución vehicular en la vía.
Fuente: Elaboración propia.

Las repeticiones esperadas calculadas para la vía en estudio son las siguientes:

INFORMACION PARA ESPECTRO DE CARGA											
VEHÍCULOS	NÚMERO DE VEHÍCULOS ACUMULADOS	EJES SIMPLE RUEDA SIMPLE				EJES SIMPLE RUEDA DOBLE		EJE TANDEM			EJE TRIDEM
		2,5	4	6	7	8	11	21	21	22	35
Autos	16.559.471,20										
Buses	794.422,62		794.422,62			794.422,62					
Camiones											
C2P	1.239.768,52	1.239.768,52				1.239.768,52					
C2G	1.010.191,73			1.010.191,73			1.010.191,73				
C3	431.538,21			431.538,21					431.538,21	431.538,21	
C3S2	39.230,75			39.230,75				39.230,75			
C3S3	73.557,65				73.557,65			73.557,65			73.557,65
TOTALES											
	20.135.189,77	1.239.768,52	794.422,62	1.481.960,69	73.557,65	2.008.191,14	1.010.191,73	112.788,40	431.538,21	431.538,21	73.557,65

Tabla 8. Tabla de repeticiones esperadas en la vía.
Fuente: Elaboración propia.

Estos valores son necesarios para el diseño del pavimento por el método (PCA)

6. SEÑALIZACIÓN.

Es función de los dispositivos para la regulación del tránsito indicar a los usuarios las precauciones que debe tener en cuenta, las limitaciones que gobiernan el tramo de circulación y las informaciones estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la vía.

Para garantizar la visibilidad de las señales y lograr la misma forma y color tanto en el día como en la noche, los dispositivos para la regulación del tránsito deben ser elaborados preferiblemente con materiales reflectivos o estar convenientemente iluminados. La reflectividad se consigue fabricando los dispositivos con materiales adecuados que reflejen las luces de los vehículos, sin deslumbrar al conductor.

Existen dos tipos de señalización, la señalización vertical y la horizontal. La señalización vertical se subdivide de acuerdo con la función que cumplen en:

- Señales preventivas.
- Señales reglamentarias.
- Señales informativas.

Las señales horizontales pueden ser:

- Marcas longitudinales.
- Marcas transversales.
- Marcas de bordillo y sardineles.
- Marcas de objetos.

Adicionalmente se deben usar señales de construcción debido a que se realizaran obras en la vía.

6.1. Estado actual de señalización de la vía.

La revisión del estado actual de las señales se hace a través de un recorrido en el sitio del proyecto se verifico debido a las condiciones actuales de la vía, la cual es en material de afirmado y la mayor cantidad de flujo es de motocicletas por lo cual no tiene ningún tipo de señalización en sus condiciones actuales.

A continuación, se muestran las señales necesarias para la ejecución de la obra y las definitivas que deben quedar en la vía terminada, para esto se sugiere enviar una petición

al ente regulador encargado INVIAS para que se haga presencia en el lugar con la instalación de las señales.

6.2. Recomendaciones de señalización.

A continuación, se describen las señales más comunes a utilizar y su función, tanto señales verticales como horizontales, en el numeral siguiente se especifica para cada grupo cuales se utilizaron.

6.2.1. Señalización vertical.

a) **Señales preventivas:**

- UBICACIÓN DE RESALTO SP-25A



Figura 6. Señal preventiva SP-25A.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2015.

Esta señal se emplea para indicar al conductor el sitio específico de ubicación de un reductor de velocidad.3.

- CIRCULACIÓN EN DOS SENTIDOS (SP-39)



Figura 7. Señal preventiva SP-39.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2015.

Esta señal se empleará para advertir al conductor que transita por una vía de un solo sentido, que se aproxima a un tramo de la vía, sin separador central, en el cual la circulación se efectúa en los dos sentidos.
También se deberá usar para advertir al conductor que circula por una vía de tres carriles, el inicio de un tramo de vía con dos carriles de distintos sentidos. En tal caso será complementada con la señal SR-11 - Doble vía. En el caso del proyecto se instalarán 2.

Esta señal se empleará para advertir al conductor la proximidad a una zona de actividad escolar, en la cual puede existir un cruce especial destinado a los escolares. En el proyecto se requieren 2.

- CURVA (SP-03 Y SP-04)



Figura 8. Señal preventiva SP-03 y SP-04
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2015.

Esta señal se emplea para indicar la proximidad de una curva pronunciada a la izquierda o a la derecha.

b) **Señales reglamentarias:**

- PROHIBIDO PARQUEAR SR-28°:



Figura 9. Señal reglamentaria SR-01.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2015.

Esta señal se usa para indicar la prohibición de parquear a partir del sitio mismo donde ella se encuentra hasta la siguiente intersección.

- "PARE SR-01":



Figura 10. Señal reglamentaria SR-01.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2015.

Se empleará para notificar al conductor que debe detener completamente el vehículo y sólo reanudar la marcha cuando pueda hacerlo en condiciones que eviten totalmente la posibilidad de accidente. Se necesitan dos en el proyecto.

- VELOCIDAD MÁXIMA (SR-30):



Figura 11. Señal reglamentaria SR-30.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2015.

Esta señal se empleará para notificar la velocidad máxima a la que se puede circular (velocidad de operación), expresada en múltiplos de 10 y en kilómetros por hora (km/h). Se utilizará como complemento a las señales preventivas SP-47 y SP-48, en las zonas de circulación de niños. Para el caso del proyecto se requieren 2.

- SENTIDO DE CIRCULACIÓN DOBLE (SR-39):

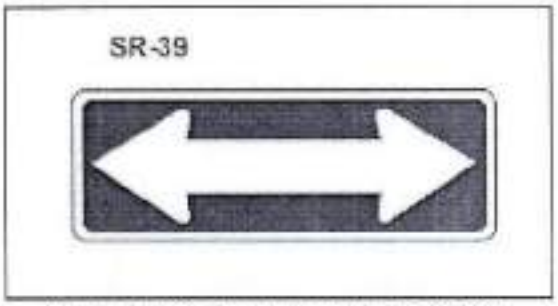


Figura 12. Señal reglamentaria SR-39.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2004.

Indica a los usuarios en doble sentido de circulación de la vía a la cual va a entrar. En el proyecto se requieren 2.

Resumen de señales necesarias al finalizar la vía:

SEÑALES DE TRANSITO	
TIPO	**CANT**
preventivas	7
reglamentarias	10
TOTAL	**17**

c) Ubicación y altura de las señales verticales.

La señal se ubicará en el sitio mismo a partir del cual empieza a aplicarse la reglamentación o prohibición descrita en la señal, al lado derecho.
En vías rurales como la que se van a diseñar, las señales deben tener al menos 0.30 m entre el borde del pavimento y el extremo más sobresaliente de la señal; la altura de la señal medida desde su extremo inferior hasta la cota del borde del andén no debe ser menor de 2.00 m, como se muestra a continuación:

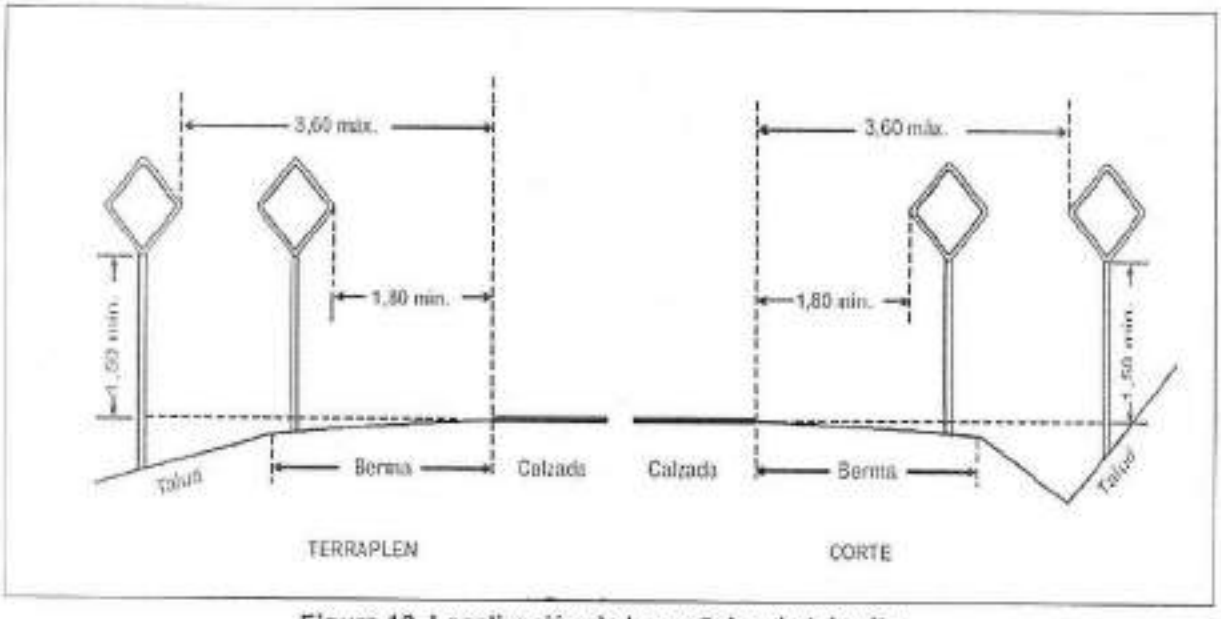


Figura 13. Localización de las señales de tránsito.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2004.

Nota: Las señales deben cumplir con las especificaciones dadas en el manual de señalización dado por el INVIAS.

6.2.2. Señalización de carreteras afectadas por obras.

Mientras se ejecutan las obras para la construcción del pavimento, se debe utilizar señalización que prevenga a los peatones y conductores, deberán ubicarse con anterioridad al inicio de la obra y permanecer durante la ejecución de la misma, serán retirados una vez cesen las condiciones que dieron origen a su instalación.

A continuación, se muestran algunas de las señales a utilizar:

- TRABAJOS EN LA VÍA (SPO-01).



Figura 14. Señal preventiva SP0-01.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2004.

- MAQUINARIA EN LA VÍA (SPO-02).



Figura 15. Señal preventiva SP0-02.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2004.

- DESVÍO (SRO-02).



Figura 16. Señales preventivas SR0-02.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2004.

- INFORMACIÓN DE INICIO O FIN DE OBRA (SIO-02 y SIO-03).

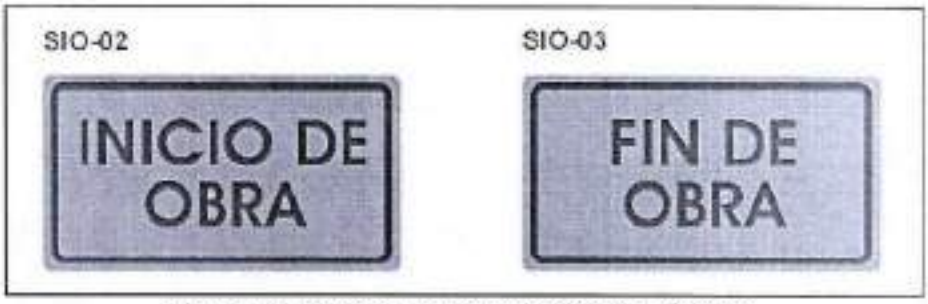


Figura 17. Señales preventivas SIO-02 y SIO-03.
Fuente: Manual de señalización del INVIAS, 2004.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Teniendo como base los estudios en campo (aforos) se estimó el transito promedio diario semanal (TPDs), a su vez el transito atraído y generado, con dichos parámetros se estableció el transito futuro que pasara por la vía cuando se encuentre en funcionamiento.
- Se calcula las repeticiones admisibles y esperadas que producirán los vehículos que transitarán en la vía a diseñar cuando se encuentre en funcionamiento.
- Se recomienda el uso de las señales de tránsito al momento que se inicie la construcción de la vía, para evitar algún accidente o percances que se puedan presentar durante la ejecución de los trabajos.
- La cimentación de las señales de tránsito se realizará a través de cimientos aislados de sección cuadrada con lado igual a 0.50 m.

8. BIBLIOGRAFÍA.

Como parte de este estudio se utilizó la siguiente bibliografia:

- Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G. "Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones". 8ª Edición.
- Manual de señalización del INVIAS, 2015.
- Instituto geográfico Agustín Codazzi. "Estudio general de suelos y zonificación de tierras – Departamento de Córdoba". Imprenta nacional de Colombia, Bogotá D.C. 2009.

ESTUDIO DE TRANSITO PARA EL PROYECTO CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO DE LAS VIAS EN EL BARRIO SUCRE Y PLAYA BRIGIDA, EN EL MUCICIPIO DE MONTERIA-COMUNA 7

9. LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

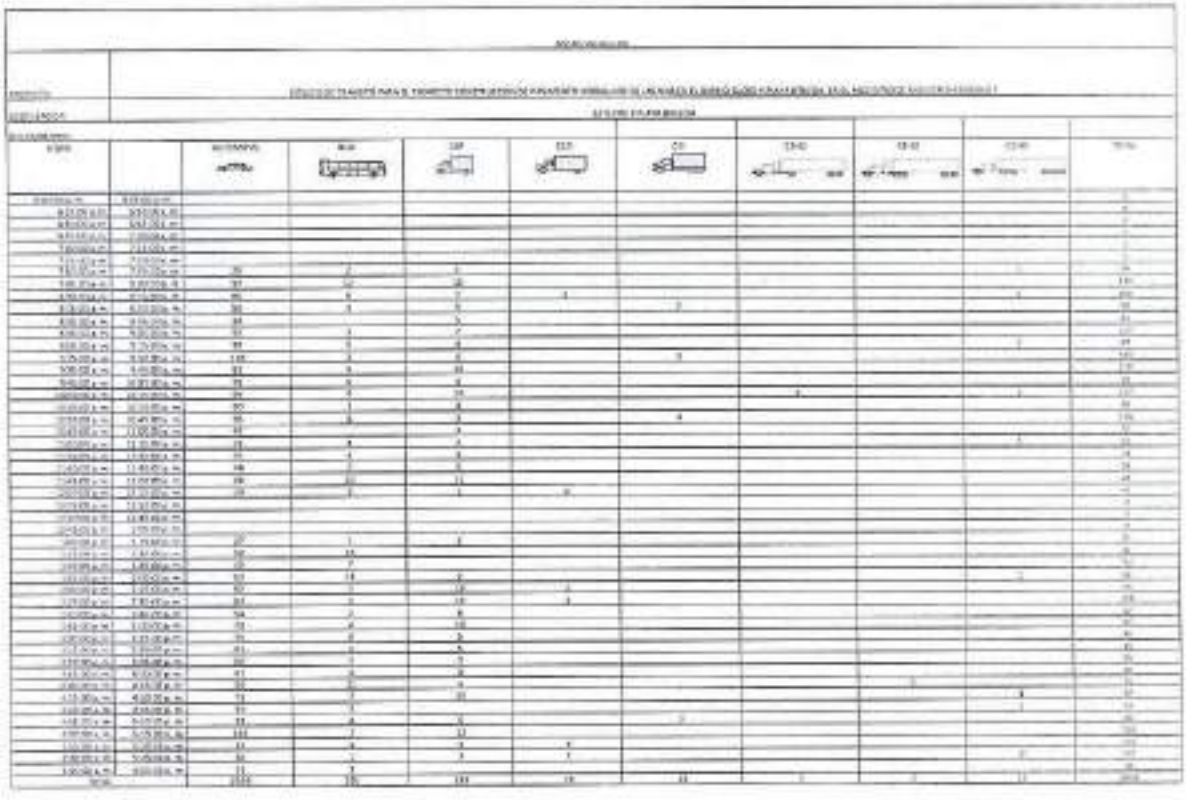
Este documento fue realizado basándose en unas condiciones de tránsito adoptadas y consideraciones particulares. Es necesario que durante la ejecución de los trabajos se lleven y se tomen las medidas y controles recomendados. Cualquier cambio que se realice sin previo conocimiento por parte del consultor durante las obras no garantizará tales situaciones.

