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.

2220211477SOCR

INGENIERO CIVIL

DE FECHA 01/20/2005

ROBINSON ANTONIO
MARTINEZ SANDOVAL
C.C. 11002312
CORPORACION UNIVERSITARIA
DEL SINU

PRESIDENTE DEL CONSEJO

VÁLIDO PARA CONSTRUCCIÓN EN COMUNA

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 Dario Ochoa Arbeláez

Firmal 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 indicado 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 (Córd.)

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

NO. 01332

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 DE LA AÑO 2006

EL RECTOR

EL VICERRECTOR

EL DECANO

EL SECRETARIO GENERAL

469

Universidad Tecnológica de Bolívar
CARTAGENA DE INDIAS

EN NOMBRE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA POR AUTORIZACÍON
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

Rector(a)

Secretario(a) General

Decano(a)

Inscrito en el libro de Registro de Diploma No. 31 bajo el No. 7783

Personería Jurídica Resolución 961 de Octubre 26 de 1970 Gobernación de Bolívar

DISEÑO DE PAV SAN FRANCISCO

970/12

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

972/K

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.

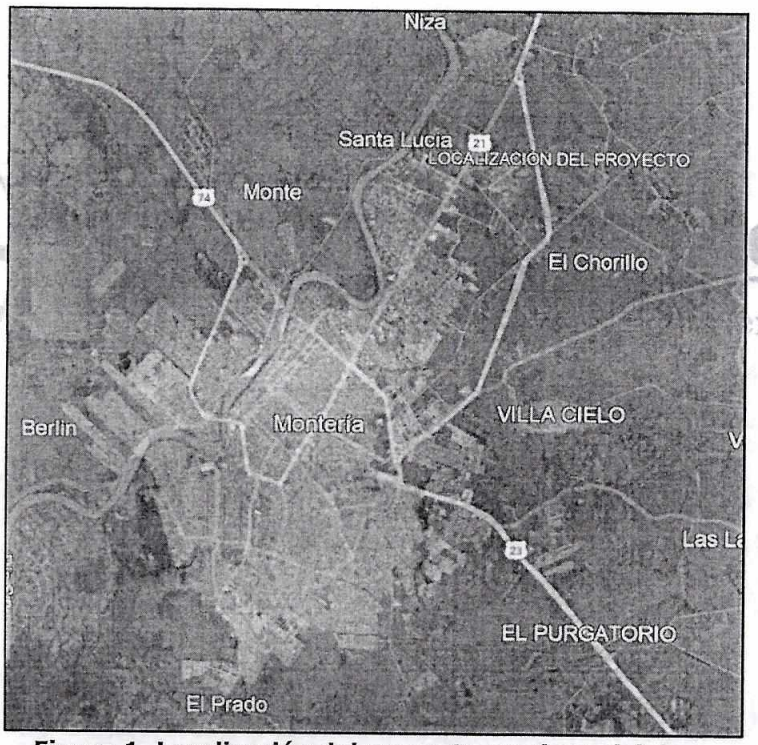


Figura 1. Localización del proyecto en el municipio.
Fuente: Google Earth.

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.

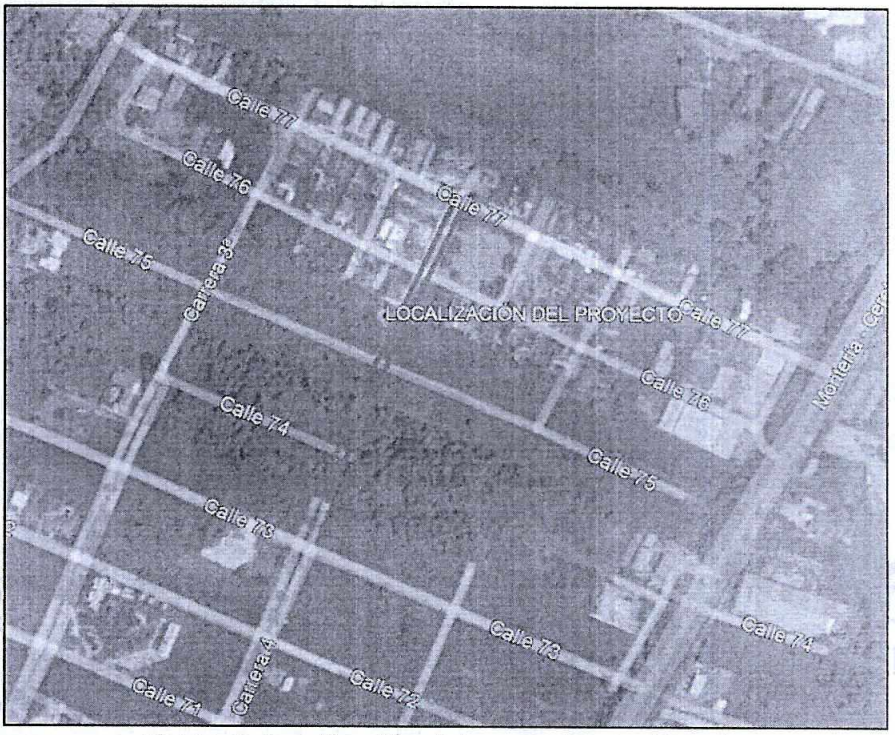


Figura 2. Localización del proyecto en el barrio.
Fuente: Google Earth.

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.

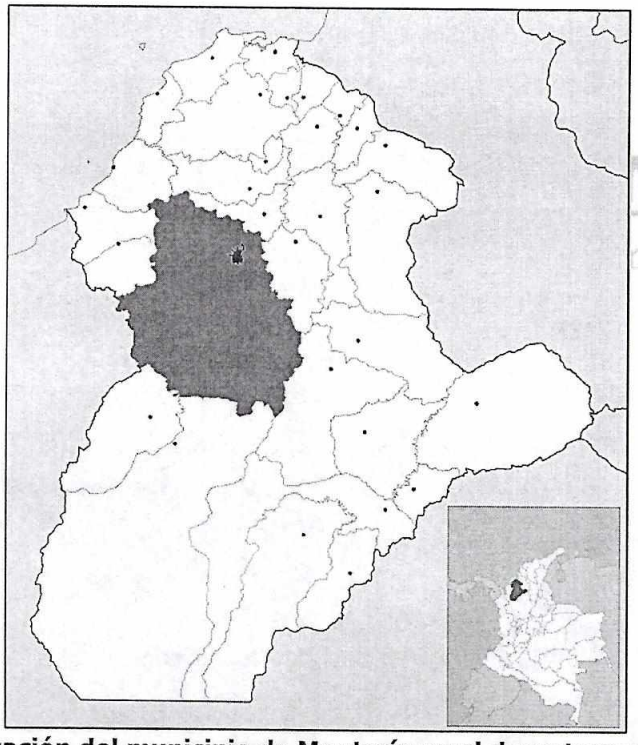


Figura 3. Localización del municipio de Montería en el departamento de Córdoba.
Fuente: Wikipedia, la enciclopedia libre. "Montería", [En línea]. Julio de 2013, [julio de 2013]. Disponible en la web: https://es.wikipedia.org/wiki/Monter%C3%ADa.

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.