Responsable del estudio

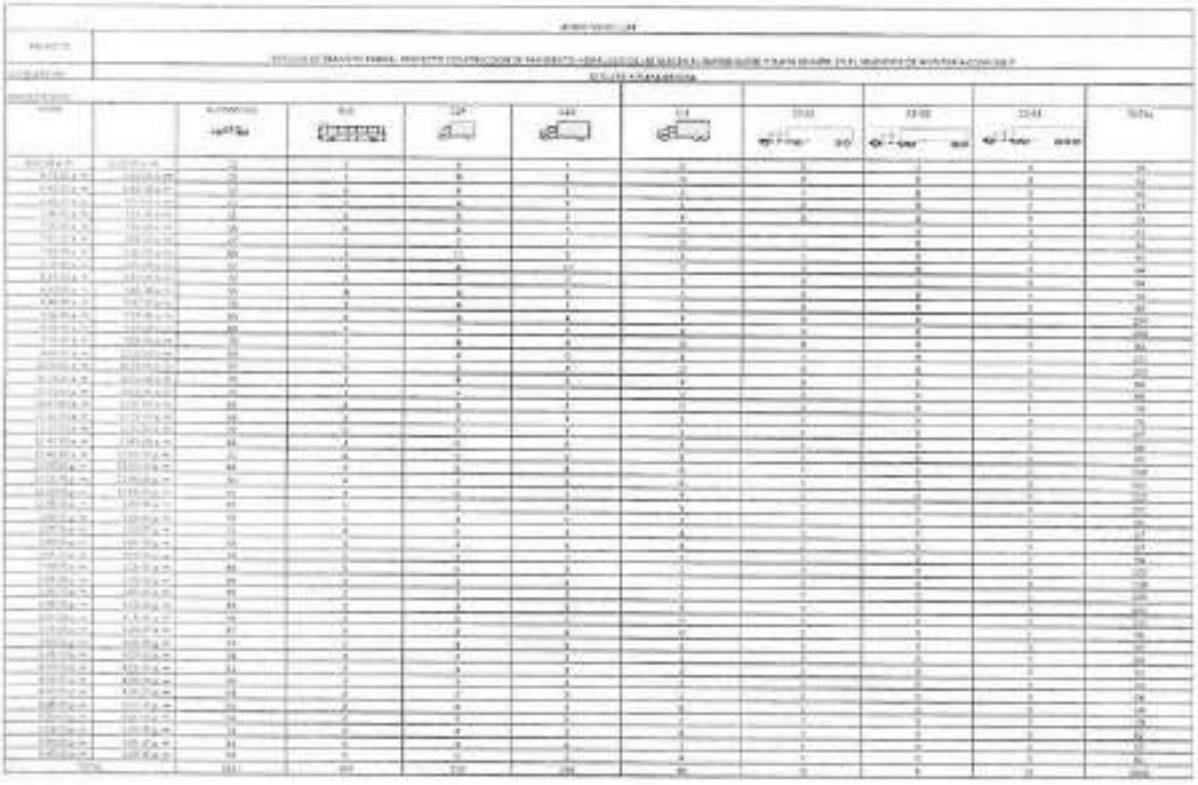
Ingrid Morales Avila
Ing. Civil Esp. En Vias Y Transporte

ANEXO 1.
PLANO CON SEÑALIZACIÓN PROYECTADA.

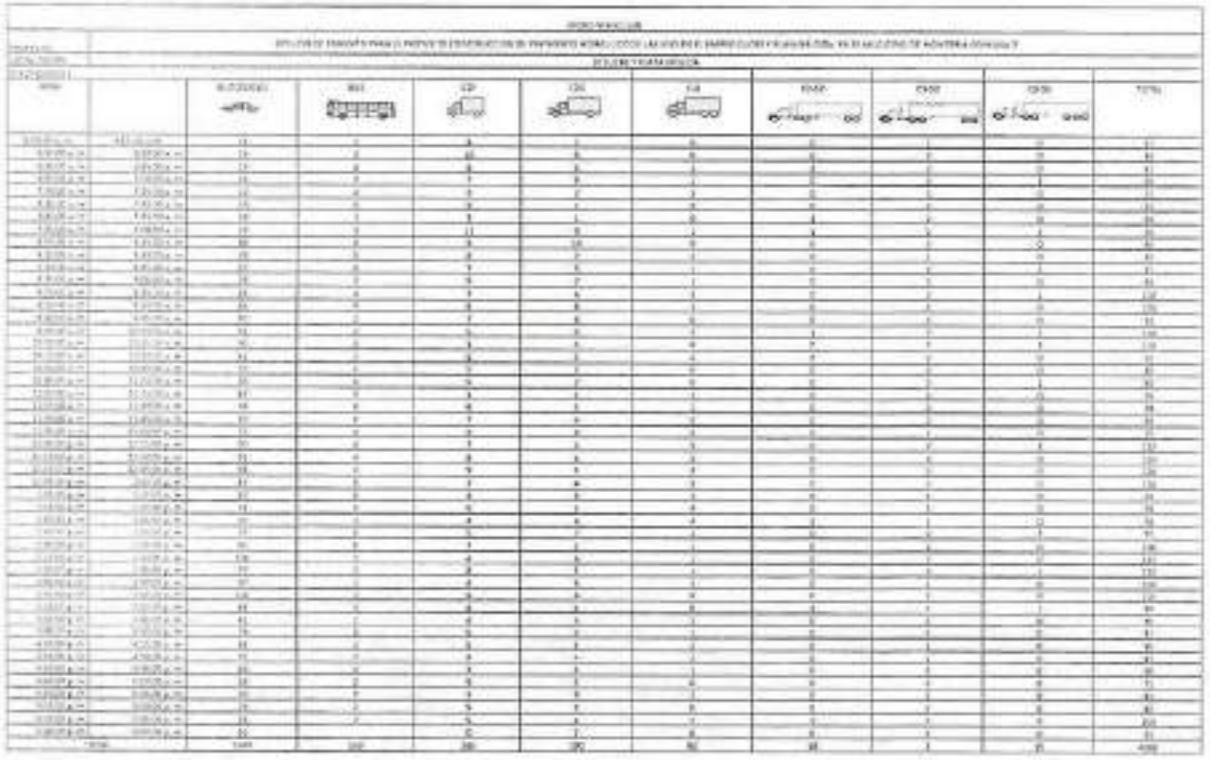
ANEXO 2.
AFOROS VEHICULARES.



566/k







ESTUDIO DE TRANSITO (ITEM 12) SAN FRANCISCO (MC)2

568/K

PABLO CASTILLA NEGRETE

Estudios Geotécnicos y Ambientales

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE 10 KM DE VÍAS URBANAS Y/O RURALES EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DE ACUERDO CON LAS METAS E INDICADORES ESTABLECIDOS EN EL PLAN DE DESARROLLO "GOBIERNO DE LA GENTE "2020-2023".

ESTUDIO DE TRÁNSITO LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO HIDRÁULICO EN LOS BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA



I.C. PABLO CASTILLA NEGRETE.

ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES.

ESPECIALISTA EN INGENIERÍA AMBIENTAL.

ESPECIALISTA EN PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES.

ESPECIALISTA EN GERENCIA PARA INGENIEROS.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN. **7**
2. OBJETIVOS Y ALCANCES. **8**
2.1. Objetivo. 8
2.2. Alcances. 8
3. GENERALIDADES. **9**
3.1. Generalidades del municipio. 9
3.2. Geología. 10
3.3. Geomorfología. 13
3.4. Geoestructura y ambiente morfométrico. 14
3.5. Clima. 14
3.6. Vegetación. 17
4. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO. **18**
4.1. Aforo vehicular. 19
4.2. Tránsito promedio diario. 20
4.2.1. Composición vehicular. 20
4.2.2. Variación horaria del volumen de tránsito. 21
4.2.3. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda. 22
4.3. Proyección del tránsito. 23
4.4. Factores de distribución. 24
4.5. Tasa de crecimiento anual del tránsito. 24
4.6. Periodo de diseño. 24
4.7. Cálculo del número de repeticiones esperadas y ejes equivalentes a 8.2 t en el año base.25
4.7.1. Repeticiones esperadas. 25
4.7.2. Ejes equivalentes a 8.2 t en el año base. 26
4.8. Descripción de las condiciones actuales. 30
5. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN PARA CALCULAR CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO. **31**
5.1. Tipos de análisis y pasos requeridos en la aplicación. 31
5.1.1. Pasos a seguir para un análisis de operación. 32
5.2. Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de la información para usar el manual. 33
5.2.1. Proceso de sectorización 33
5.2.2. Definición del tipo de aplicación 34
5.2.3. Tramos genéricos 34
5.2.4. Rampas de ascenso y descenso 35
5.3. Información necesaria para usar el manual. 35
5.3.1. Variables relacionadas con la geometría 35
5.3.2. Variables relacionadas con el tránsito 36
5.3.3. Volumen de tránsito mixto y factor de hora pico (FHP) 36
5.3.4. Información relacionada con los camiones. 36

5.4. Paso 2: determinación de la curva flujo-velocidad característica del sector de análisis. 36
5.4.1. Determinación de la velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL). 36
5.4.2. Medición en campo de VL. 37
5.4.3. Estimación de VL. 37
5.4.4. Elección de la curva maestra de referencia 41
5.5. Paso 3: cálculo del flujo vehicular 42
5.5.1. Corrección del volumen. 42
5.5.2. Equivalente de camiones. 43
5.5.3. Tipo de terreno genérico. 43
5.5.4. Rampa en ascenso. 44
5.5.5. Consideraciones para análisis de planeación. 48
5.6. Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis (V). 48
5.7. Paso 5: cálculo de la densidad. 48
5.8. Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio. 48
5.9. Paso 7: cálculo del número de carriles (planeación). 49
5.10. Datos de entrada. 50
5.10.1. Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de información necesaria para aplicar el manual. 50
5.10.1.1. Proceso de sectorización. 50
5.10.1.2. Definición del tipo de aplicación. 50
5.10.1.3. Preparación de información necesaria para el manual. 50
5.10.2. Paso 2: determinación de la curva flujo-velocidad característica del sector de análisis. 51
5.10.2.1. Determinación de la velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL). 51
5.10.2.2. Selección de la curva maestra de referencia. 52
5.10.3. Paso 3: Cálculo del flujo vehicular 52
5.10.4. Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis. .. 53
5.10.5. Paso 5: cálculo de la densidad. 53
5.10.6. Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio. 53
6. CONCLUSIONES. 53
7. BIBLIOGRAFÍA. 54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del proyecto en el municipio. 7
Figura 2. Localización del proyecto en la vereda. 8
Figura 3. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba. 9
Figura 4. Mapa subregiones del departamento de Córdoba. 10
Figura 5. Mapa de regiones geotectónicas del departamento de Córdoba. 11
Figura 6. Mapa geológico del proyecto en el corregimiento. 12
Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales. 12
Figura 8. Unidades de paisaje del departamento de Córdoba. 13
Figura 9. Mapa de Geoestructura del departamento de Córdoba. 14
Figura 10. Mapa de Precipitación del departamento de Córdoba. 15
Figura 11. Mapa de Temperatura del departamento de Córdoba. 16
Figura 12. Mapa de Evapotranspiración del departamento de Córdoba. 17
Figura 13. Mapa de Cobertura Vegetal del departamento de Córdoba. 18
Figura 14. Localización del aforo realizado para el proyecto. 19
Figura 15. Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano. 30
Figura 16. Clasificación vial del proyecto. 30
Figura 17. Curvas flujo-velocidad maestras para Colombia. 42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tramos de vías a construir. 8
Tabla 2. Datos climáticos de la Estación Meteorológica Montería. 17
Tabla 3. Valor obtenido de TPDs en el aforo. 20
Tabla 4. Composición vehicular. 21
Tabla 5. Transito inicial 24
Tabla 6. Repeticiones esperadas. 26
Tabla 7. Repeticiones esperadas. 26
Tabla 8. Factores de equivalencia para pavimentos de concreto. 28
Tabla 9. Número de ejes equivalentes a 8.2 t. 29
Tabla 10. Número de ejes equivalentes a 8.2 t. 29
Tabla 11. Tipos de análisis incluidos en el manual. 32
Tabla 12. Clasificación de las carreteras multicarril según sus características geométricas. 38
Tabla 13. Velocidad genérica por tipo de carretera. 39
Tabla 14. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril (fc). 39
Tabla 15. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fS). 40
Tabla 16. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fS). 40
Tabla 17. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (fA). 41
Tabla 18. Coeficientes de las ecuaciones flujo -velocidad. Carreteras multicarril Colombia. 42
Tabla 19. Equivalente de camiones para tipo de terreno genérico 43
Tabla 20. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes. 45

Tabla 21. Equivalentes de camión en pendientes descendentes..... 47

Tabla 22. Niveles de Servicio para carreteras multicarril en Colombia..... 48

Tabla 23. Tasas de flujo máximas por Nivel de Servicio (TFMi)..... 49

Tabla 24. Información de geometría..... 51

Tabla 25. Información de geometría..... 51

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

571/K

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Composición vehicular. 21

Gráfica 2. Variación horaria del volumen de tránsito. 22

Gráfica 3. Intensidad del flujo en la hora pico. 23

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE 10 KM DE VÍAS URBANAS Y/O RURALES EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DE ACUERDO CON LAS METAS E INDICADORES ESTABLECIDOS EN EL PLAN DE DESARROLLO "GOBIERNO DE LA GENTE "2020-2023".

ESTUDIO DE TRANSITO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO EN CONCRETO HIDRÁULICO EN LOS BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE EN EL MUNICIPIO DE MONTERÍA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

INTRODUCCIÓN.

De acuerdo con la solicitud presentada por el MUNICIPIO DE MONTERÍA, se realizó el estudio de tránsito para la construcción de pavimento en concreto hidráulico en los barrios San Francisco y Robles del Norte en el municipio de Montería - departamento de Córdoba.

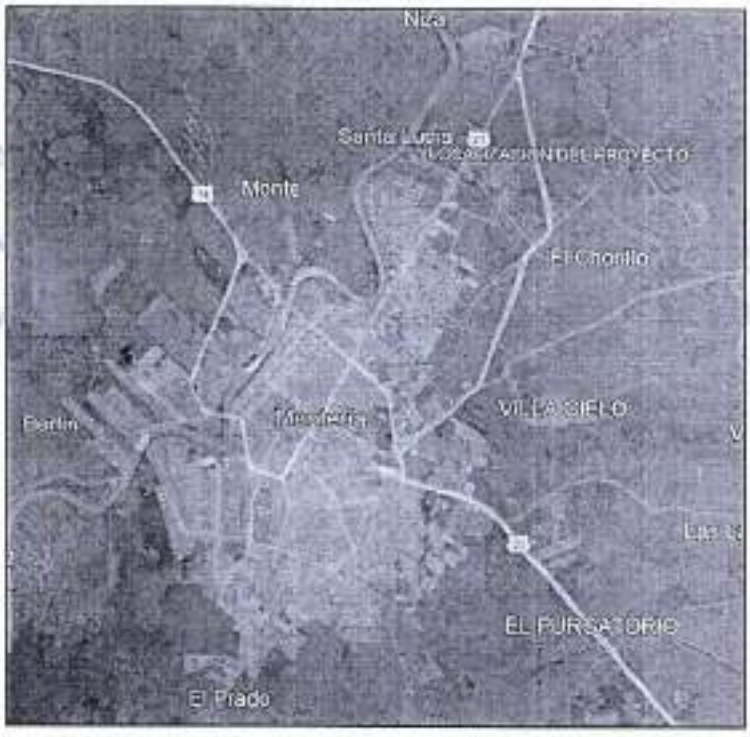


Figura 1. Localización del proyecto en el municipio.
Fuente: Google Earth.

El proyecto consiste en la construcción de 0.66 Km m de pavimento hidráulico (DOBLE CALZADA) distribuido entre los siguientes tramos:

ITEM	DIRECCIÓN	COMUNA/ CORREGIMIENTO	BARRIO/VEREDA
12	Carrera 4 entre las calles 73 Y 77 (DOBLE CALZADA)	8	SAN FRANCISCO – LOS ROBLES

Tabla 1. Tramos de vías a construir.
Fuente: Suministrado por el solicitante.

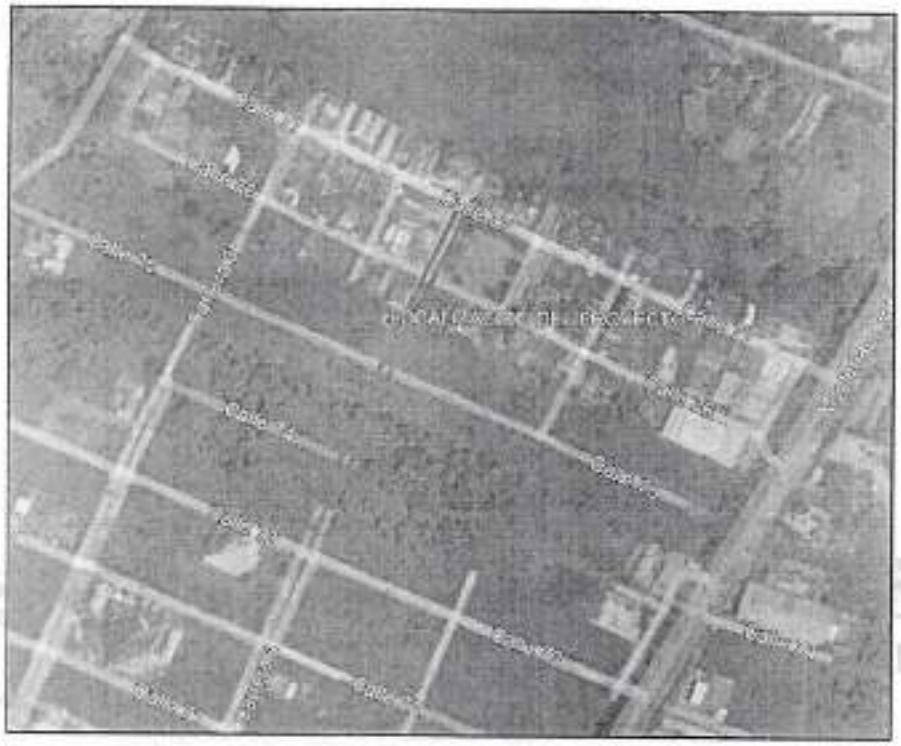


Figura 2. Localización del proyecto en la vereda.
Fuente: Google Earth.

2. OBJETIVOS Y ALCANCES.

2.1. Objetivo.

Determinar las repeticiones esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 t necesarios para realizar el diseño de la estructura de pavimento, teniendo en cuenta el transito actual y futuro de la vía; además de evaluar las condiciones de capacidad y nivel de servicio de la vía.

2.2. Alcances.

Para alcanzar el objetivo planteado se desarrollarán las siguientes actividades:

a) Ubicación general del proyecto.

b) Realización de conteo vehicular.
c) Proyección del tránsito de acuerdo con las características de la vía y el periodo de diseño.
d) Determinación las repeticiones esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 t.
e) Determinar y analizar la capacidad y nivel de servicio de la vía.
f) Conclusiones.

3. GENERALIDADES.

3.1. Generalidades del municipio.

El municipio de Montería está situado en la zona centro del departamento de Córdoba, correspondiente a las tierras planas y ligeramente onduladas, de los valles de los ríos San Jorge y Sinú, entre las coordenadas 08° 45´27" de latitud Norte y 75° 53´24" de longitud Oeste, cubre un área total de 3141 Km².



Figura 3. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba. Fuente: Wikipedia, la enciclopedia libre. "Montería", [En línea]. Julio de 2013, [julio de 2013]. Disponible en la web: https://es.wikipedia.org/wiki/Monter%C3%ADa.

Limita al Norte con el municipio de Cereté, Puerto Escondido y San Pelayo; al este con San Carlos y Planeta Rica; al sur con Tierralta y Valencia; al oeste con el departamento de Antioquia y los municipios de Canalete y San Carlos.



Figura 4. Mapa subregiones del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.2. Geología.

El municipio de Montería hace parte de la unidad estratigráfica del Cinturón de San Jacinto y las unidades litoestratigráficas del anticlinorio de San Jerónimo conformado por rocas ígneas y rocas sedimentarias.

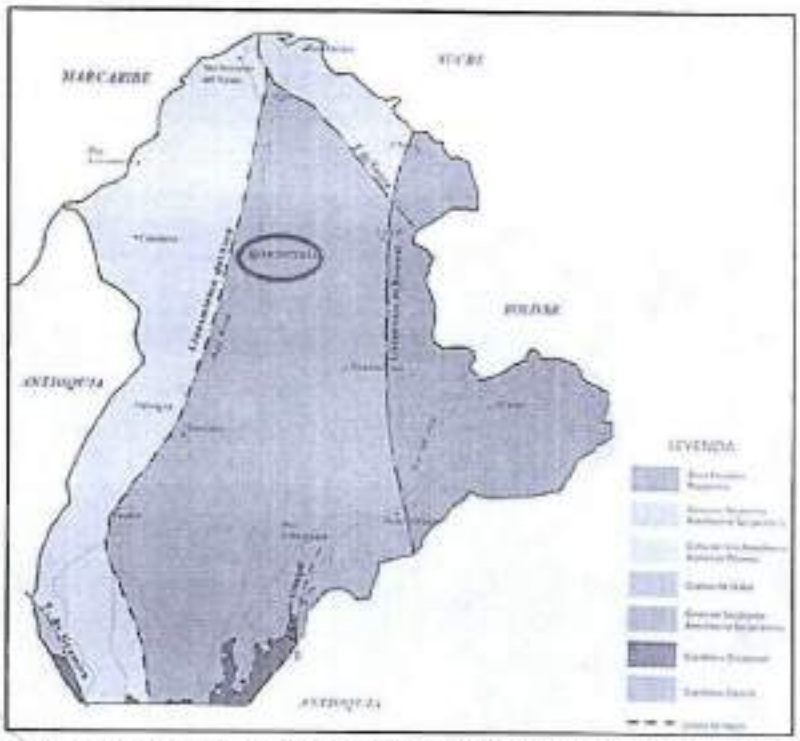


Figura 5. Mapa de regiones geotectónicas del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

La formación geológica en el lugar de construcción del proyecto corresponde a:

Q-al

Depósitos y llanuras aluviales

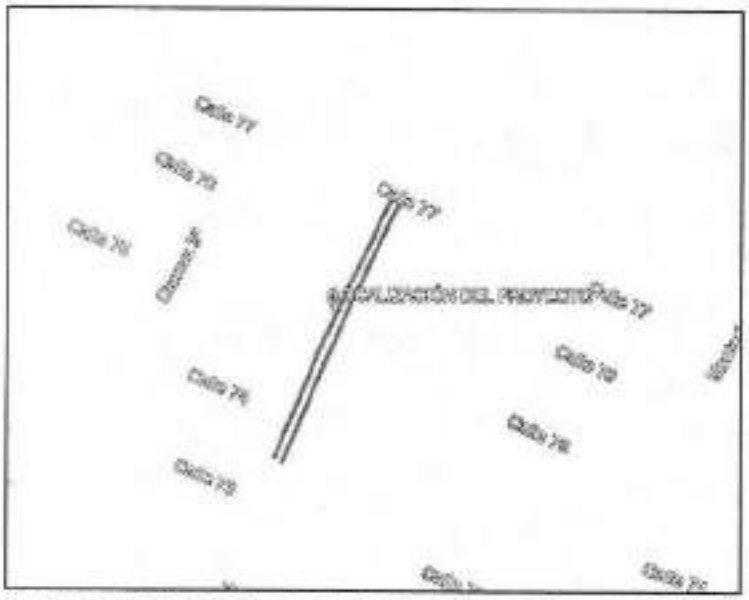


Figura 6. Mapa geológico del proyecto en el corregimiento.
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Los depósitos aluviales son suelos anisotrópicos en su distribución, con propiedades geotécnicas altamente variables, estrechamente relacionadas con la granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos en materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría. Generalmente presentan un nivel freático alto.

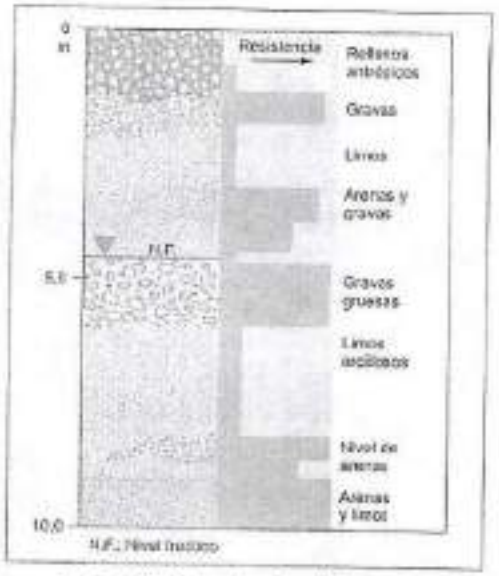


Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales.
Fuente: González Vallejo, "Ingeniería geológica", editorial: PRENTICE HALL.

3.3. Geomorfología.

El río Sinú se caracteriza por formar valles aluviales amplios, entre los cuales está el depósito aluvial del municipio de Montería el cual aflora desde el corregimiento de Santa Isabel, hasta la población de El Vidrial al norte de Montería, donde se forman las zonas planas de gran extensión que incluye las ciudades de Montería y Cereté.

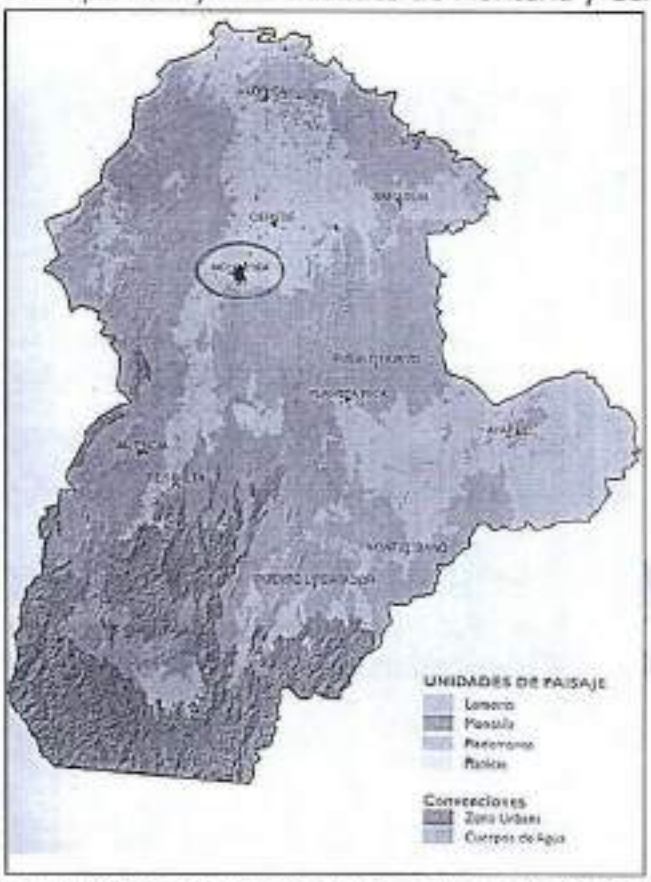


Figura 8. Unidades de paisaje del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El sitio de construcción del proyecto corresponde a un paisaje tipo planicie, con un relieve de plano de inundación y terrazas, con una litología de sedimentos medios y finos.

El paisaje de planicie es una geoforma caracterizada por ser una zona amplia y plana a ligeramente plana, cuyas pendientes son menores a 3.00%. Corresponde a los diferentes aportes de origen aluvial, marino o eólico.

3.4. Geoestructura y ambiente morfométrico.

El municipio de Montería se localiza en la geoestructura correspondiente a la megacuenca de sedimentación ubicada al norte y occidente de la cordillera y se extiende hasta el mar caribe, cubriendo 23.788,87 Km², lo que equivale al 95.40% del territorio del departamento de Córdoba. Geográficamente a esta pertenecen las serranías de Abibe, San Jerónimo, y Ayapel.



Figura 9. Mapa de Geoestructura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.5. Clima.

El municipio de Montería dada su fisiografía y su posición en la llanura del caribe colombiano, se localiza con respecto a los vientos provenientes del mar en una posición de sotavento ocasionando climas predominantemente secos la mayor parte del año, con una alta humedad relativa por la presencia del río Sinú y sus sistemas de ciénagas y humedales, presenta lluvias con vientos (vendavales) en épocas húmedas y unos

microrrelieves en las serranías de las Palomas y de San Carlos que se comportan como barloventos aumentando la nubosidad y la generación de lluvias.

El municipio de Montería posee una altura promedio de 18 msnm, con una precipitación media anual de 1200 mm.

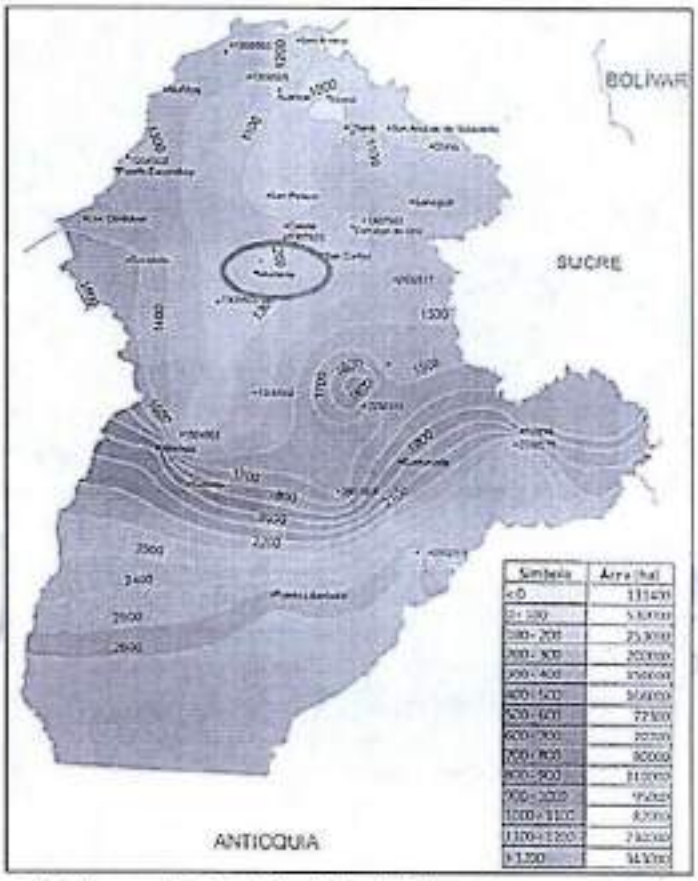


Figura 10. Mapa de Precipitación del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El municipio presenta dos temporadas de lluvia: La primera es en parte de abril y mayo, y la segunda entre los meses de septiembre y noviembre; una temporada de menor intensidad de lluvias entre los meses de junio y agosto, y por último una temporada seca entre los meses de diciembre a marzo.

El promedio anual de la temperatura es de 26.90 °C, con un ligero aumento en los meses de marzo, abril y mayo. La Variación no es muy significativa, pues el 98.20% del territorio

se encuentra en el piso térmico cálido. Por ello, puede considerarse que el promedio anual de 26.90 °C es representativo para el municipio de Montería.

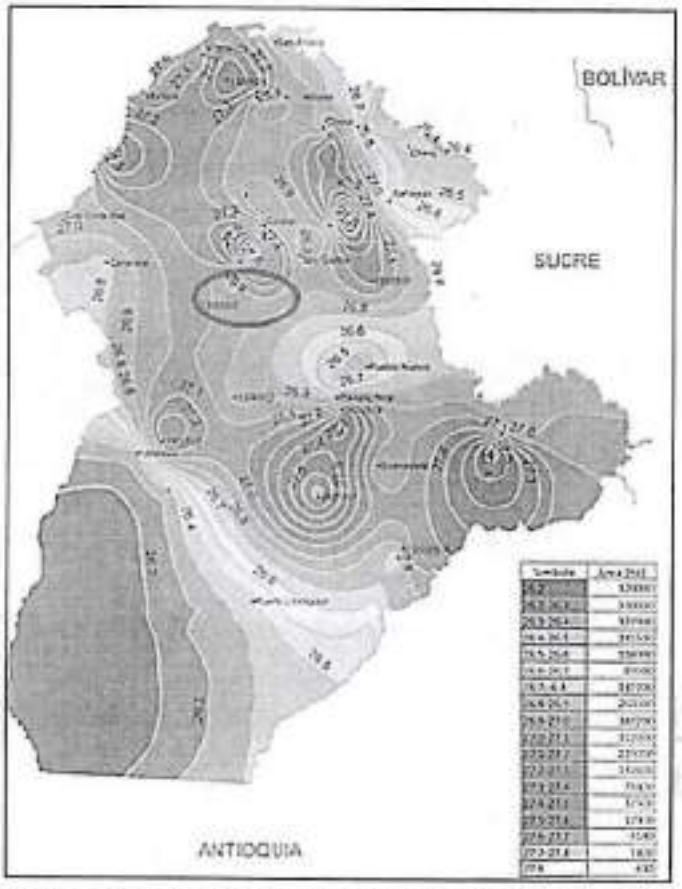


Figura 11. Mapa de Temperatura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

El brillo solar anual varía entre 1.400 y 1.800 horas de luz.
La humedad ambiente (84.00%), se relaciona con el brillo solar y con los intensos procesos de evapotranspiración.

La evapotranspiración potencial (E.T.P.), presenta un área definida como de núcleo central regional del valle del Sinú que va desde Montería hasta el norte con un valor ubicado en el rango de 1700 - 1750 mm anuales decreciendo hacia las zonas extremas de la cuenca hasta los 1650 mm/año.