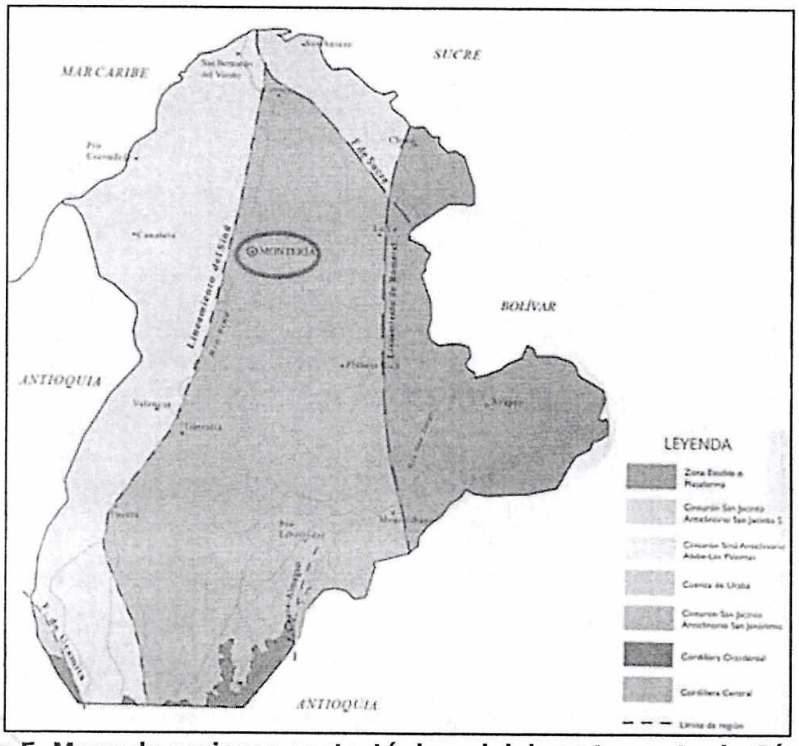


Figura 5. Mapa de regiones geotectónicas del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

El depósito encontrado en el proyecto corresponde a:

Q-al

Depósitos aluviales y llanuras aluviales.

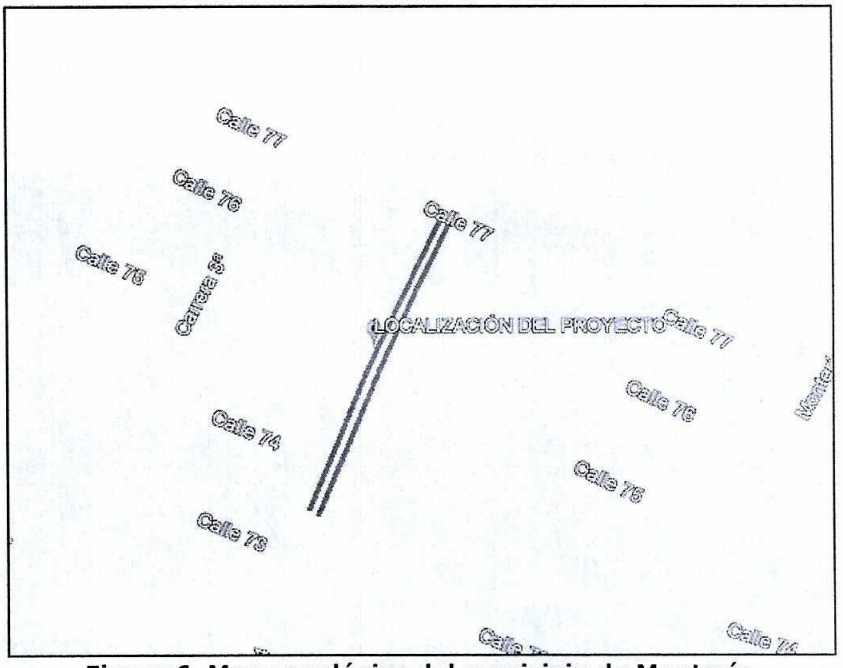


Figura 6. Mapa geológico del municipio de Montería.
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

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.

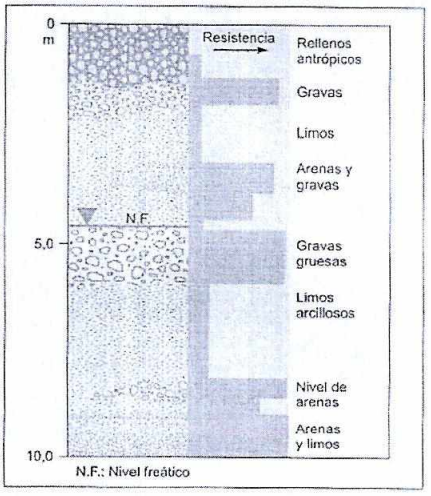


Figura 7. Perfil tipo de depósitos aluviales.
Fuente: González Vallejo, "Ingeniería geológica", editorial: PRENTICE HALL.

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.

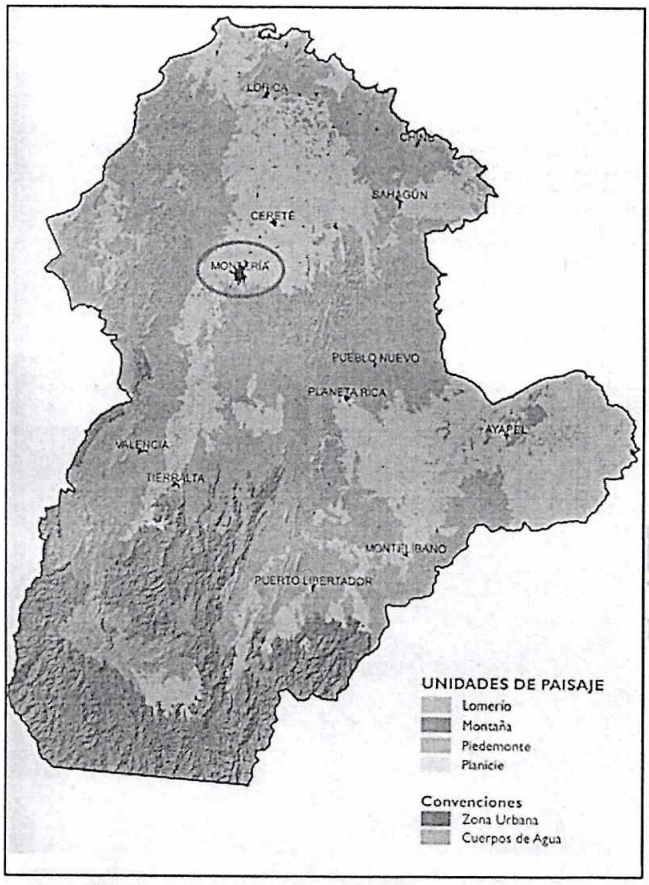


Figura 8. Unidades de paisaje del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

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.

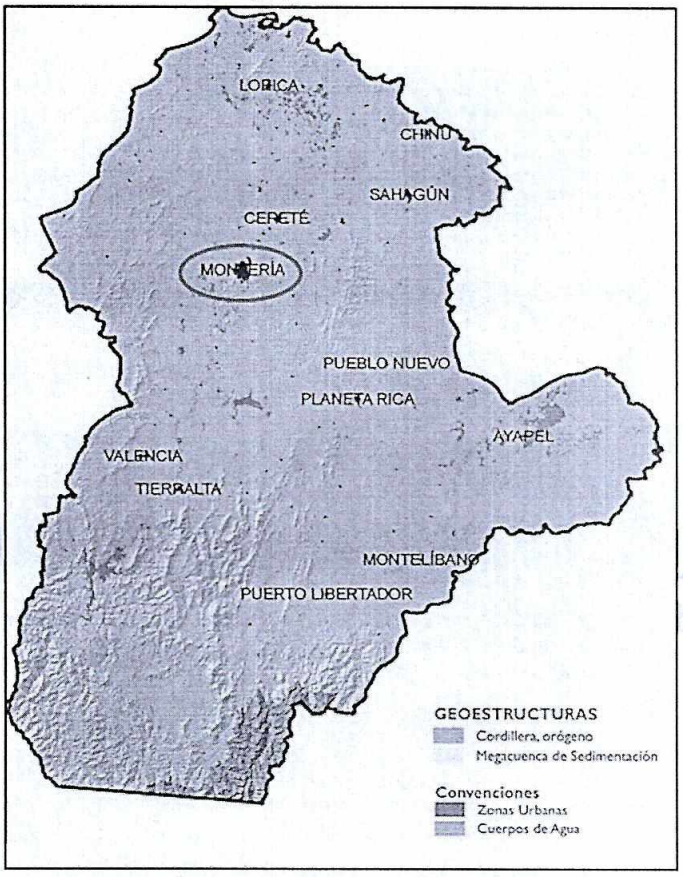


Figura 9. Mapa de Geoestructura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

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.

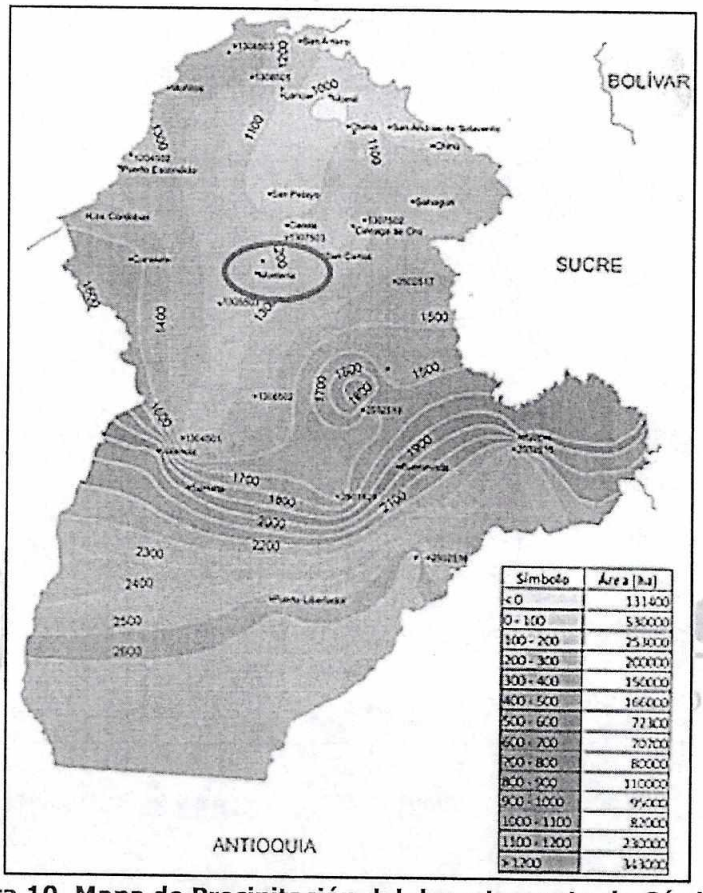


Figura 10. Mapa de Precipitación del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

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.

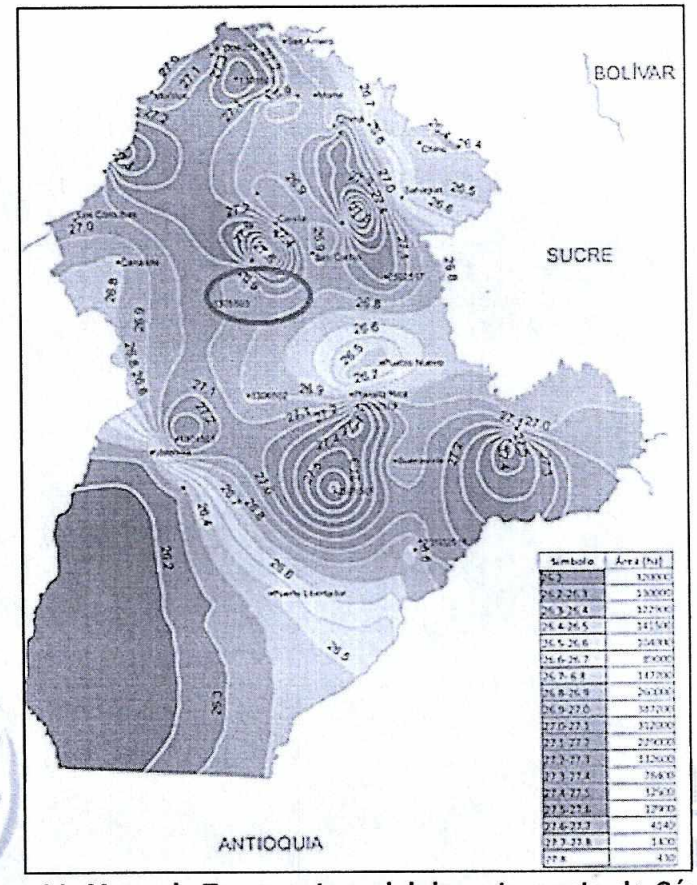
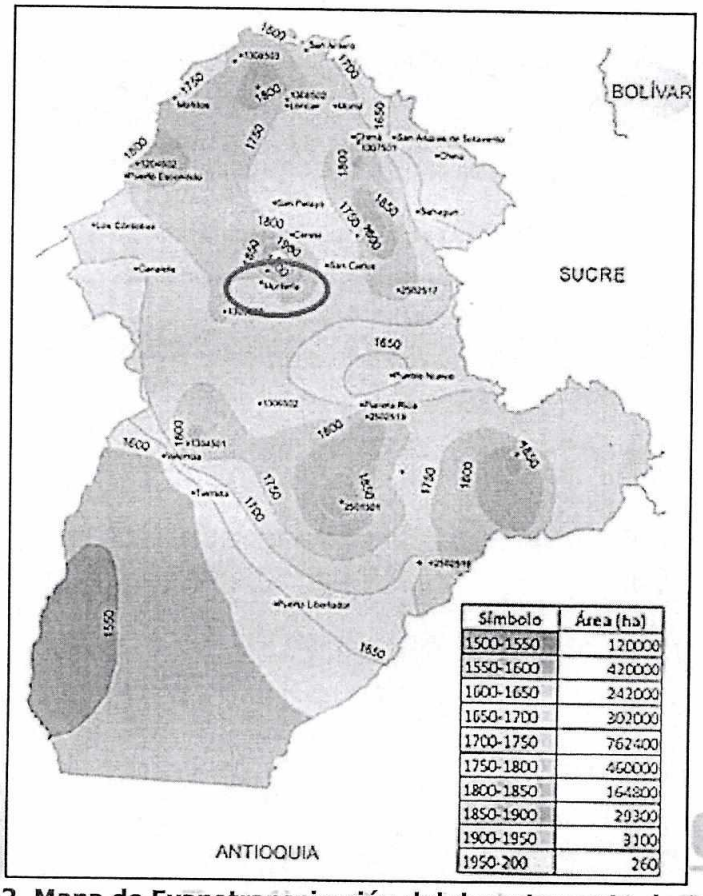


Figura 11. Mapa de Temperatura del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

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.



Símbolo	Área (ha)
1500-1550	120000
1550-1600	420000
1600-1650	242000
1650-1700	302000
1700-1750	762400
1750-1800	460000
1800-1850	164800
1850-1900	29300
1900-1950	3100
1950-200	260

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.

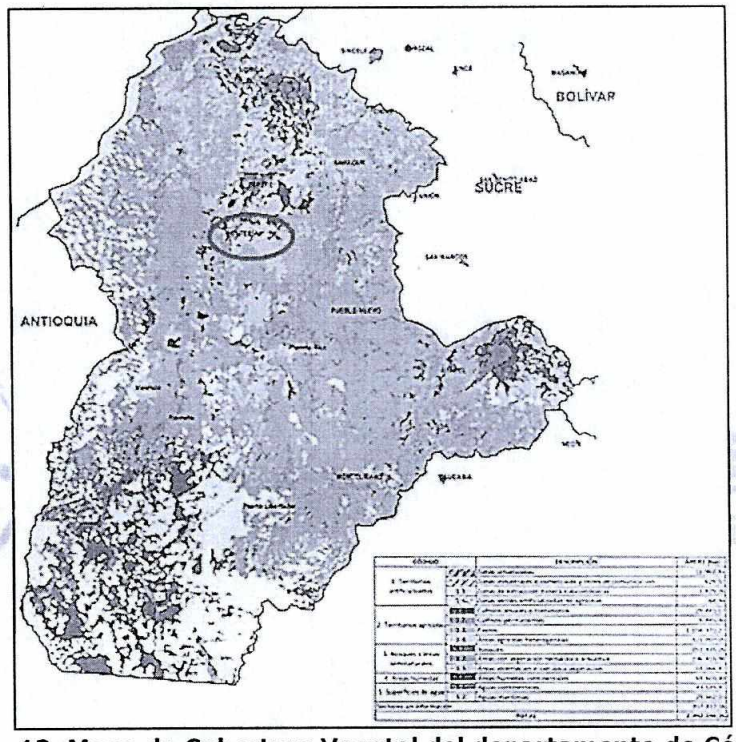


Figura 13. Mapa de Cobertura Vegetal del departamento de Córdoba.
Fuente: Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Córdoba, IGAC.