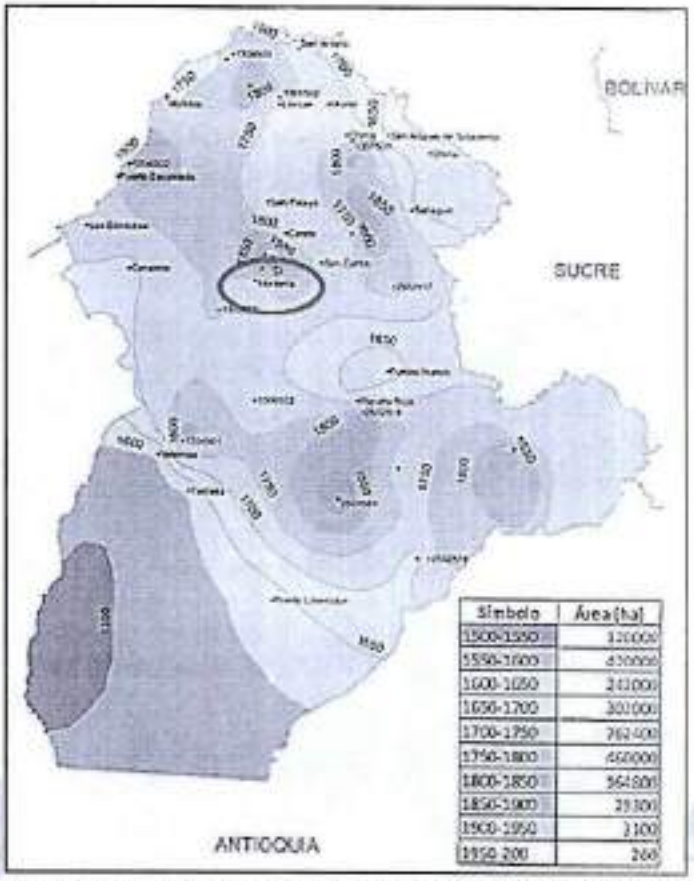


Figura 12. Mapa de Evapotranspiración del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite, el municipio presenta una franja alineada a lado y lado del plano de inundación del río en el clima cálido -seco; en el resto del área de Montería sigue siendo cálido, pero con un régimen de humedad semi-húmedo.

Estación	msnm	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	ETP (mm)	Déficit (mm)	Exceso (mm)	Piso Térmico	Clase Clima	Símbolo
Montería	18	1200	26,9	1711,4	558,0	46,6	Cálido	Seco	c-S

Tabla 2. Datos climáticos de la Estación Meteorológica Montería.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

3.6. Vegetación.

El municipio de Montería tiene área de su territorio dentro de la parte media y baja del río Sinú, la vegetación original ha sido completamente degradada sólo a pequeños bosques o zonas de bosque de galería, por la transformación y/o adecuación de las tierras

de los ecosistemas para extensas áreas de praderas para el desarrollo de sistemas pecuarios semi - intensivos y extensivos y la agricultura comercial y de subsistencia. A los alrededores del municipio se encuentra áreas agrícolas heterogéneas, áreas que presentan heterogeneidad en la cobertura, ya sea por condiciones locales de clima o de suelos que hacen difícil la separación de unidades cartográficas homogéneas, y pastos de territorios agrícolas que son tierras ocupadas principalmente para la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho.

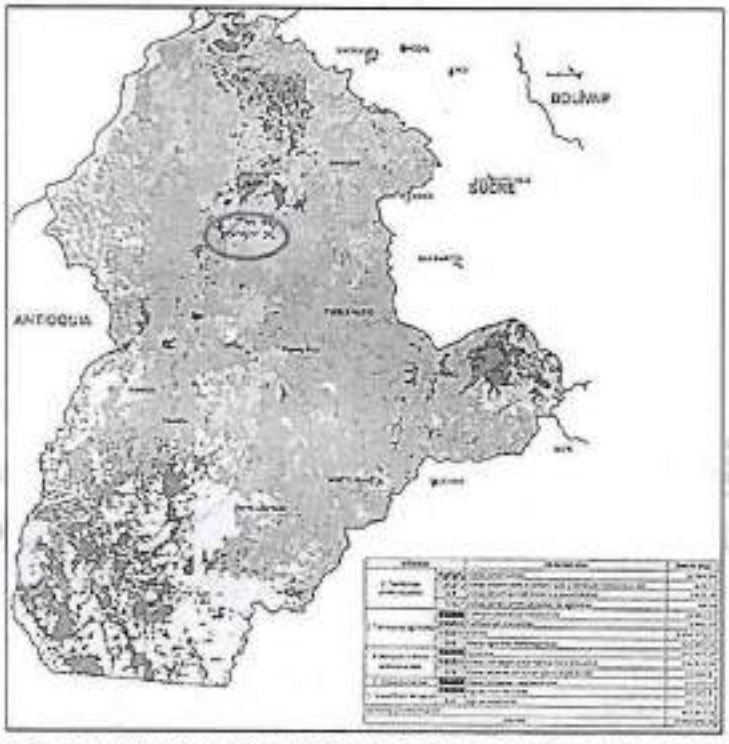


Figura 13. Mapa de Cobertura Vegetal del departamento de Córdoba.
Fuente: **Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.**

4. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO.

Con base en los resultados obtenidos en un conteo vehicular realizado en la vía a diseñar, se estima el número de repeticiones esperadas por tipo de eje y el número ejes equivalentes de 8.20 toneladas, proyectados sobre el carril y período del diseño.

La información del aforo se presenta en el anexo 1 del presente informe.

4.1. Aforo vehicular.

La información necesaria para cuantificar el tránsito existente de la vía se recolectó a través de la realización de un aforo vehicular 12 horas durante 3 días con el fin de obtener el transito promedio semanal. Los volúmenes se tomaron en períodos de 15 minutos durante las horas de aforo, discriminados en autos, buses y camiones.

En la visita de campo se identificó el sitio correspondiente al mayor flujo vehicular donde se realiza el aforo, el cual se muestra a continuación:

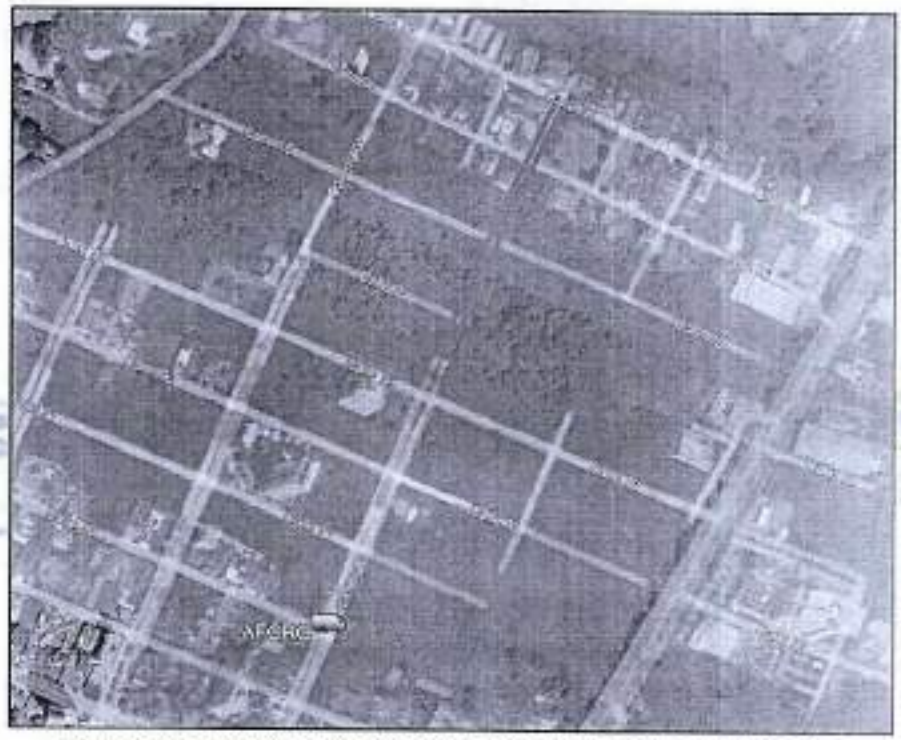


Figura 14. Localización del aforo realizado para el proyecto.
Fuente: Google Earth.

Actualmente la vía tiene doble sentido de circulación por lo que se realiza el conteo tanto para los vehículos sentido Norte-Sur como Sur-Norte, sin embargo, para el diseño se tiene en cuenta el sentido que presenta mayor volumen de tráfico, es este caso, en sentido Sur-Norte, siendo esa la condición crítica a la que estará sometida el pavimento.

4.2. Tránsito promedio diario.

Se define el volumen de tránsito como el número total de vehículos que pasan durante un periodo de tiempo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido por el número de días del periodo. De manera general se expresa como:

$$TPD = \frac{N}{1dia < T \leq 1año}$$

Donde N representa el número de vehículos que pasan durante T días. De acuerdo con el número de días del periodo, se pueden presentar los siguientes volúmenes:

TPDA (Tránsito promedio diario anual).
TPDM (Tránsito promedio diario mensual).
TPDS (Tránsito promedio diaria semanal).

En este caso se utilizará el tránsito promedio diario semanal.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del tránsito promedio diario semanal para el aforo realizado:

Tipo de vehículo		BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE			
		Jueves	Viernes	Sábado	Total
Automóvil		49	135	135	104
Buses		0	0	0	0
Camión	C2P	0	3	2	2
	C2G	1	1	5	2
	C3	0	0	0	0
	C2-S1	0	0	0	0
Total		50	139	142	108

Tabla 3. Valor obtenido de TPDs en el aforo.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

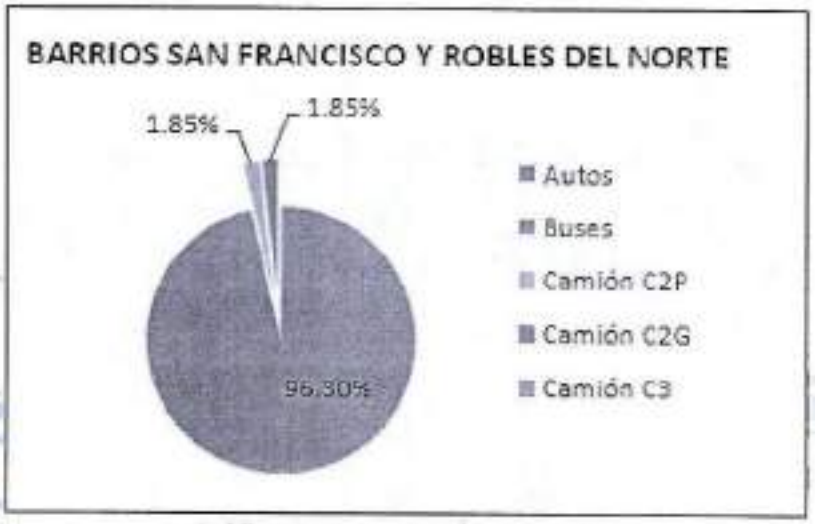
Por lo tanto, el TPDs= 108 veh/día.

4.2.1. Composición vehicular.

La composición vehicular nos da una idea porcentual de los tipos de vehículo que transitan más frecuentemente por la ruta aforada. A continuación, se muestra la composición vehicular de los movimientos analizados:

BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE					
TPDs	108	Composición vehicular			N vehículos
		%Autos		96.30%	104
		%Buses		0.00%	0
		%Camiones	C2P	1.85%	2
			C2G	1.85%	2
			C3	0.00%	0
			C2-S1	0.00%	0

Tabla 4. Composición vehicular.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.



Gráfica 1. Composición vehicular.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

4.2.2. Variación horaria del volumen de tránsito.

Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

En la siguiente gráfica se muestra la variación horaria del volumen de tránsito para los movimientos analizados:



Gráfica 2. Variación horaria del volumen de tránsito.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

De la gráfica se concluye que los vehículos que más circulan son los autos, por lo tanto, el diseño geométrico debe estar acorde con este vehículo de diseño.

4.2.3. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda.

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora máxima. Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})}$$

Dónde:
FHMD: Factor de la hora de máxima demanda.
VHMD: Volumen horario de máxima demanda.
Qmáx: Volumen máximo.
N: Número de periodos durante la hora de máxima demanda.

La hora pico del aforo analizado es entre las 11:20 am – 12:30 pm. El volumen de hora pico fue de 14 vehículos. A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico:



Gráfica 3. Intensidad del flujo en la hora pico.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

El factor de hora pico es igual a 0.88, esto indica que existe una distribución relativamente uniforme.

4.3. Proyección del tránsito.

El tránsito futuro se determina en función del tránsito inicial, el cual debe proyectarse hacia el futuro una vez se ha establecido el periodo de diseño, esto se hace a través de la estimación de la tasa anual de crecimiento del tránsito.

$$Tn = Ti * (1 + r)^n$$

Dónde:
Tn: Transito en cualquier año n.
Ti: Transito en el año cero (inicial).
r: Tasa de crecimiento anual del tránsito.
n: Periodo de diseño.

El tránsito en el año cero o inicial se estima como la suma del tránsito existente (TE), el atraído (Tat) y el generado (TG).

$$Ti = TE + Tat + TG$$

Dónde:
TE: Se estima a través del aforo vehicular en la vía de estudio.
Tat: Al no disponer de información más precisa, se puede aplicar el criterio del instituto de ingenieros de Estado Unidos que señala que al tránsito atraído se le asignan porcentajes entre el 5 y el 25% del tránsito normal, con un periodo de aparición de uno (1) o dos (2) años después que la carretera ha sido abierta al servicio.

TG: Al tránsito generado se le asigna una tasa de incremento entre el 5 y 25% del tránsito actual. Con un periodo de generación de uno (1) a dos (2) años después de que la carretera ha sido abierta al servicio.

Para el transito atraído se tomará el valor máximo igual a 20% del tránsito existente, teniendo en cuenta las características de las vías a pavimentar y para el transito generado se tomará el valor igual a 10% del tránsito existente, teniendo en cuenta que el sector es principalmente residencial.

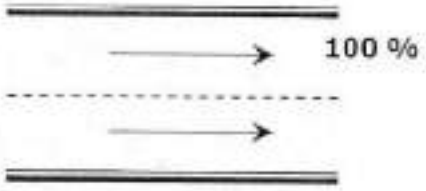
A continuación, se muestra el valor del tránsito inicial:

Descripción de la vía	TPDs (veh/día)	Tat	TG	Ti
BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE	108	22	11	**141**

Tabla 5. Transito inicial.
Fuente: Elaborada por la presente consultoria.

4.4. Factores de distribución.

Las vías a diseñar son en un solo sentido de circulación, por lo cual el factor direccional (DD) será igual a 1.00 de acuerdo a lo recomendado por el Instituto Nacional de Vías y el factor de distribución por carril (D_C) corresponde a 0.90.



4.5. Tasa de crecimiento anual del tránsito.

Para la tasa de crecimiento anual del tránsito, se asume un valor del 3% siendo este el valor máximo recomendado por la AASHTO para casos en donde se da un crecimiento normal.

4.6. Periodo de diseño.

De acuerdo con la PCA el periodo de diseño puede variar entre 20 y 40 años según las condiciones del diseño y construcción del pavimento. Comúnmente se utiliza para diseños de pavimento rígido un periodo de diseño de 20 años.

4.7. Cálculo del número de repeticiones esperadas y ejes equivalentes a 8.2 t en el año base.

La información referente al tráfico es empleada para conocer el número de repeticiones esperadas por tipo de eje en el periodo de diseño (método de la PCA) y los ejes equivalentes a 8.2 tn también en el periodo de diseño (método de la AASHTO). Ambos factores dependen de los siguientes parámetros:

- Tránsito promedio diario.
- Composición vehicular.
- Tasa de crecimiento anual del tránsito.
- Factor direccional.
- Factor distribución por carril.
- Período de diseño.

4.7.1. Repeticiones esperadas.

De acuerdo con los anteriores factores, el número de repeticiones esperadas se calcula como sigue y se discrimina por tipo de eje:

$$NVC = TPD * \%Te * D_D * D_C * 365 * Fp$$

Dónde:
NVC: Número de vehículos comerciales en el carril de diseño durante el periodo de diseño.
TPD: Tránsito promedio diario.
%Te: Porcentaje del TPD para cada tipo de eje.
D_D: Factor Direccional.
D_C: Factor distribución por carril.
Fp: Factor de proyección.

$$\mathbf{Fp} = \frac{(\mathbf{1}+\mathbf{r})^{\mathbf{n}}-\mathbf{1}}{\mathbf{Ln}(\mathbf{1}+\mathbf{r})}$$

Siendo:
r: Tasa de crecimiento anual del tránsito
n: Período de diseño.

Las repeticiones esperadas se muestran a continuación:

METODO DE LA PCA					
Tipo de eje	Peso máx. (ton)	Repeticiones año base	Tasa de crecimiento r (%)	Periodo de diseño (años)	No. De Repeticiones esperadas
SRS (Simple direccional)	4	858	3.00%	20	23392
	6	858			23392
SRD (Simple rueda doble)	6	858			23392
	11	858			23392
TANDEM (Tandem rueda doble)	22	0			0
TRIDEM (Tridem rueda doble)	24	0			0

Tabla 6. Repeticiones esperadas.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

Nota: Debido a que la composición vehicular no contiene vehículos tipo buses y C3, se considera para el diseño un valor del 1% para cada uno de estos vehículos, teniendo en cuenta situaciones críticas en la que durante la operación de vía circulen buses para un viaje, y camiones C3 como el de la basura.