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%	36.97%	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%	45.72%	34.49%	22.77%	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%	96.85%	CL	A-7-6	ARCILLA DE MEDIANA PLASTICIDAD
3	0.50	1	1.00	25.00%	32.00%	14.00%	100.00%	100.00%	100.00%	96.52%	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%	35.00%	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 consultoría.

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:

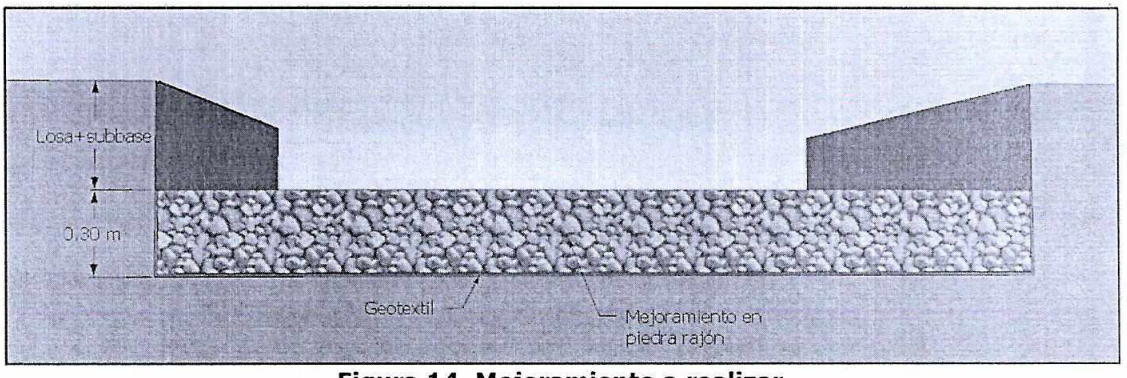


Figura 14. Mejoramiento a realizar.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría, con ayuda de la herramienta SketchUp.

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.

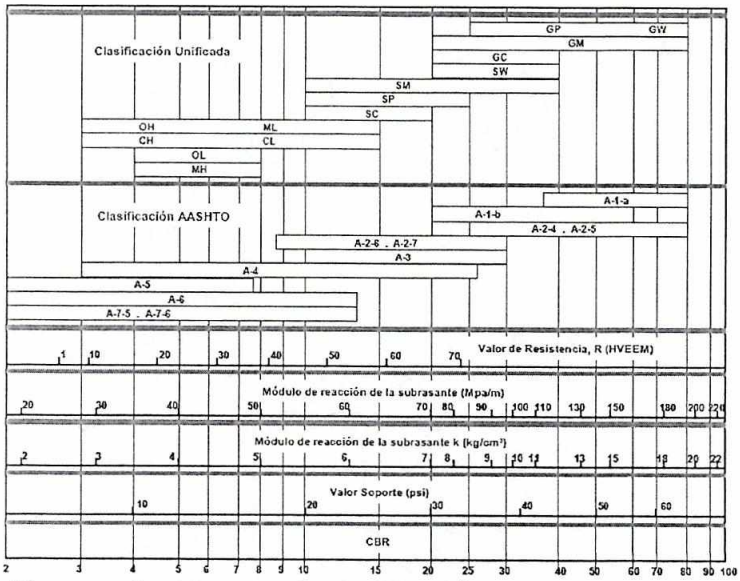
El método exige que las cargas reales sean afectadas por un factor de seguridad (Fsc), el cual depende de las características de las vías, en la siguiente tabla se resumen los valores recomendados:

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.*

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

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	66	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.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

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 evacua

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).

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

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 transmision 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.

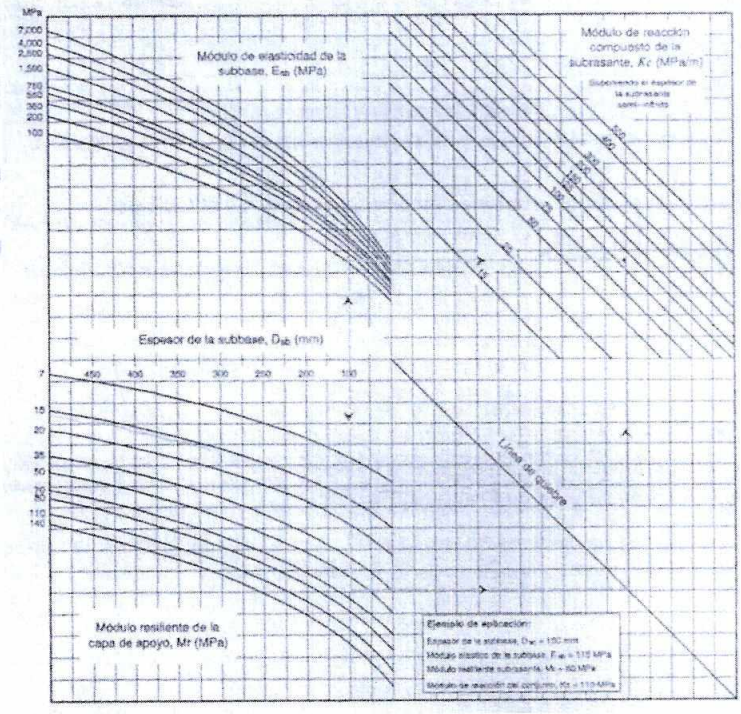
$$Mr_{Capa\ granular} = 0.206 * h^{0.45} * Mr_{Capa\ de\ apoyo}$$

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).

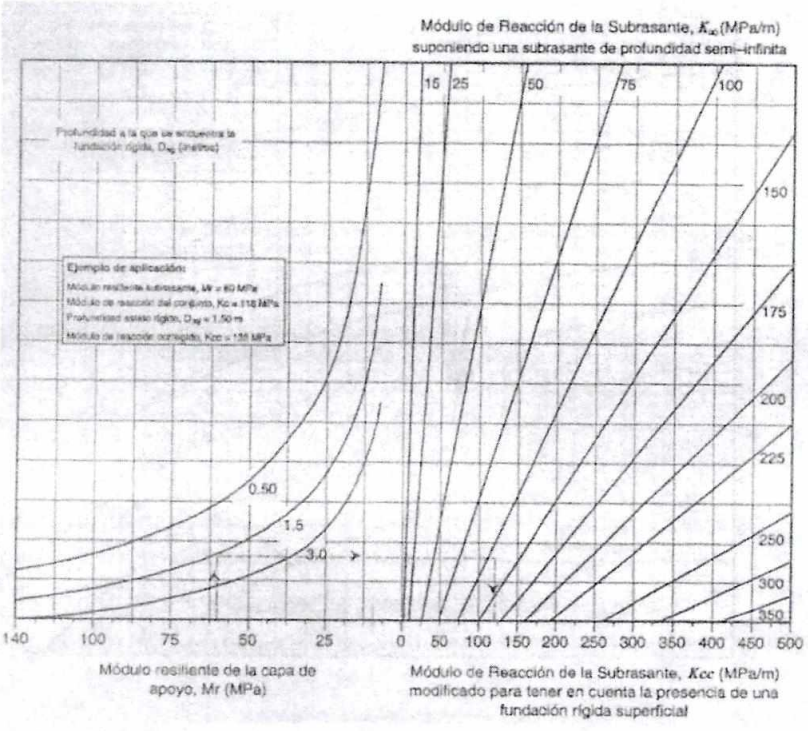
$Mr_{Capa\ de\ apoyo}$: Modulo resiliente de la capa de apoyo, ya sea subrasante o subbase granular.



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.