Las repeticiones esperadas proyectando las situaciones descritas, se muestran a continuación:

METODO DE LA PCA					
Tipo de eje	Peso máx. (ton)	Repeticiones año base	Tasa de crecimiento r (%)	Periodo de diseño (años)	No. De Repeticiones esperadas
SRS (Simple direccional)	4	1321	3.00%	20	36024
	6	1321			36024
SRD (Simple rueda doble)	6	1321			36024
	11	858			23392
TANDEM (Tandem rueda doble)	22	463			12632
TRIDEM (Tridem rueda doble)	24	0			0

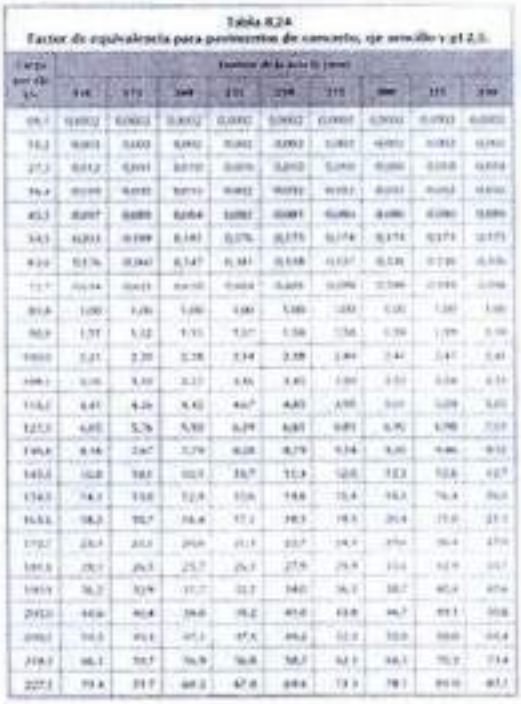
Tabla 7. Repeticiones esperadas.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

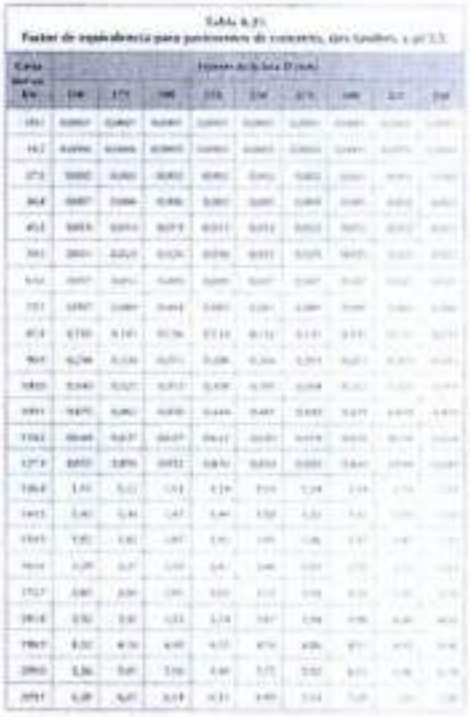
4.7.2. Ejes equivalentes a 8.2 t en el año base.

Para el cálculo del número de ejes equivalentes es necesaria la utilización de unos factores adicionales, denominados factores de equivalencia, los cuales representan el número de aplicaciones de ejes sencillos con cargas equivalentes de 8.2 toneladas, correspondientes al paso de los ejes de diferentes pesos que circularán sobre el pavimento (bus o camión).

Los factores equivalentes utilizados son tomados de las tablas 8.24 hasta la 8.26 del libro "Ingeniería de pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño. De Alfonso Montejo Fonseca". Son en total 5 tablas, las cuales varían según el índice de servicio final de vida y para cada uno de los tres ejes principales (simples, tándem y trídem).

A continuación, se muestran las tablas para índice de servicio final de 2.50, valor utilizado para el diseño del pavimento.





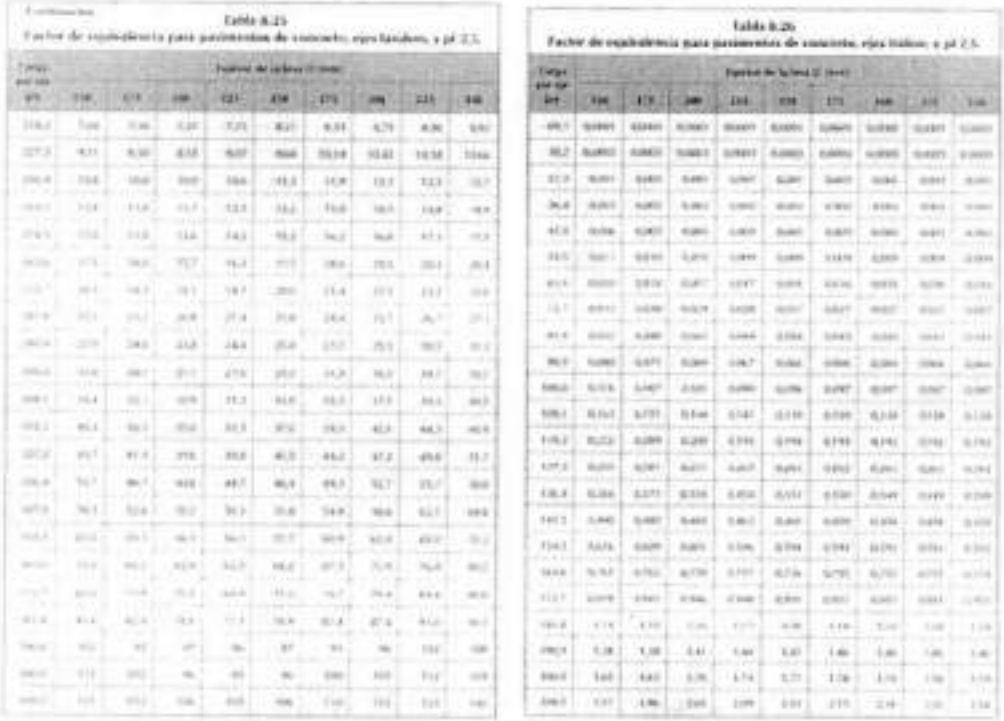


Tabla 8. Factores de equivalencia para pavimentos de concreto.
Fuente: Montejo Fonseca, Alfonso. "Ingeniería de pavimentos, fundamentos, estudios básicos y diseño". Universidad Católica de Colombia. 2006.

Una vez obtenido este factor se puede calcular con el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y durante el periodo de diseño. Se emplea la expresión matemática mostrada:

$$N = TPD * \%Te * D_D * D_C * 365 * Fp * FC$$

Dónde:

N: Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño y durante el periodo de diseño

TPD: Tránsito promedio diario.

%Te: Porcentaje estimado de vehículos pesados (buses y camiones).

D_D: Factor Direccional.

D_C: Factor distribución por carril.

FC: Factor camión.

Fp: Factor de proyección.

$$\mathbf{Fp} = \frac{(1+\mathbf{r})^{\mathbf{n}} - 1}{\mathbf{Ln}(1+\mathbf{r})}$$

Siendo:

r: Tasa de crecimiento anual del tránsito

n: Período de diseño.

El número de ejes de 8.2 t, estimados se muestra a continuación:

Ejes de 8.2 tn (Periodo de diseño)	223020
	2.23E+05

Tabla 9. Número de ejes equivalentes a 8.2 t.
Fuente: Elaborada por la presente consultoria.

El número de ejes de 8.2 t proyectando las situaciones descritas, se muestran a continuación:

Ejes de 8.2 tn (Periodo de diseño)	395620
	3.96E+05

Tabla 10. Número de ejes equivalentes a 8.2 t.
Fuente: Elaborada por la presente consultoria.

De acuerdo con el número de ejes equivalentes a 8.2 t el nivel de tránsito corresponde a NT1.

4.8. Descripción de las condiciones actuales.

Las vías urbanas se jerarquizan según su función en autopistas, arterias, colectoras y de servicio.

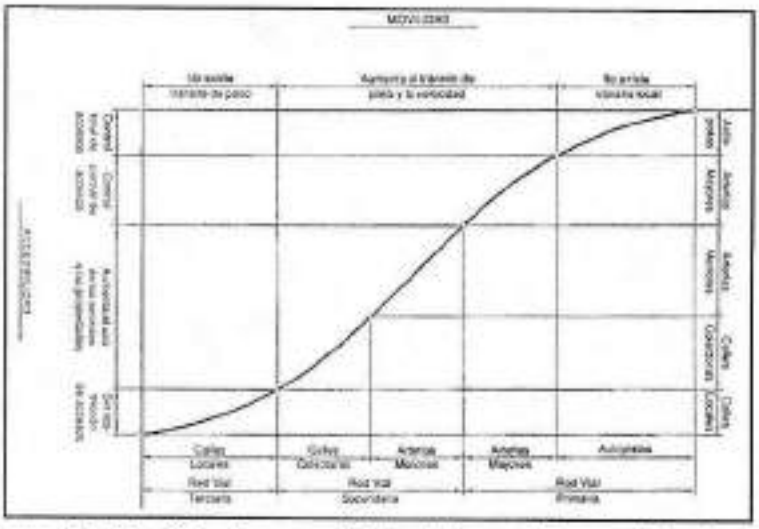


Figura 15. Movilidad y accesibilidad de un sistema vial urbano.
Fuente: Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G. "Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones". 8ª Edición.

La clasificación vial de los barrios San Francisco y Robles del Norte, se muestra a continuación:

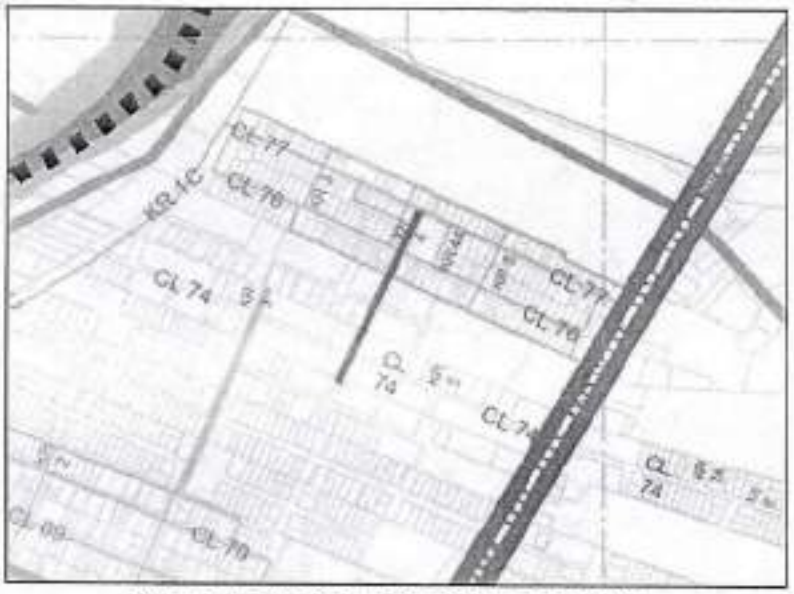


Figura 16. Clasificación vial del proyecto.
Fuente: POT municipio de Montería.

De acuerdo con el POT del municipio las vías a construir se definen como propuesta vial interna las cuales se asemejan a vías locales. Las vías se encuentran sin pavimentar y algunos tramos sin intervención humana, como se muestra en el siguiente registro fotográfico:



Fotografía 1. Tramo de la vía pavimentado.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría.

5. PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN PARA CALCULAR CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.

Para la obtención de la capacidad y nivel de servicio de este proyecto se hizo uso del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril- primera edición.

5.1. Tipos de análisis y pasos requeridos en la aplicación.

Los tipos de análisis que se pueden realizar son:

- Análisis de operación.
- Análisis de planeación.

El análisis de operación se aplica a tramos existentes, en cuyo caso se obtiene el Nivel de Servicio ofrecido por la vía.

El análisis de planeación se aplica a tramos nuevos para los cuales se define un Nivel de Servicio deseado y se obtiene el número de carriles necesarios para ofrecer dicho nivel

En la Tabla 8 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril se presenta un resumen de los tipos de análisis incluidos en el manual y las características básicas de cada uno de ellos.

A manera de referencia se menciona un tercer tipo de análisis, el análisis detallado, que se puede realizar utilizando el Modelo de simulación SIMCAR. A los usuarios interesados en este procedimiento se les recomienda consultar la documentación del modelo y la guía de uso, proporcionadas en el Documento 10, del informe de investigación.

Tipo de análisis	Aplicación	Características básicas
I. Análisis operacional	Tramo genérico	Sectores en los cuales se alternan rampas de ascenso y descenso con longitudes menores a 500 m. Los trazados se clasifican en tipo 1, tipo 2 y tipo 3.
	Rampa de ascenso	Sectores de análisis conformados por una rampa con pendiente ascendente sostenida.
	Rampa de descenso	Sectores de análisis conformados por una rampa con pendiente descendente sostenida.
II. Análisis de planeación	Tramo genérico	Sectores de análisis en los cuales se alternan rampas de ascenso y descenso con longitudes menores a 500 m. Los trazados se clasifican en tipo 1, tipo 2 y tipo 3.
	Rampa de ascenso	Sectores de análisis conformados por una rampa con pendiente ascendente sostenida.
	Rampa de descenso	Sectores de análisis conformados por una rampa con pendiente descendente sostenida.
III. Análisis detallado (simulación)	Procedimiento único	Sector de análisis con información detallada de alineamiento horizontal y vertical, vehículos, tránsito.

Tabla 11. Tipos de análisis incluidos en el manual.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.1.1. Pasos a seguir para un análisis de operación.

Los pasos para un análisis de operación son:

- Paso 1: Sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de la información necesaria para usar el manual.
- Paso 2: Determinación de la curva flujo-velocidad característica del sector de análisis.
- Paso 3: Cálculo del flujo vehicular.
- Paso 4: Determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis.
- Paso 5: Cálculo de la densidad.
- Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio.

5.2. Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de la información para usar el manual.

Se detallan las actividades a realizar en el primer paso del procedimiento.

5.2.1. Proceso de sectorización

La aplicación de la metodología se debe realizar a sectores homogéneos del tramo en estudio, por lo que es necesario realizar un proceso de sectorización. El tramo de análisis lo constituye la cadena de sectores homogéneos, cada uno de la mayor longitud posible, que presentan regularidad en los siguientes aspectos:

- Patrón de velocidad de los camiones
- Tortuosidad de la vía
- Magnitud de la pendiente de las tangentes verticales
- Ancho de carril
- Existencia o no de separador
- Distancias libres laterales
- Tránsito

El procedimiento para identificar los sectores de análisis donde las características de la vía son uniformes se puede realizar de dos formas no excluyentes:

- En la oficina, consultando planos topográficos de la carretera en estudio.
- En la vía, mediante consultas, inspección ocular y toma de datos.

Para llevar a cabo la sectorización se debe obtener la información de las características físicas de la carretera con mediciones sencillas y evaluaciones de campo.

Si no es posible realizar mediciones y evaluaciones de campo, por sencillas que estas sean, el analista puede recurrir al análisis de imágenes satelitales existentes, y con ellas establecer los parámetros necesarios.

Si el análisis corresponde a la toma de decisiones para la planificación de una carretera por construir, la información se puede obtener de los prediseños elaborados en la fase uno del proyecto (Prefactibilidad).

5.2.2. Definición del tipo de aplicación

El tipo de aplicación a usar depende fundamentalmente del tipo de terreno.

5.2.3. Tramos genéricos

Una aplicación de tramo genérico se da cuando el sector presenta rampas combinadas de ascenso y descenso; los vehículos incrementan su energía potencial en los descensos y la aprovechan para emprender el ascenso. Se dan tres tipologías genéricas:

• Tipo 1. Plano
Es un sector en el que los camiones, tanto en un sentido como en el otro, pueden viajar a velocidades similares a las de los automóviles. Su alineamiento en perfil lo constituyen tangentes verticales con pendientes combinadas o sostenidas menores o iguales a 3.0 %.

• Tipo 2. Ondulado
Es un sector con tangentes verticales cortas alternadas de ascenso y descenso en el que los camiones, tanto en un sentido como en el otro, pueden viajar a velocidades mayores que su velocidad de régimen, ya que ganan velocidad en las tangentes descendentes y la pierden parcialmente en las ascendentes. El alineamiento en perfil presenta las siguientes características:

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

- Sucesión de tangentes verticales alternando el signo (+/- o -/+).
- Tangentes verticales con longitud menor o igual a quinientos metros.
- Pendiente media (Pm) entre el 3 % y el 5 %. Este parámetro representa el promedio ponderado con respecto a la longitud de cada tangente vertical del sector, en valor absoluto.