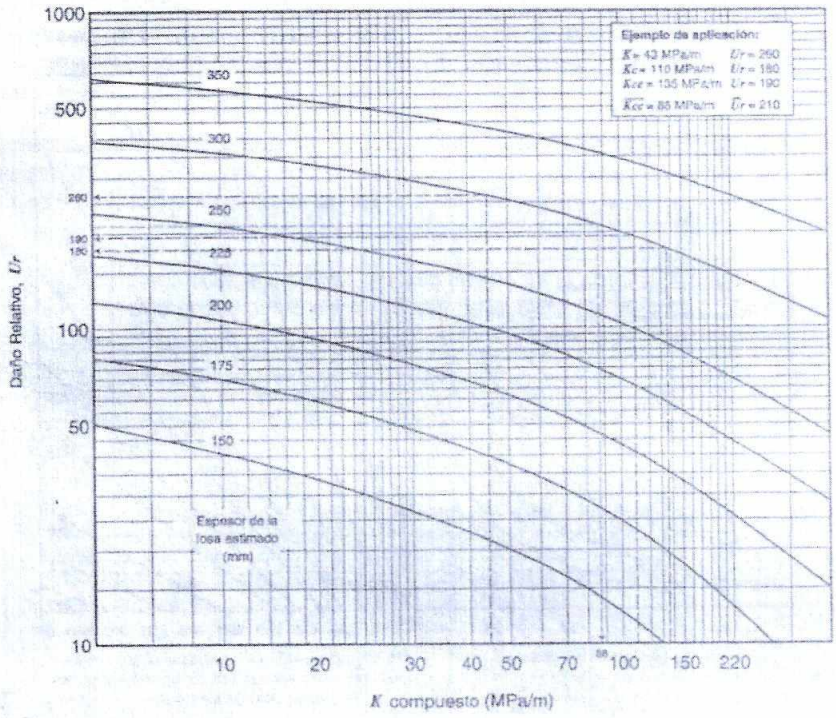
b) Si la subrasante está sobre un estrato rígido (rocoso) a menos de 3.00 m de profundidad, hay que corregir el módulo de reacción compuesto obtenido en el paso anterior, utilizando las siguientes curvas y con los siguientes parámetros:

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



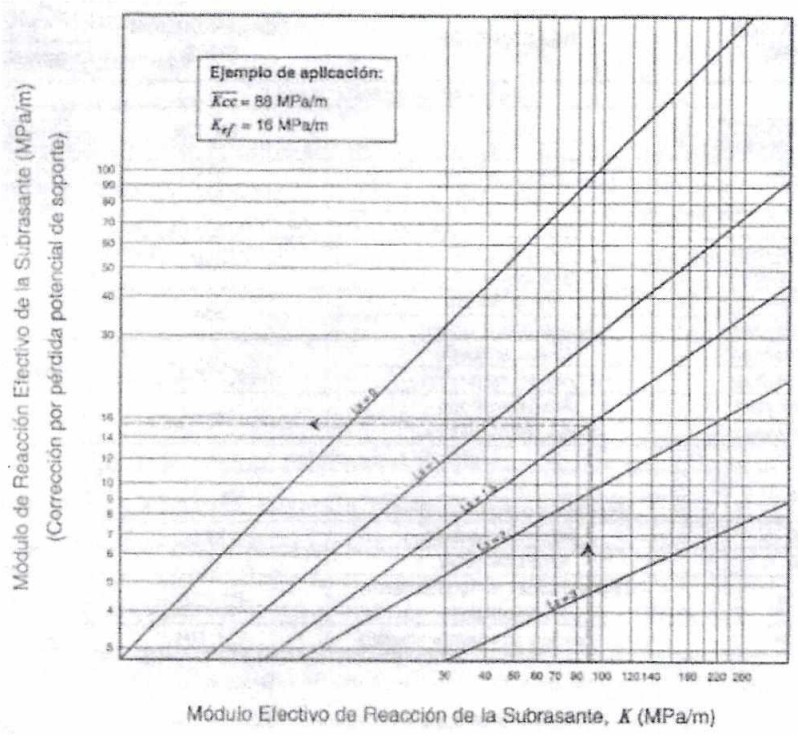
Gráfica 3. Carta para modificar el módulo de reacción de la subrasante por la presencia de una capa rígida cercana a la superficie.
Fuente: AASHTO Guide For Design of Pavement Structures. Washington D.C. 1993.

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:

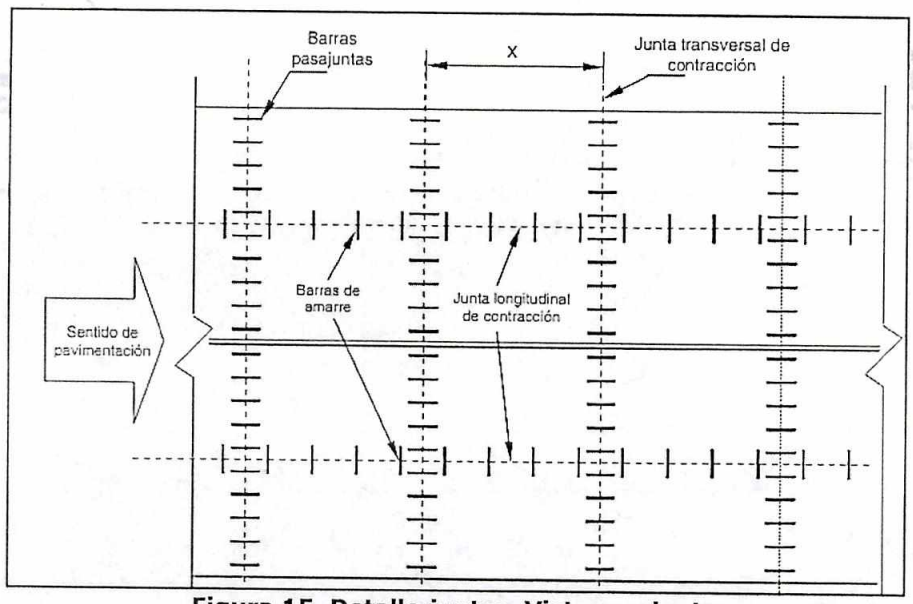


Figura 15. Detalle juntas. Vista en planta
Fuente: Manual Pemex para diseño de pavimentos en concreto rígido. 2004.

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.

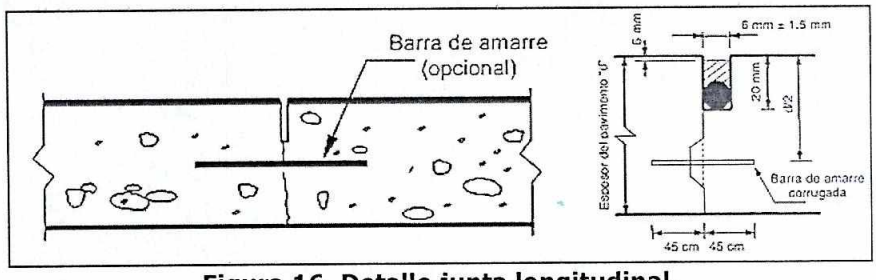


Figura 16. Detalle junta longitudinal.
Fuente: Manual Pemex para diseño de pavimentos en concreto rígido. 2004.

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:

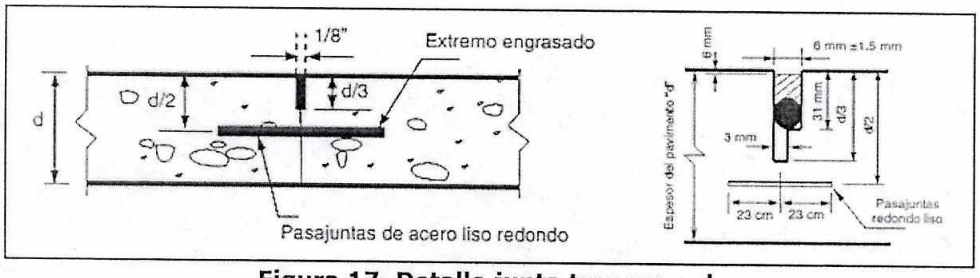


Figura 17. Detalle junta transversal.
Fuente: Manual Pemex para diseño de pavimentos en concreto rígido 2004.

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:

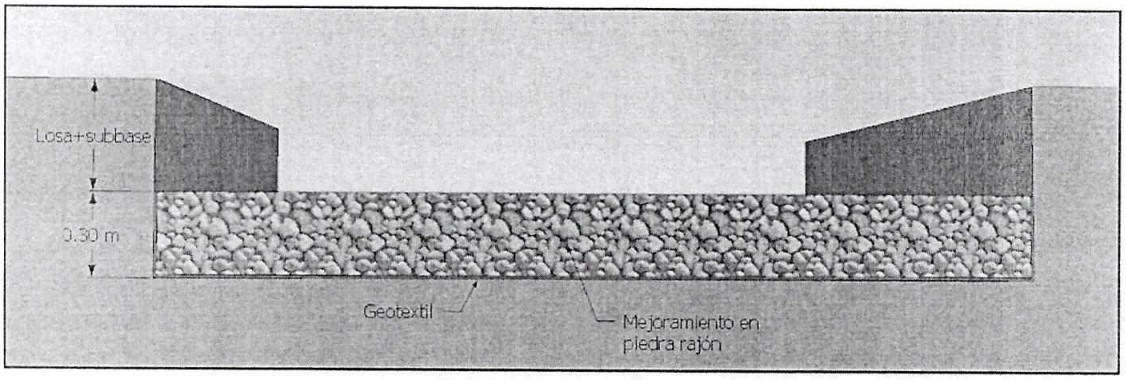


Figura 18. Mejoramiento a realizar.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría, con ayuda de la herramienta SketchUp.

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:

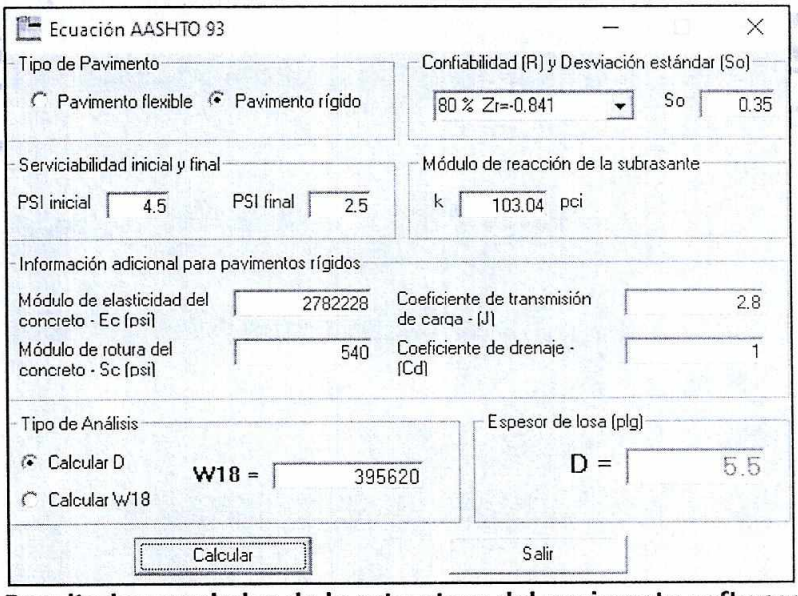


Tabla 22. Resultados arrojados de la estructura del pavimento software AASHTO.
Fuente: Elaborada por la presente consultoría, con ayuda del software AASHTO.

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:

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

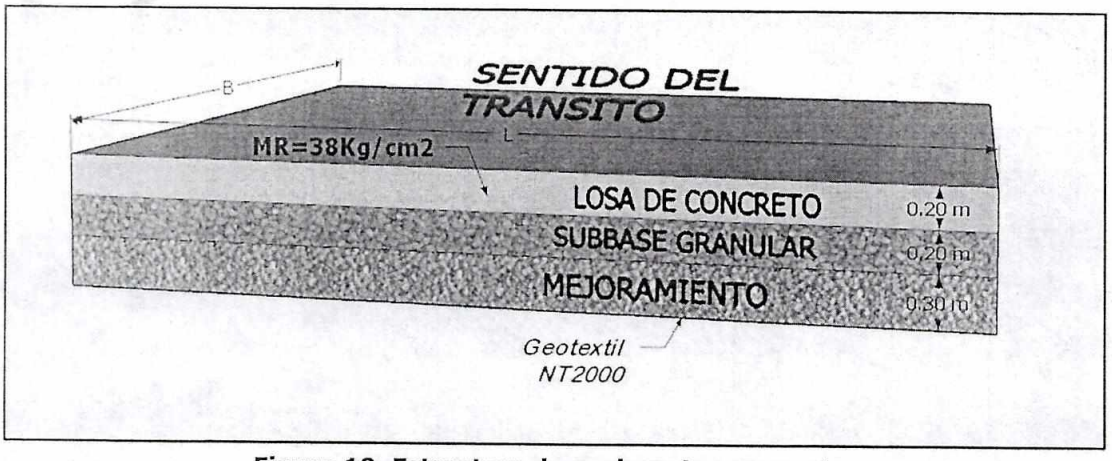


Figura 19. Estructura de pavimento propuesta.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría, con ayuda de la herramienta SketchUp.

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:

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

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:

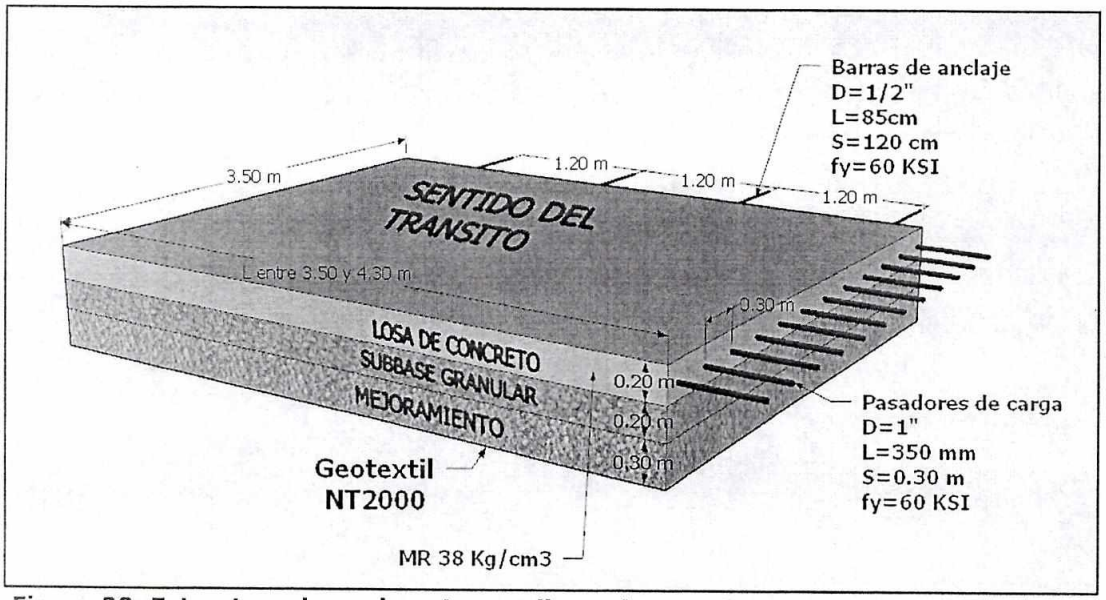


Figura 20. Estructura de pavimento con dimensiones tolerables y acero de refuerzo. Fuente: Elaborado por la presente consultoría, con ayuda de la herramienta SketchUp.

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).

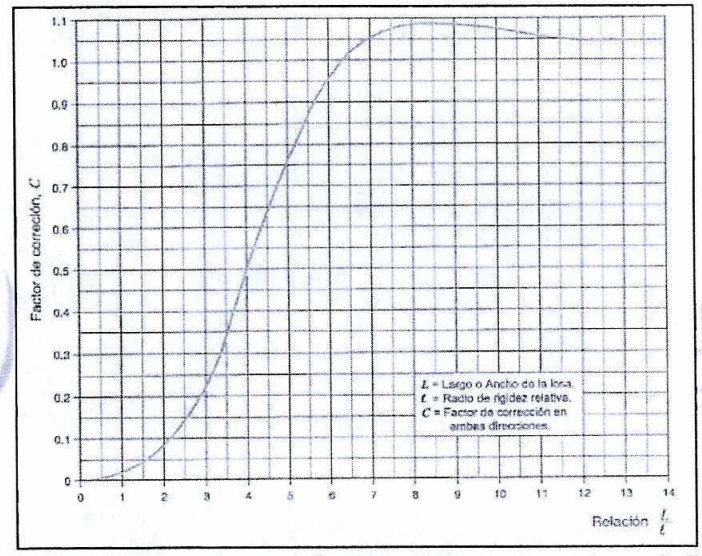


Figura 21. Factor de corrección de esfuerzos para losas infinitas.
Fuente: Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimento para carreteras, volumen II.