• Tipo 3. Montañoso

Es un sector con tangentes verticales cortas alternadas de ascenso y descenso en el que los camiones, tanto en un sentido como en el otro, pueden viajar a velocidades mayores que su velocidad de régimen, ya que ganan velocidad en las tangentes descendentes y la pierden parcialmente en las ascendentes. Su alineamiento en perfil presenta las siguientes características:
- Sucesión de tangentes verticales alternando el signo (+/- o -/+).
- Tangentes verticales con longitud menor o igual a quinientos metros.

– Pendiente media (Pm) mayor al 5 %. Este parámetro representa el promedio ponderado con respecto a la longitud de cada tangente vertical del sector, en valor absoluto.

5.2.4. Rampas de ascenso y descenso

Una aplicación de rampa de ascenso o de descenso se presenta cuando el alineamiento vertical incluye tangentes verticales con pendientes sostenidas y con longitudes superiores a 500 metros.

5.3. Información necesaria para usar el manual.

Para la aplicación del manual se requiere información de campo y/o de oficina, que se agrupa en dos categorías:

- Categoría 1. Información relacionada con la geometría.
- Categoría 2. Información relacionada con la demanda de tránsito.

5.3.1. Variables relacionadas con la geometría

Para realizar los ajustes a la velocidad a flujo libre característica del sector en estudio, y para cada sentido de circulación, se debe determinar:

- Ancho de carril.
- Tipo y ancho del separador.
- Ancho de bermas.
- Densidad de accesos.

a. Ancho de carril.

Se debe medir el ancho de los carriles en diferentes secciones del sector, verificando la homogeneidad de esta dimensión.

b. Tipo y ancho del separador.

Se determina la existencia o no del separador en la carretera y su ancho. Las características del separador deben ser homogéneas a lo largo del sector de análisis.

c. Ancho de bermas.

Se debe medir el ancho de las bermas en cada sentido de análisis, verificando su homogeneidad.

d. Densidad de accesos.

Se deben contar el número de puntos de acceso del lado derecho de la vía. Para ello, se recomienda hacer un recorrido del sector y elaborar un esquema con el inventario de puntos de acceso. Con esta información se calcula la densidad como la relación entre el total de puntos de acceso y la longitud del sector de análisis, en kilómetros.

Se recomienda incluir únicamente los accesos con movimientos importantes a lo largo del día. Una residencia con servicio esporádico no se considera punto de acceso.

5.3.2. Variables relacionadas con el tránsito.

Se consideran dos variables.

5.3.3. Volumen de tránsito mixto y factor de hora pico (FHP)

Se debe realizar un conteo vehicular en horas de máxima demanda, en períodos de 15 minutos, para obtener el volumen de dicha hora en veh/h (tránsito mixto).

Determinar el factor de hora pico para cada sentido de circulación. Este factor se calcula como la relación entre el volumen mixto en la hora de máxima demanda y el flujo de tránsito correspondiente al volumen de los 15 minutos máximos de esa hora.

5.3.4. Información relacionada con los camiones.

Para determinar la equivalencia de camiones se requiere la siguiente información:

- Pendiente y longitud de la pendiente en el sector de análisis.
- Porcentaje de camiones.

5.4. Paso 2: determinación de la curva flujo-velocidad característica del sector de análisis.

5.4.1. Determinación de la velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL).

La velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL) puede ser medida en campo o estimada a partir de un procedimiento analítico

5.4.2. Medición en campo de VL.

Es recomendable hacer un estudio de velocidades de campo para determinar la velocidad a flujo libre del sector de análisis. Cuando las condiciones de la carretera sean atípicas o el pavimento se encuentre en malas condiciones este estudio es obligatorio.

Debe medirse velocidad al menos a sesenta vehículos a flujo libre, o lo que indique la estadística para este tipo de estudios. El valor de VL corresponde al percentil 85 de la velocidad.

Cuando VL se obtiene de mediciones de campo, no se aplica ninguna corrección.

5.4.3. Estimación de VL.

La velocidad a flujo libre puede estimarse analíticamente utilizando la siguiente ecuación:

$$VL = VG - f_C - f_S - f_B - f_A$$

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Donde:
VL = velocidad a flujo libre del sector
VG = velocidad genérica del sector.
f_C = corrección por ancho de carril.
f_S = corrección por ancho de separador.
f_B = corrección por promedio de ancho de bermas.
f_A = corrección por densidad de accesos.

a. Estimación de la velocidad genérica del sector (VG)

El concepto de la velocidad base a flujo libre se ha utilizado en Colombia con el nombre de velocidad genérica (VG) Es la velocidad característica de la carretera teniendo en cuenta el trazado horizontal y vertical bajo un criterio de consistencia geométrica. Los elementos de la sección transversal y el entorno de la vía se consideran en una etapa posterior, aplicando correcciones a la velocidad genérica para obtener la velocidad a flujo libre para las condiciones imperantes en la carretera en estudio.

Teniendo en cuenta las características geométricas se formuló una clasificación de las carreteras multicarril en tres tipos A1, B1 y C1, según lo indicado en la Tabla 10 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 10. Clasificación de las carreteras multicarril según sus características geométricas.

Clasificación	Características geométricas
Tipo A1	Velocidad de diseño: 100 a 120 km/h Radio mínimo: 400 m Pendiente máxima: 5 % Ancho de calzada: 7.30 m Ancho de berma izquierda: 1.00 m Ancho de berma derecha: 2.50 m
Tipo B1	Velocidad de diseño: 80 a 100 km/h Radio mínimo: 230 m Pendiente máxima: 6 % Ancho de calzada: 7.30 m Ancho de berma izquierda: 0.50 m Ancho de berma derecha: 1.80 m
Tipo C1	Velocidad de diseño: 60 a 80 km/h Radio mínimo: 70 m Pendiente máxima: 8 % Ancho de calzada: 7.00 m Ancho de berma izquierda: 0.50 m Ancho de berma derecha: 1.50 m

Tabla 12. Clasificación de las carreteras multicarril según sus características geométricas. Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Incorporando a las características geométricas aspectos como zona libre lateral, control de accesos y presencia de peatones, resultan cinco tipos de carreteras multicarril a los que se asigna una velocidad genérica, siguiendo criterios de consistencia geométrica. En la Tabla 11 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril se consignan las características de cada tipología y la velocidad genérica asignada.

Tabla 11. Velocidad genérica por tipo de carretera.

Tipo de carretera	Velocidad genérica (km/h)	
	Con separador	Sin separador
Multicarril con características geométricas de vía tipo A1, zona despejada de 9 m o con elementos de contención vehicular, accesos controlados, sin peatones.	120	No aplica
Multicarril, con características geométricas de vía tipo B1, control parcial de accesos, sin concentración de peatones.	100	90
Multicarril, con características geométricas de vía tipo B1, sin control de accesos, sin concentración de peatones.	90	80
Multicarril, con características geométricas de vía tipo C1, sin control de accesos, sin peatones frecuentes.	80	70
Multicarril, con características geométricas de vía tipo C1, sin control de accesos, con peatones frecuentes.	70	60

Tabla 13. Velocidad genérica por tipo de carretera.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

b. Correcciones a la velocidad genérica.

- Corrección por ancho de carril (f_c)

La corrección por ancho de carril se hace con los factores indicados en la Tabla 12 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 12. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril (f_c).

Ancho del carril (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho del carril (km/h)
3.0	14.8
3.3	2.0
>= 3.5	0.0

Tabla 14. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho de carril (fc).
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

- Corrección por ancho de separador, (f_s)

La corrección por ancho de separador se realiza con los factores indicados en la Tabla 13 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 13. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (f_s)

Ancho del separador (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho de separador (km/h)
0.0	2.80
0.5	1.60
1.0	1.40
1.5	0.90
2.0	0.70
>2.0	0.00

Tabla 15. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fS). Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

- Corrección por ancho promedio de bermas (f_B)

La corrección por ancho promedio de bermas se realiza con los factores de la Tabla 14 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 14. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (f_B)

Ancho promedio de bermas (m)	Corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (km/h)
0.0	7.9
0.5	2.5
1.0 – 1.5	1.7
1.8	0.8
>= 2.0	0.0

Tabla 16. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho del separador (fS). Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

- Corrección por densidad de accesos (f_A)

La corrección por densidad de accesos se realiza con los factores de la Tabla 15 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 15. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (f_A)

Densidad de accesos (Puntos/km)	Corrección a la velocidad genérica por efecto de la densidad de accesos (km/h)
5	3.0
10	6.4
15	11.0
>=20	17.4

Tabla 17. Ajuste de la velocidad genérica por efecto del ancho promedio de bermas (fA). Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vias multicarril.

5.4.4. Elección de la curva maestra de referencia

Esta velocidad se debe aproximar a la velocidad a flujo libre de una de las cuatro curvas maestras típicas desarrolladas:

- Tipo 1 – Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 96 km/h.
- Tipo 2 – Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 90 km/h.
- Tipo 3 – Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 80 km/h.
- Tipo 4 – Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 70 km/h.

Se debe seleccionar la velocidad a flujo libre que corresponda a la curva típica más cercana. Si estos cálculos arrojan valores mayores a 96 km/h se deberá escoger una velocidad a flujo libre de 96 km/h. Si el caso es de velocidades libres menores a 70 km/h se deberá seleccionar la velocidad a flujo libre de 70 km/h. La curva maestra de análisis se seleccionará aproximando el valor de la velocidad a flujo libre característica al valor más cercano múltiplo de 10.

Las ecuaciones finales adoptadas para los diferentes tipos de multicarril tiene la forma funcional:

$$v = v_f - a * \left[\frac{v_p}{b}\right]^c : v_p = q_p$$

En donde v es la velocidad a flujo libre y qp es el flujo de tránsito en vehículos equivalentes por hora, a, b y c son parámetros a estimar. En la Tabla 16 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril se presentan los coeficientes de las ecuaciones

para cada tipo de multicarril estudiada. Se resalta que las curvas no presentan un primer tramo horizontal.

Tabla 16. Coeficientes de las ecuaciones flujo - velocidad. Carreteras multicarril Colombia.

Tipo de curva	vf	a	b	c
Multicarril tipo 1 95 km/h	96	4.609	1124.526	1.624
Multicarril tipo 1 90 km/h	90	1.040	882.082	2.545
Multicarril tipo 1 80 km/h	80	2.375	1036.550	2.044
Multicarril tipo 1 70 km/h	70	5.497	692.345	1.010

Tabla 18. Coeficientes de las ecuaciones flujo -velocidad. Carreteras multicarril Colombia. Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

La gráfica de cada una de las curvas de ajuste seleccionadas por tipo de multicarril se presenta en la Figura 9 del manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

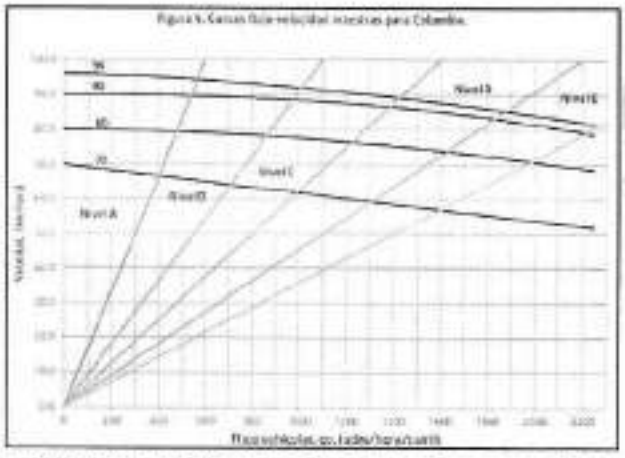


Figura 17. Curvas flujo-velocidad maestras para Colombia. Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.5. Paso 3: cálculo del flujo vehicular

Debe corregirse el volumen de tránsito mixto y tenerse en cuenta el equivalente de camiones.

5.5.1. Corrección del volumen.

El volumen de tránsito en vehículos mixtos (veh/h/ sentido) se debe convertir en flujo vehicular, mediante la siguiente ecuación

$$q_p = v_p = \frac{V}{FHP * N * f_{HV} * f_p}$$

En donde:

v_p: flujo de tránsito, en veh/h/carril. (qp)

V: volumen de tránsito mixto, en veh/h/sentido.

FHP: factor de hora pico.

N: número de carriles

f_{HV}: factor de corrección por camiones

f_p: factor por conocimiento de la vía.

$f_p = 1.00$ (conductores frecuentes)

$f_p = 0.90$ (conductores ocasionales)

El factor de corrección por camiones se calcula con la siguiente expresión:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_c(E_c - 1)}$$

En donde:

f_{HV}: factor de corrección por camiones.

P_c: porcentaje de camiones.

E_c: factor de equivalencia de camiones.

5.5.2. Equivalente de camiones.

Se tienen en cuenta el tipo de terreno y las rampas

5.5.3. Tipo de terreno genérico.

Cuando la aplicación corresponde a terreno genérico se deben utilizar los equivalentes indicados en la Tabla 17 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 17. Equivalente de camiones para tipo de terreno genérico.

Tipo de terreno	Equivalente de camión, EC
Plano	1.8
Ondulado	2.3
Montañoso	4.4

Tabla 19. Equivalente de camiones para tipo de terreno genérico.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.5.4. Rampa en ascenso.

Esta situación corresponde a sectores de análisis con pendientes ascendentes sostenidas. Es posible realizar ponderaciones de pendientes en tramos con rampas continuas en ascenso con longitudes de pendientes menores a 2000 m. Si se supera este límite de longitud se deberá estudiar esa rampa en forma independiente.

Tabla 18. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentajes de camiones (%)								
		5	10	15	20	25	30	35	40	50
0	Todas	2.0	2.2	2.1	2.1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
1	500	3.0	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8
	1000	2.8	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8
	1500	2.8	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8
	2000	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.0	2.0	1.9	1.8
	2500	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9
	3000	2.8	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9
	3500	2.8	2.7	2.6	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9
	4000	2.8	2.8	2.6	2.4	2.3	2.1	2.1	2.0	1.9
	5000	2.8	2.8	2.7	2.4	2.3	2.1	2.1	2.0	1.9
	6000	2.8	3.0	2.7	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	7000	2.9	2.9	2.7	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	8000	3.0	3.0	2.8	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
2	500	3.1	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8
	1000	3.0	2.4	2.4	2.3	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9
	1500	3.2	2.5	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9
	2000	3.2	2.6	2.6	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9
	2500	3.3	2.6	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0
	3000	3.4	2.7	2.7	2.5	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0
	3500	3.4	2.8	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	4000	3.4	2.9	2.9	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	5000	3.5	3.0	3.0	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.0
	6000	3.6	3.1	3.1	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0
	7000	3.7	3.3	3.1	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0
	8000	3.8	3.4	3.2	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0
3	500	3.1	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8
	1000	3.2	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9
	1500	3.4	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	2000	3.5	2.8	2.7	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0
	2500	3.6	2.9	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	3000	3.7	3.1	2.9	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.1
	3500	3.8	3.2	3.0	2.7	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
	4000	3.9	3.3	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1
	5000	4.1	3.5	3.3	2.9	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1
	6000	4.2	3.7	3.4	3.0	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2
	7000	4.4	3.8	3.5	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2
	8000	4.5	4.0	3.6	3.1	2.9	2.6	2.5	2.3	2.2

Continuación Tabla 18. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes.

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)								
		5	10	15	20	25	30	35	40	50
4	400	3.1	2.4	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8
	1000	4.2	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9
	1600	3.4	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	2000	3.5	2.8	2.7	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0
	2400	3.6	2.9	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	3000	3.7	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
	3600	3.8	3.5	3.2	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2
	4000	4.0	3.7	3.3	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3
	5000	4.4	4.0	3.5	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3
	6000	4.7	4.2	3.8	3.5	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4
	7000	5.0	4.5	3.9	3.6	3.3	2.9	2.8	2.5	2.4
	8000	5.3	4.8	4.1	3.5	3.2	3.0	2.8	2.7	2.5
5	400	3.1	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8
	1000	3.2	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9
	1600	3.4	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	2000	3.5	2.8	2.7	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0
	2400	3.6	2.9	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0
	3000	3.7	3.4	3.0	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
	3600	3.8	3.5	3.2	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2
	4000	4.0	3.7	3.3	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.3
	5000	4.4	4.0	3.5	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3
	6000	4.7	4.2	3.8	3.5	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4
	7000	5.0	4.5	3.9	3.6	3.3	2.9	2.8	2.5	2.4
	8000	5.3	4.8	4.1	3.5	3.2	3.0	2.8	2.7	2.5
6	400	3.6	2.7	2.5	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9
	1000	3.5	2.9	2.6	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0
	1600	3.6	3.1	2.8	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
	2000	3.9	3.3	2.9	2.7	2.6	2.6	2.4	2.4	2.2
	2400	4.3	3.5	3.2	2.9	2.8	2.7	2.5	2.5	2.3
	3000	4.7	3.7	3.4	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.4
	3600	5.0	4.0	3.7	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5
	4000	5.2	4.2	3.8	3.4	3.3	3.2	2.9	2.8	2.6
	5000	5.7	4.7	4.3	3.8	3.5	3.4	3.1	3.0	2.7
	6000	6.2	5.1	4.6	4.0	3.7	3.6	3.3	3.2	2.8
	7000	6.7	5.4	4.9	4.2	3.9	3.7	3.4	3.3	2.9
	8000	7.1	5.8	5.1	4.4	4.0	3.8	3.5	3.4	3.0

Continuación Tabla 18. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes.