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.

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

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:

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

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

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

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 química - Requisitos físicos
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
Características 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. Artículo 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)				
Limite 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. Artículo 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:

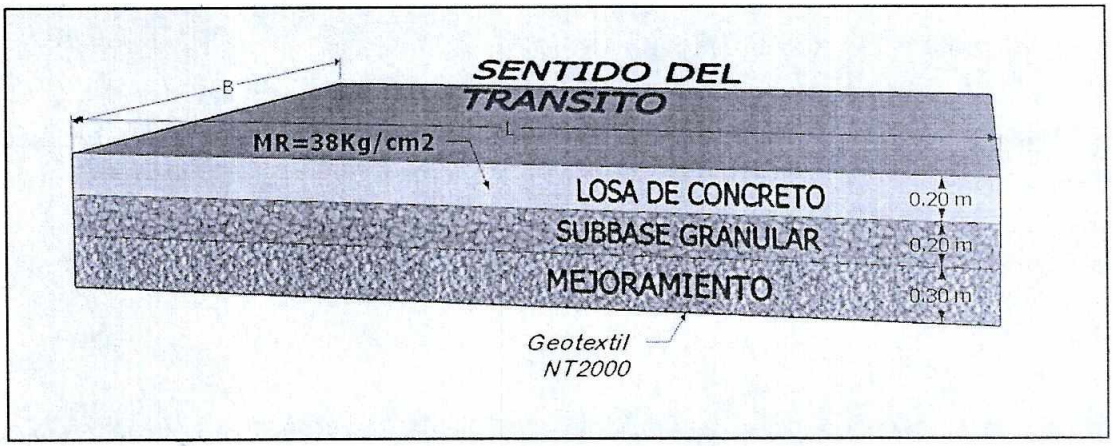


Figura 22. Estructura de pavimento propuesta.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría, con ayuda de la herramienta SketchUp.

- Para la modelación en el software PCA se tuvo en cuenta un módulo de rotura del concreto de 38 Kg/cm^2, 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/cm^2.
- 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.

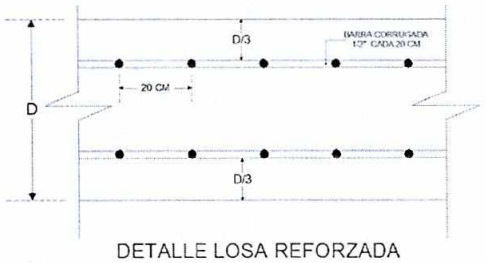


Figura 23. Detalle de las losas reforzadas.
Fuente: Elaborado por la presente consultoría.

- 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.

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

PABLO CASTILLA NEGRETE
Estudios Geotécnicos y Ambientales

Consultorías Geotecnia y Ambiente SAS

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 INVIAS E -157 -07

DATOS DEL ANILLO			CONTENIDO DE AGUA	ANTES DEL ENSAYO	DESPUES DEL ENSAYO
DIAMETRO	50	mm	PESO ANILLO Y SUELO HUMEDO (g)	210.60	214.8
			PESO ANILLO Y SUELO SECO (g)	191.36	202.9
AREA	1963.5	mm2	PESO ANILLO (g)	124.2	124.2
			PESO DEL SUELO (g)	67.16	78.7
ALTURA Ho	22.000	mm	CONTENIDO DE AGUA %	28.65	15.1
VOLUMEN TOTAL	43196.9	mm3	SATURACIÓN %	167.0	103.3

PARAMETROS DEL ENSAYO		INICIAL	FINAL
PESO UNITARIO SECO MAXIMO	gr/cm3	1.89	
HUMEDAD OPTIMA	%	18.6	
90% DEL PESO UNITARIO SECO MAXIMO	gr/cm3	1.322	1.822
GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)		2.65	
ALTURA DE SOLIDOS hs	cm	1.513	
VOLUMEN DE SOLIDOS Vs	cm3	25.343	
VOLUMEN DE VACIOS Vv	cm3	11.52	

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 VACIOS Hv'=Hf-Hs	DEFORMACION %	df-di	Δh
	INICIAL d	FINAL do							
5.0	0.00000	0.00000	0.00000	22.00000	22.00000	0.68749	0.00000		
12.7	0.00000	0.02921	0.02921	22.00000	21.97079	0.68457	0.00133		
25.5	0.02921	0.05842	0.02921	21.97079	21.94158	0.68165	0.00266		
51.0	0.05842	0.12065	0.06223	21.94158	21.87935	0.67542	0.00548		
101.9	0.12065	0.29464	0.17399	21.87935	21.70536	0.65802	0.01339		
204.0	0.29464	0.45974	0.16510	21.70536	21.54026	0.64151	0.02090		
INUNDACIÓN DE LA MUESTRA								0.68326	0.68326
204.0	0.45974	1.14300	0.68326	21.54026	20.85700	0.57319	0.05195		
407.6	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		
						Ie=	(df-di)/Ho	0.03106	
						Ie=	Δh/Ho		0.03106

Ing. Civil NATHALIA HERNANDEZ
M.P. 22202166765COR

Ing. Geotecnista PABLO CASTILLA NEGRETE
M.P. 132025[illegible]172BLV

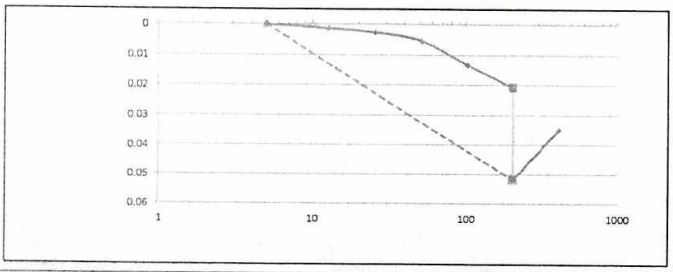
PROHIBIDA LA REPRODUCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE ESTE LABORATORIO

501/K

Consultorías Geotécnica y Ambiental S.A.S	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 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	0.02921	0.05842	0.12065	0.29464	0.48260	0.68580	0.00000
0.25							0.49784	0.69342	0.00000
0.5							0.50800	0.69850	0.00000
1							0.52070	0.70612	0.00000
2							0.53594	0.71120	0.00000
4							0.54610	0.71501	0.00000
8							0.54991	0.72009	0.00000
15	0.00000	0.02286	0.05080	0.11176	0.25908	0.43688	0.55372	0.72390	0.00000
30	0.00000	0.02540	0.05461	0.11684	0.27178	0.44450	0.55880	0.72898	0.00000
60	0.00000	0.02921	0.05842	0.12065	0.29464	0.45974	0.56388	0.73914	0.00000
120							0.56896	0.74295	0.00000
240							0.57531	0.74930	0.00000
480							0.76200	0.75565	0.00000
1440							1.14300	0.76708	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 %	3.11%	NO CUMPLE

Ing. Civil NATHALIA HERNANDEZ
M.P. 22202166765COR

Ing. Geotecnista PABLO CASTILLA NEGRETE
M.P. 1320231172BLV

PROHIBIDA LA REPRODUCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE ESTE LABORATORIO

Consultorías Geotecnia y Ambiente SAS	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	gr/cm3	1.97	
DIAMETRO	50.48	mm	PESO ANILLO Y SUELO HUMEDO (g)	196.21	205.5	HUMEDAD OPTIMA	%	12	
			PESO ANILLO Y SUELO SECO (g)	187.87	196.77	90% DEL PESO UNITARIO SECO MAXIMO	gr/cm3	1.567	1.787
AREA	2001.4	mm2	PESO ANILLO (g)	124.46	124.46	GRAVEDAD ESPECIFICA (Gs)		3.082	
			PESO DEL SUELO (g)	63.41	72.31	ALTURA DE SOLIDOS hs	cm	1.172	
ALTURA Ho	20.220	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	14.91	