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)								
		5	10	15	20	25	30	35	40	50
7	400	3.5	2.7	2.6	2.4	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9
	1000	3.6	3.0	2.8	2.6	2.4	2.4	2.2	2.2	2.0
	1500	4.0	3.3	3.0	2.8	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2
	2000	4.4	3.6	3.3	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3
	2500	4.9	4.0	3.5	3.3	3.1	3.0	2.7	2.6	2.5
	3000	5.3	4.3	3.9	3.6	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6
	3500	5.8	4.7	4.2	3.8	3.6	3.5	3.2	3.0	2.7
	4000	6.2	5.0	4.4	4.0	3.8	3.6	3.3	3.1	2.8
	5000	6.8	5.6	5.0	4.6	4.0	3.8	3.6	3.4	3.1
	6000	7.6	6.1	5.4	4.7	4.2	4.0	3.7	3.6	3.2
	7000	7.8	6.5	5.7	5.0	4.6	4.3	3.9	3.7	3.3
	8000	8.0	6.8	6.0	5.1	4.8	4.3	3.9	3.7	3.4
8	400	3.8	3.1	2.8	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	1000	3.6	3.5	3.0	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
	1600	4.2	3.8	3.3	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3
	2000	4.8	4.1	3.6	3.2	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3
	2400	5.2	4.4	3.8	3.4	3.1	3.1	2.8	2.6	2.4
	3000	6.0	4.8	4.2	3.5	3.4	3.4	3.1	3.0	2.8
	3600	6.6	5.2	4.6	3.9	3.7	3.6	3.3	3.1	3.0
	4000	7.2	5.6	4.9	4.1	4.0	3.8	3.7	3.4	3.2
	5000	8.1	6.3	5.6	4.9	4.4	4.2	4.1	3.7	3.5
	6000	8.7	6.8	6.0	4.9	4.7	4.5	4.3	3.9	3.6
	7000	9.2	7.4	6.3	5.2	4.9	4.6	4.4	4.1	3.7
	8000	9.3	7.6	6.5	5.4	4.9	4.8	4.5	4.2	3.7

Tabla 20. Equivalentes de camión en pendientes ascendentes.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

Tabla 19. Equivalentes de camión en pendientes descendentes.

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)							
		5	10	15	20	30	35	40	50
-2	500	3.0	2.5	2.4	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9
	1000	3.1	2.6	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9
	2000	2.9	2.5	2.4	2.4	2.2	2.0	2.0	1.9
	3000	2.9	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0	1.9
	4000	2.9	2.5	2.3	2.3	2.1	2.0	2.0	1.9
	5000	3.1	2.6	2.3	2.2	2.0	1.9	1.9	1.9
	6000	3.5	3.3	3.2	3.0	2.5	2.5	2.3	2.1
	7000	3.4	3.2	3.2	2.7	2.5	2.5	2.3	2.1
	8000	3.4	3.2	3.1	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1
	9000	3.3	3.1	3.1	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1
-3	500	3.2	3.0	3.0	2.6	2.8	2.2	2.1	2.0
	1000	3.3	2.6	2.6	2.4	2.2	2.2	2.1	2.0
	2000	3.3	2.6	2.5	2.4	2.2	2.2	2.1	1.9
	3000	3.2	2.6	2.5	2.3	2.2	2.2	2.1	1.9
	4000	3.1	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9
	5000	3.5	2.7	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9	1.9
	6000	4.6	4.3	3.8	3.1	2.9	2.8	2.6	2.4
	7000	4.5	4.3	3.7	3.1	2.9	2.7	2.6	2.4
	8000	4.4	4.0	3.6	3.0	2.9	2.7	2.6	2.4
	9000	4.3	3.9	3.5	3.0	2.8	2.7	2.6	2.3
-4	500	3.6	2.9	2.7	2.6	2.3	2.3	2.1	2.0
	1000	3.6	2.9	2.7	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0
	2000	3.7	2.9	2.7	2.6	2.3	2.3	2.1	2.0
	3000	3.6	2.9	2.7	2.6	2.3	2.2	2.1	2.0
	4000	3.5	2.8	2.6	2.5	2.2	2.2	2.1	2.0
	5000	3.7	3.0	2.6	2.4	2.1	2.1	2.0	1.9
	6000	5.4	5.0	4.4	3.5	3.3	3.1	2.8	2.6
	7000	5.3	4.8	4.3	3.6	3.3	3.1	2.8	2.6
	8000	5.2	4.6	4.1	3.5	3.2	3.0	2.8	2.6
	9000	5.1	4.4	4.0	3.5	3.1	3.0	2.7	2.5

Continuación Tabla 19. Equivalentes de camión en pendientes descendentes.

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)							
		5	10	15	20	30	35	40	50
-5	500	3.5	3.2	3.0	2.8	2.5	2.4	2.3	2.1
	1000	3.5	3.2	3.0	2.8	2.5	2.4	2.3	2.1
	2000	3.5	3.2	3.0	2.8	2.5	2.4	2.3	2.1
	3000	3.4	3.1	2.9	2.7	2.4	2.3	2.2	2.1
	4000	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.0
	5000	3.2	3.1	2.7	2.5	2.2	2.2	2.1	1.9
	6000	6.5	5.9	5.7	4.3	3.6	3.4	3.1	2.8
	7000	6.5	5.1	4.8	4.3	3.5	3.3	3.0	2.7
	8000	6.4	5.0	4.7	4.2	3.5	3.3	3.0	2.7
	9000	6.1	4.8	4.5	4.1	3.4	3.2	2.9	2.6
-6	500	3.7	3.5	3.2	2.9	2.7	2.5	2.4	2.2
	1000	3.7	3.5	3.3	3.0	2.7	2.6	2.4	2.2
	2000	3.6	3.3	3.2	2.9	2.7	2.5	2.4	2.2
	3000	3.5	3.2	3.1	2.8	2.6	2.4	2.4	2.2
	4000	3.5	3.1	3.0	2.7	2.5	2.4	2.3	2.1
	5000	3.9	3.1	2.9	2.6	2.4	2.2	2.2	2.0
	6000	7.6	6.7	5.2	4.9	3.7	3.5	3.2	2.8
	7000	7.2	6.4	5.2	4.9	3.7	3.4	3.2	2.8
	8000	7.1	6.3	5.0	4.7	3.6	3.3	3.2	2.8
	9000	6.8	6.0	4.7	4.5	3.5	3.2	3.1	2.8
-7	500	4.4	3.8	3.4	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3
	1000	4.5	3.8	3.4	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3
	2000	4.4	3.8	3.3	3.0	2.7	2.5	2.4	2.3
	3000	4.2	3.4	3.2	2.9	2.7	2.5	2.4	2.2
	4000	4.0	3.4	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2
	5000	4.3	3.5	3.0	2.7	2.4	2.3	2.2	2.1
	6000	8.0	7.2	5.2	4.8	3.9	3.6	3.4	3.1
	7000	8.6	6.9	5.1	4.7	4.0	3.6	3.5	3.1
	8000	8.4	6.7	4.9	4.6	3.9	3.6	3.4	3.0
	9000	8.0	6.4	4.7	4.4	3.7	3.4	3.3	3.0

Continuación Tabla 19. Equivalentes de camión en pendientes descendentes

Pendiente (%)	Longitud (m)	Porcentaje de camiones (%)							
		5	10	15	20	30	35	40	50
-8	500	4.7	4.1	3.7	3.3	2.9	2.7	2.6	2.4
	1000	4.8	4.0	3.7	3.2	2.9	2.7	2.6	2.4
	2000	4.7	3.7	3.6	3.2	2.9	2.7	2.6	2.3
	3000	4.1	3.5	3.6	3.1	2.8	2.6	2.5	2.3
	4000	3.9	3.4	3.3	3.0	2.7	2.5	2.5	2.3
	5000	4.4	3.5	3.1	2.8	2.5	2.4	2.3	2.1
	6000	8.8	7.1	5.7	4.9	4.0	3.8	3.6	3.3
	7000	9.6	6.8	5.6	4.8	4.0	3.7	3.6	3.2
	8000	9.4	6.6	5.3	4.7	4.0	3.7	3.6	3.2
	9000	9.0	6.2	5.1	4.5	3.9	3.6	3.4	3.1

Tabla 21. Equivalentes de camión en pendientes descendentes.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.5.5. Consideraciones para análisis de planeación.

Todo lo expresado en este numeral aplica para análisis de operación y de planeación. La única diferencia está en la ecuación para obtener el flujo de tránsito, que para el caso de planeación es:

$$q_p = v_p = \frac{V}{FHP * f_{HV} * f_p}$$

5.6. Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis (V).

La velocidad de operación en el sector de análisis Vi se determina con la curva maestra de análisis seleccionada en el paso 2 y el flujo de tránsito calculado en el paso 3. Esta velocidad representa las condiciones reales de la carretera

5.7. Paso 5: cálculo de la densidad.

La densidad del sector de análisis, en veh/km/carril, se determina con la expresión:

$$D = \frac{v_p}{V};\ v_p = q_p$$

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

En donde:

D: Densidad (veh/km/carril)

q_p: Flujo de tránsito (ades/h/carril)

V: Velocidad de operación (km/h)

5.8. Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio.

En la Tabla 20, con la densidad calculada en el paso 5 y el tipo de multicarril hallada en el paso 2, se obtiene el Nivel de Servicio de la vía.

Tabla 20. Niveles de Servicio para carreteras multicarril en Colombia.

Nivel de Servicio	Multicarril tipo 1 (96 km/h) y tipo 2 (90km/h)	Multicarril tipo 3 (80 km/h)	Multicarril tipo 4 (70 km/h)
A	<= 6	<= 7	<= 8
B	> 6 - 11	> 7 - 12	> 8 - 15
C	> 11 - 16	> 12 - 18	> 15 - 23
D	> 16 - 22	> 18 - 25	> 23 - 32
E	> 22 - 28	> 25 - 31	> 32 - 40
F	> 28	> 31	> 40

Tabla 22. Niveles de Servicio para carreteras multicarril en Colombia.
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

5.9. Paso 7: cálculo del número de carriles (planeación).

El análisis de planeación comprende los siguientes pasos previos:

- Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de información necesaria para usar el manual.
- Paso 2: determinación de la curva flujo-velocidad característica del sector de análisis
- Paso 3: cálculo del flujo vehicular.

El siguiente paso es determinar el número de carriles que requiere la carretera para ofrecer el Nivel de Servicio deseado.

Para ello se obtiene la Tasa de flujo máxima que puede alcanzar una carretera multicarril en el Nivel de Servicio deseado. Este flujo se obtiene de la Tabla 21, para lo que se necesita el Nivel de Servicio deseado y el tipo de multicarril determinado en el paso 2

Tabla 21. Tasas de flujo máximas por Nivel de Servicio (TFM).

Nivel de Servicio	Tipo de multicarril VL			
	Tipo 4: 70 Km/h	Tipo 3: 80 Km/h	Tipo 2: 90 Km/h	Tipo 1: 96 Km/h
A	525	540	550	560
B	945	970	990	1010
C	1365	1400	1430	1460
D	1785	1830	1870	1910
E	2100	2150	2200	2250

Tabla 23. Tasas de flujo máximas por Nivel de Servicio (TFMI).
Fuente: Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril.

El número de carriles se calcula con la ecuación:

$$N = \frac{v_p}{TFM_i}; \; v_p = q_p$$

El encontrar el número de carriles requiere de un proceso iterativo, dado que N generalmente no es número entero. Para ello, se recalcula el Nivel de Servicio para los valores por defecto y exceso obtenidos para N. Este proceso iterativo se realiza aplicando el procedimiento de análisis de operación o con la ayuda del programa de computador diseñado para aplicar el manual.

5.10. Datos de entrada.

Se tiene una carretera multicarril dividida de dos carriles por sentido y con una longitud de 0.326 kilómetros los cuales se desarrollan en terreno plano. El ancho de separador varia de 1.80 a 3.60 metros, el ancho de cada carril es de 3.5 metros, no presenta bermas. El número de accesos laterales es de 1 punto/km por sentido.

El volumen de tránsito es de 14 veh/hora/sentido, el factor de la hora pico es de 0.88 y el porcentaje de camiones es del 5 %. Se desea determinar el Nivel de Servicio ofrecido por la vía.

Los pasos necesarios para determinar el Nivel de Servicio.

- Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de información necesaria para aplicar el manual.
- Paso 2: determinación de la curva flujo–velocidad característica del sector de análisis.
- Paso 3: cálculo del flujo vehicular.
- Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis.
- Paso 5: cálculo de la densidad.
- Paso 6: determinación del Nivel de Servicio

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

5.10.1. Paso 1: proceso de sectorización, definición del tipo de aplicación y preparación de información necesaria para aplicar el manual.

5.10.1.1. Proceso de sectorización.

El manual se aplica a sectores homogéneos desde el punto de vista de geometría y tránsito. En el proyecto se identifica un único sector en terreno plano.

5.10.1.2. Definición del tipo de aplicación.

Se define una aplicación de operación y terreno genérico, plano

5.10.1.3. Preparación de información necesaria para el manual.

Se prepara la información de geometría y transito

a) Información de geometría.

Variable	Valor
Ancho de separador (m)	Variable 1.80 – 3.60
Ancho de carril (m)	3.50
Número de carriles	2
Promedio de bermas (m)	0
Densidad de accesos, puntos/km	1
Tipo de terreno	Genérico, plano

Tabla 24. Información de geometría.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

b) Información de tránsito.

Variable	Valor
Volumen de tránsito, veh/h/sentido	14
Factor Hora Pico (FHP)	0.88
Porcentaje de camiones (%)	5
Tipo de conductor	frecuente

Tabla 25. Información de geometría.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría.

5.10.2. Paso 2: determinación de la curva flujo–velocidad característica del sector de análisis.

5.10.2.1. Determinación de la velocidad a flujo libre del sector de análisis (VL).

La velocidad a flujo libre característica puede ser estimada analíticamente utilizando la siguiente ecuación

$$VL = VG - f_C - f_S - f_B - f_A$$

a) Estimación de la velocidad genérica del sector de análisis (VG).

Se debe seleccionar una velocidad característica o genérica de la vía, para ello se analizan los tipos de vía incluidos en las Tablas 10 y 11 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril. Con las especificaciones geométricas de los alineamientos horizontales y verticales, se define la vía como tipo C1 en función del ancho de calzada (7.00 m) (Ver Tabla 10). Con las características de operación y la existencia de separador se asigna una velocidad genérica, VG, de 70 km/h (Ver Tabla 11)

b) Correcciones a la velocidad genérica.

Se obtienen las correcciones de:

- Ancho de carril: FC = 0.0. (Tabla 12 con ancho de carril de 3.50 m).
- Ancho de separador: FS = 0.70 m. (Tabla 13, se toma el valor de 2.00 m como valor crítico cercano al del proyecto).
- Promedio de bermas: FB = 7.9 m. (Tabla 14, con promedio de bermas de 0.00 m).
- Densidad de accesos: FA = 3.0 m (Tabla 15, con 1 punto/km, valor mínimo establecido).

$$VL = 70 - 0.0 - 0.70 - 7.9 - 3.0 = 58.4\ Km/h$$

5.10.2.2. Selección de la curva maestra de referencia.

La velocidad VL de 58.4 km/h se debe aproximar a la velocidad a flujo libre de una de las cuatro curvas maestras típicas desarrolladas.

- Tipo 1: Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 96 km/h.
- Tipo 2: Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 90 km/h.
- Tipo 3: Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 80 km/h.
- Tipo 4: Carretera multicarril, velocidad a flujo libre: 70 km/h

Se selecciona la curva maestra tipo 4, velocidad a flujo libre de 70 km/h

5.10.3. Paso 3: Cálculo del flujo vehicular.

El volumen de tránsito en vehículos mixtos veh/h/sentido se debe convertir en flujo vehicular. Este cálculo se realiza utilizando la ecuación:

$$q_p = v_p = \frac{V}{FHP * N * f_{HV} * f_p}$$

El factor de corrección por camiones (f_{HV}) se calcula así:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_c(E_c - 1)} = \frac{1}{1 + 5\%(1.8 - 1)} = 0.962$$

- Equivalente, de camión: E_C = 1.8. (Tabla 17. Terreno plano).
- Factor hora pico: FHP = 0.88 m.
- Numero de carriles: N = 2.

- factor de corrección por camiones: $F_{HV} = 0.962$.
- factor por conocimiento de la vía: $F_P = 1.00$.

$$q_p = v_p = \frac{14}{0.88 * 2 * 0.962 * 1} = 8$$

5.10.4. Paso 4: determinación de la velocidad de operación en el sector de análisis.

En el paso 2 se selecciona la curva maestra tipo 4, velocidad a flujo libre de 70 km/h. La ecuación del flujo– velocidad tiene la forma funcional:

$$v = v_f - a * \left[\frac{q_p}{b}\right]^c, v_{p=}q_p$$

Los parámetros para la curva maestra se obtienen de la Tabla 16 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril, resultando la ecuación:

$$v = 70 - 5.497 * \left[\frac{8}{692.345}\right]^{1.010} = 69.94 \cong 70 \text{ Km/h}$$

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

5.10.5. Paso 5: cálculo de la densidad.

La densidad del sector de análisis, en veh/km/carril, se determina con la expresión:

$$D = \frac{v_p}{v} = \frac{8}{70\ Km/h} = 0.11$$

5.10.6. Paso 6: Determinación del Nivel de Servicio.

Para la determinación del Nivel de Servicio se utiliza como variable de efectividad la densidad. Con el valor de densidad y la curva maestra tipo 4, 70 km/h, se ingresa en la tabla 20 del Manual de capacidad y niveles de servicio para vías multicarril el cual arroja un nivel de servicio A.

6. CONCLUSIONES.

De acuerdo con el estudio se generan las siguientes conclusiones:

- De acuerdo con el aforo realizado el tránsito actual de la vía es igual 108 Veh/día, al realizar la proyección del mismo se obtiene un tránsito inicial igual a 141 veh/día.

- Con el valor del tránsito inicial y teniendo en cuenta la tasa de crecimiento y periodo de diseño se estiman las repeticiones esperadas y el número de ejes equivalentes a 8.2 t, con esta información se debe realizar el diseño de la estructura del pavimento.

- El análisis se realiza para vías de doble calzada, con dos carriles en ambas direcciones.

- La hora pico del aforo analizado es entre las 11:20 am – 12:30 pm. El volumen de hora pico fue de 14 vehículos. A continuación, se presenta la variación de la intensidad del flujo vehicular en la hora pico.

- Nivel de Servicio A: Describe unas condiciones de completa libertad. La circulación de los vehículos queda virtualmente libre de los efectos de la presencia de otros vehículos, y las operaciones únicamente quedan restringidas por la geometría de la carretera y por las preferencias del conductor. La maniobrabilidad dentro de la corriente circulatoria es buena. En este nivel se absorberán con facilidad las pequeñas alteraciones del flujo sin ningún cambio en la velocidad de recorrido.

7. BIBLIOGRAFÍA.

Como parte de este estudio se utilizó la siguiente bibliografía:

- Instituto geográfico Agustín Codazzi, "Estudio general de suelos y zonificación de tierras – Departamento de Córdoba". Imprenta nacional de Colombia, Bogotá D.C. 2009.

- Plan de ordenamiento territorial del municipio de Montería córdoba.

- Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas G. "Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones". 8ª Edición.

- Braja M. Das, "Fundamentos de ingeniería de cimentaciones", Thomson Learning.

- MS-1. Asphalt Institute, Thickness Dessing, 1981.

- Juárez Badillo. E. y Rico, A. Mecánica de suelo, Tomo 1; Fundamentos de la mecánica de suelos, U.N.A.M, México, 1969, 3ª. Edición.

- Especificaciones técnicas del INVIAS 2013.
- Manual de capacidad y niv eles de servicio para vias multicarril – Primera versión. INVIAS 2020.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Ingeniero Civil
Especialista en mecánica de suelos y cimentaciones.
Especialista en ingeniería ambiental.
Especialista en Prevención, atención y reducción de desastres.
Especialista en gerencia para ingenieros.
M.P. 1320251172BLV.
Montería, noviembre de 2022.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

ANEXO 1.
AFORO VEHICULAR

PABLO CASTILLA NEGRETE
Catedra Geotécnica y Ambientales

Consultorías G y Ambiente

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: NORTE - SUR **DIA:** 1

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:15 a. m.	7:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
7:30 a. m.	7:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:00 a. m.	8:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:15 a. m.	8:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:30 a. m.	8:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:45 a. m.	9:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:00 a. m.	9:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:15 a. m.	9:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:30 a. m.	9:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:45 a. m.	10:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	10:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:15 a. m.	10:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:30 a. m.	10:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:45 a. m.	11:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	11:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	0	0	1	0	0	2
11:30 a. m.	11:45 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
11:45 a. m.	12:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:00 p. m.	12:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:15 p. m.	12:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:30 p. m.	12:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:45 p. m.	1:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:00 p. m.	1:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:15 p. m.	1:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:45 p. m.	2:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
2:00 p. m.	2:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:15 p. m.	2:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:30 p. m.	2:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:45 p. m.	3:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:00 p. m.	3:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:15 p. m.	3:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:30 p. m.	3:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:45 p. m.	4:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
4:00 p. m.	4:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
4:15 p. m.	4:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
4:30 p. m.	4:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:45 p. m.	5:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
5:00 p. m.	5:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
5:15 p. m.	5:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:30 p. m.	5:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:45 p. m.	6:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		**39**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**	**40**

597/2

Consultorías y Ambiental

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: NORTE - SUR DIA: 2

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	0	0	1	0	0	0	1
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:15 a. m.	7:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:30 a. m.	7:45 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
7:45 a. m.	8:00 a. m.	2	0	1	0	0	0	3
8:00 a. m.	8:15 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
8:15 a. m.	8:30 a. m.	7	0	0	0	0	0	7
8:30 a. m.	8:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
8:45 a. m.	9:00 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
9:00 a. m.	9:15 a. m.	6	0	0	0	0	0	6
9:15 a. m.	9:30 a. m.	5	0	0	1	0	0	6
9:30 a. m.	9:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:45 a. m.	10:00 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
10:00 a. m.	10:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:15 a. m.	10:30 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
10:30 a. m.	10:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
10:45 a. m.	11:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:00 a. m.	11:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:15 a. m.	11:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:30 a. m.	11:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:45 a. m.	12:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:00 p. m.	12:15 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
12:15 p. m.	12:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:30 p. m.	12:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:45 p. m.	1:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
1:00 p. m.	1:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:15 p. m.	1:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:30 p. m.	1:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:45 p. m.	2:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:00 p. m.	2:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:15 p. m.	2:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:30 p. m.	2:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
2:45 p. m.	3:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
3:00 p. m.	3:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:15 p. m.	3:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
3:30 p. m.	3:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
3:45 p. m.	4:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
4:00 p. m.	4:15 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
4:15 p. m.	4:30 p. m.	1	0	1	0	0	0	2
4:30 p. m.	4:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:45 p. m.	5:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
5:00 p. m.	5:15 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
5:15 p. m.	5:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:30 p. m.	5:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
5:45 p. m.	6:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
TOTAL		124	0	3	1	0	0	129

Consultorías y Ambiental

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: NORTE - SUR **DIA:** 3

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:45 a. m.	7:00 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:00 a. m.	7:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:15 a. m.	7:30 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:30 a. m.	7:45 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:00 a. m.	8:15 a. m.	2	0	0	1	0	0	3
8:15 a. m.	8:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:30 a. m.	8:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:45 a. m.	9:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:00 a. m.	9:15 a. m.	3	0	1	0	0	0	5
9:15 a. m.	9:30 a. m.	2	0	0	1	0	0	3
9:30 a. m.	9:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:45 a. m.	10:00 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
10:00 a. m.	10:15 a. m.	5	0	0	1	0	0	6
10:15 a. m.	10:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:30 a. m.	10:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
10:45 a. m.	11:00 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
11:00 a. m.	11:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
11:15 a. m.	11:30 a. m.	3	0	0	1	0	0	5
11:30 a. m.	11:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
11:45 a. m.	12:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
12:00 p. m.	12:15 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
12:15 p. m.	12:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
12:30 p. m.	12:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:45 p. m.	1:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
1:00 p. m.	1:15 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:15 p. m.	1:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:30 p. m.	1:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:45 p. m.	2:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
2:00 p. m.	2:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:15 p. m.	2:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:30 p. m.	2:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
2:45 p. m.	3:00 p. m.	3	0	0	1	0	0	5
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
3:15 p. m.	3:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:30 p. m.	3:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
3:45 p. m.	4:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:00 p. m.	4:15 p. m.	3	0	1	0	0	0	5
4:15 p. m.	4:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
4:30 p. m.	4:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
4:45 p. m.	5:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
5:00 p. m.	5:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
5:15 p. m.	5:30 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
5:30 p. m.	5:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
5:45 p. m.	6:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL		**120**	**0**	**2**	**6**	**0**	**0**	**128**

598/k

Consultorias y Ambiental

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: SUR - NORTE
DIA: 1

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
7:15 a. m.	7:30 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
7:30 a. m.	7:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:00 a. m.	8:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:15 a. m.	8:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:30 a. m.	8:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
8:45 a. m.	9:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:00 a. m.	9:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:15 a. m.	9:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:30 a. m.	9:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
9:45 a. m.	10:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	10:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:15 a. m.	10:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:45 a. m.	11:00 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	11:15 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
11:15 a. m.	11:30 a. m.	3	0	0	1	0	0	4
11:30 a. m.	11:45 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
11:45 a. m.	12:00 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
12:00 p. m.	12:15 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
12:15 p. m.	12:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:30 p. m.	12:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:45 p. m.	1:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:00 p. m.	1:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:15 p. m.	1:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:30 p. m.	1:45 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:45 p. m.	2:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:00 p. m.	2:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:15 p. m.	2:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
2:30 p. m.	2:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:45 p. m.	3:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:00 p. m.	3:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:15 p. m.	3:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:30 p. m.	3:45 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:45 p. m.	4:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:00 p. m.	4:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
4:15 p. m.	4:30 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
4:30 p. m.	4:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:45 p. m.	5:00 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
5:00 p. m.	5:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
5:15 p. m.	5:30 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:30 p. m.	5:45 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
5:45 p. m.	6:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
TOTAL		49	0	0	1	0	0	50

Consultorías y Ambiental

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: SUR - NORTE **DIA:** 2

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
6:15 a. m.	6:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:30 a. m.	6:45 a. m.	2	0	1	0	0	0	3
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	4	0	0	0	0	0	4
7:15 a. m.	7:30 a. m.	6	0	0	0	0	0	6
7:30 a. m.	7:45 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	1	0	0	0	2
8:00 a. m.	8:15 a. m.	7	0	0	0	0	0	7
8:15 a. m.	8:30 a. m.	8	0	0	0	0	0	8
8:30 a. m.	8:45 a. m.	6	0	0	0	0	0	6
8:45 a. m.	9:00 a. m.	7	0	0	0	0	0	7
9:00 a. m.	9:15 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
9:15 a. m.	9:30 a. m.	4	0	0	1	0	0	5
9:30 a. m.	9:45 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
9:45 a. m.	10:00 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
10:00 a. m.	10:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
10:15 a. m.	10:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:30 a. m.	10:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
10:45 a. m.	11:00 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
11:00 a. m.	11:15 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
11:15 a. m.	11:30 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:30 a. m.	11:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
11:45 a. m.	12:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
12:00 p. m.	12:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
12:15 p. m.	12:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:30 p. m.	12:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
12:45 p. m.	1:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:00 p. m.	1:15 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
1:15 p. m.	1:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:45 p. m.	2:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
2:00 p. m.	2:15 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
2:15 p. m.	2:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
2:30 p. m.	2:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:45 p. m.	3:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:00 p. m.	3:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
3:15 p. m.	3:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
3:30 p. m.	3:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
3:45 p. m.	4:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
4:00 p. m.	4:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:15 p. m.	4:30 p. m.	4	0	1	0	0	0	5
4:30 p. m.	4:45 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
4:45 p. m.	5:00 p. m.	7	0	0	0	0	0	7
5:00 p. m.	5:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:15 p. m.	5:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
5:30 p. m.	5:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:45 p. m.	6:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
TOTAL		135	0	1	1	0	0	139

5019/K

Consultorias y Ambiente

FORMATO DE CAMPO AFORO VEHICULAR

PROYECTO: CONSTRUCCION DE PAVIMENTO HIDRAULICO
LOCALIZACION: BARRIOS SAN FRANCISCO Y ROBLES DEL NORTE
COORDENADAS DE AFORO: 8°46'47.53"N, 75°51'56.41"O
MOVIMIENTO: SUR - NORTE
DIA: 3

HORA		Automovil	Bus	C2P	C2G	C-3	C2-S1	Total
6:00 a. m.	6:15 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
6:15 a. m.	6:30 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
6:30 a. m.	6:45 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
6:45 a. m.	7:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:00 a. m.	7:15 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
7:15 a. m.	7:30 a. m.	0	0	0	0	0	0	0
7:30 a. m.	7:45 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
7:45 a. m.	8:00 a. m.	1	0	0	0	0	0	1
8:00 a. m.	8:15 a. m.	2	0	0	1	0	0	3
8:15 a. m.	8:30 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
8:30 a. m.	8:45 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
8:45 a. m.	9:00 a. m.	4	0	0	0	0	0	4
9:00 a. m.	9:15 a. m.	2	0	1	0	0	0	3
9:15 a. m.	9:30 a. m.	1	0	0	1	0	0	2
9:30 a. m.	9:45 a. m.	4	0	0	0	0	0	4
9:45 a. m.	10:00 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
10:00 a. m.	10:15 a. m.	3	0	0	1	0	0	4
10:15 a. m.	10:30 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
10:30 a. m.	10:45 a. m.	2	0	0	0	0	0	2
10:45 a. m.	11:00 a. m.	3	0	0	0	0	0	3
11:00 a. m.	11:15 a. m.	5	0	0	0	0	0	5
11:15 a. m.	11:30 a. m.	6	0	0	1	0	0	7
11:30 a. m.	11:45 a. m.	8	0	0	0	0	0	8
11:45 a. m.	12:00 p. m.	6	0	0	0	0	0	6
12:00 p. m.	12:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:15 p. m.	12:30 p. m.	9	0	0	0	0	0	9
12:30 p. m.	12:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
12:45 p. m.	1:00 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
1:00 p. m.	1:15 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
1:15 p. m.	1:30 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
1:30 p. m.	1:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
1:45 p. m.	2:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:00 p. m.	2:15 p. m.	0	0	0	0	0	0	0
2:15 p. m.	2:30 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
2:30 p. m.	2:45 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
2:45 p. m.	3:00 p. m.	1	0	0	1	0	0	2
3:00 p. m.	3:15 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
3:15 p. m.	3:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
3:30 p. m.	3:45 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
3:45 p. m.	4:00 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
4:00 p. m.	4:15 p. m.	6	0	1	0	0	0	7
4:15 p. m.	4:30 p. m.	3	0	0	0	0	0	3
4:30 p. m.	4:45 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
4:45 p. m.	5:00 p. m.	1	0	0	0	0	0	1
5:00 p. m.	5:15 p. m.	5	0	0	0	0	0	5
5:15 p. m.	5:30 p. m.	7	0	0	0	0	0	7
5:30 p. m.	5:45 p. m.	4	0	0	0	0	0	4
5:45 p. m.	6:00 p. m.	2	0	0	0	0	0	2
TOTAL		135	0	2	5	0	0	142

INFORME DE SEÑALIZACION

600/r

CONVIAL | IAS | MJS | Ingeniería Vial

CONSORCIO CONSULTORÍA VIAL MONTERÍA

NIT 901847594-7

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL A REALIZAR POR LA SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA DEL MUNICIPIO DE MONTERÍA

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. CMA-SIM-017-2024

CONSORCIO CONSULTORÍA VIAL MONTERÍA

INFORME ESTUDIO DE SEÑALIZACIÓN

GRUPO PROYECTO 1A

Versión 1

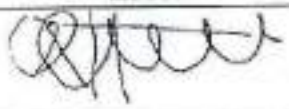
NOVIEMBRE DE 2024

BOGOTÁ D.C.

CONTROL DE VERSIONES

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DE MODIFICACIÓN	FOLIOS
Versión 1	Noviembre - 2024	Versión Inicial	29

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

CONSORCIO CONSULTORÍA VIAL MONTERÍA		
Elaboró	**Revisó**	**Aprobó**
		
Ing. Ricardo Tafur Sánchez	Ing. Ricardo Tafur Sánchez	Ing. Manuel José Meza Soto
Especialista	Especialista	Director

SUPERVISION / INTERVENTORÍA
Revisó
Ing. Ingrid Sofia Morales Ávila
Alcaldía de Montería Gerente de Proyectos

Carrera 13 N° 124-92
Edificio Torre Zincal - Oficina 404 II
Bogotá - Colombia

T. (+57 (1) 323 1077
M: +57 300 517 38 99
E: gerencia.convialsas@gmail.com