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 VACIOS Hv'=Hf-Hs	DEFORMACION %	df-di	Δh
	INICIAL d	FINAL do							
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	0.00025		
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	0.63500	0.19050	19.77550	19.58500	0.78620	0.03140		
INUNDACIÓN DE LA MUESTRA								0.63500	0.63500
204.0	0.63500	1.27000	0.63500	19.58500	18.95000	0.72270	0.06281		
407.6	1.95072	2.49174	0.54102	18.95000	18.40898	0.66860	0.12323		
815.2	0.00000	0.00000	0.00000	18.40898	18.40898	0.66860	0.00000		
						Ie=	(df-di)/Ho	0.03140	
						Ie=	Δh/Ho		0.03140

Ing. Civil NATHALIA HERNANDEZ
M.P. 22202166765COR

Ing. Geotecnista PABLO CASTILLA NEGRETE
M.P. 132025 1172BLV

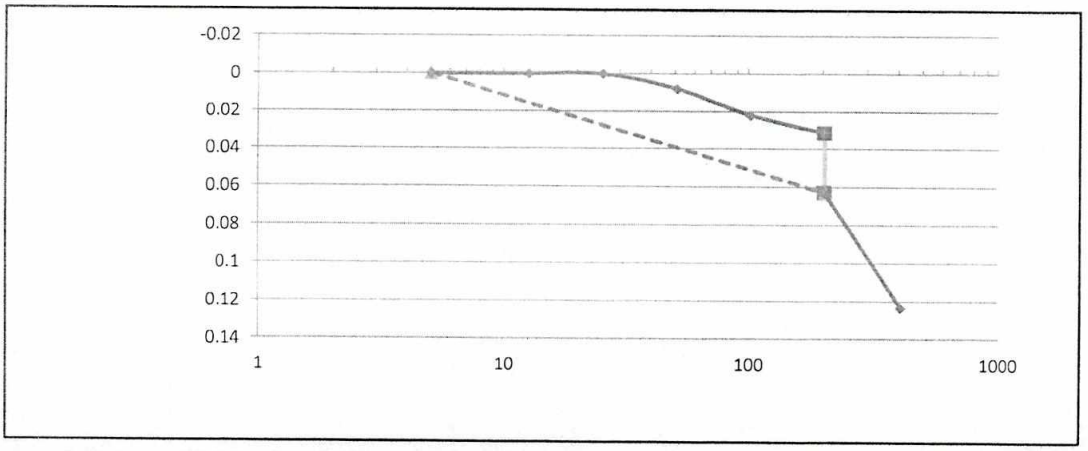
PROHIBIDA LA REPRODUCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE ESTE LABORATORIO

502/R

Consultorias Geotecnia y Ambiente S.A.S.	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	2.49174	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. 22202166765COR

Ing. Geotecnista PABLO CASTILLA NEGRETE
M.P. 1320251172BLV

PROHIBIDA LA REPRODUCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACION DE ESTE LABORATORIO

TRANSITO - COMUNA 8

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.

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".

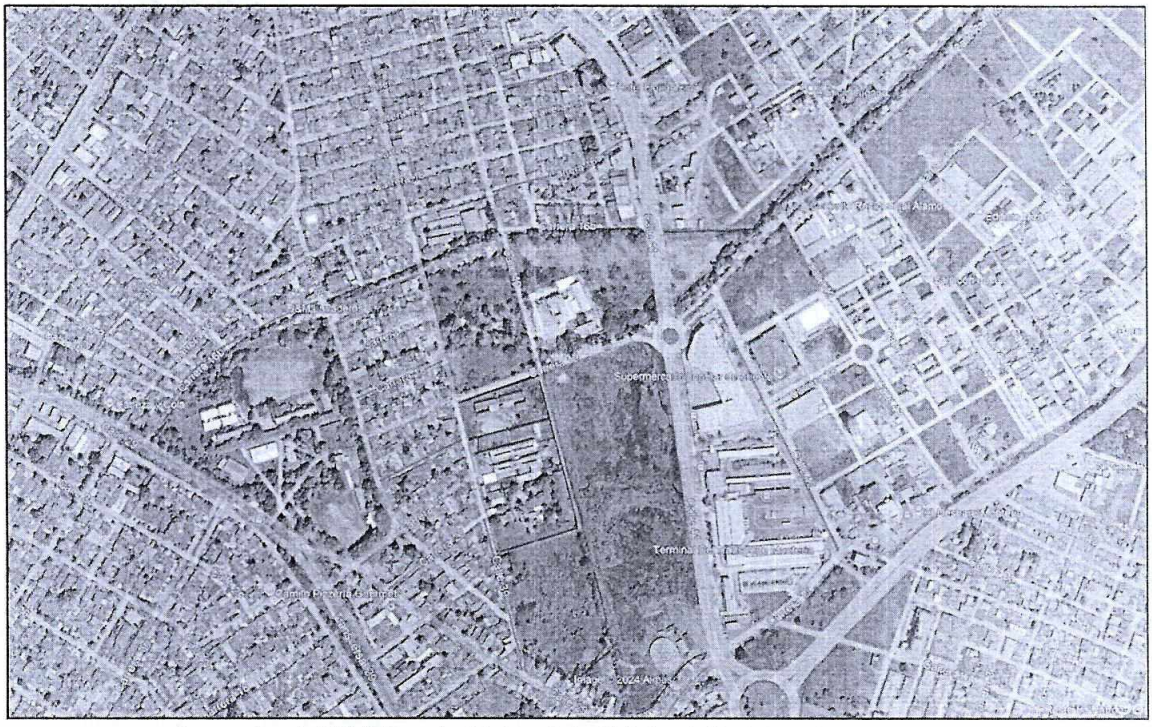
- Determinar la distribución porcentual de vehículos livianos y comerciales en los tramos viales ubicados en vías de barrios pertenecientes a la comuna 8.

2 Antecedentes

2.1 Localización del proyecto

El proyecto se encuentra localizado en los barrios Villa Fátima, Santa Bárbara, 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

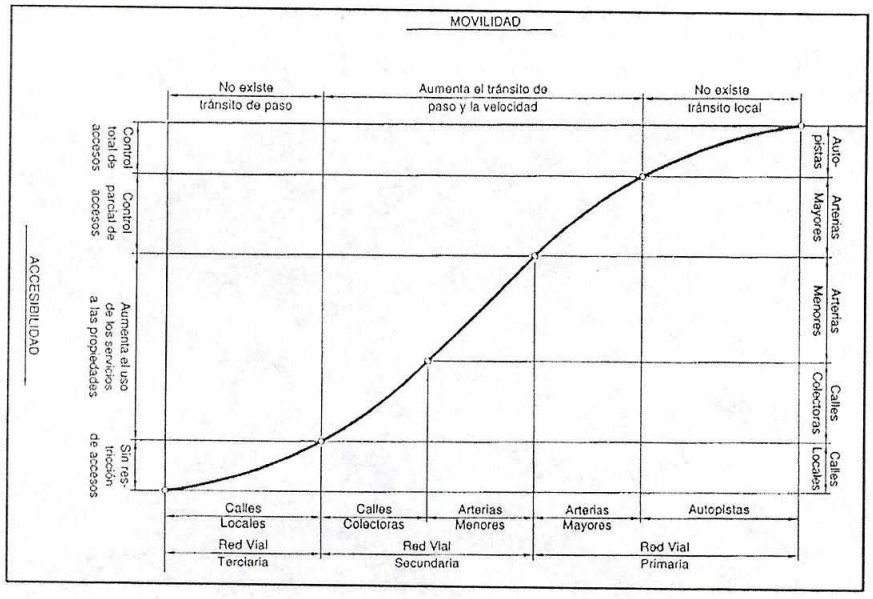
Comuna	Barrios	Longitud del tramo (km)	Dirección
8	Villa Fátima	0.320	Salida de los barrios San Antonio, Villa Fátima y Villa Sorrento hacia la Calle 41

	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 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 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.

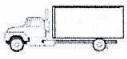
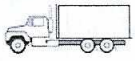
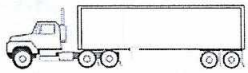
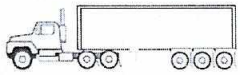
3 Marco de referencia

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 Doble troque
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 las 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 periodo 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 trídem en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

511/k

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 períodos 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/día.

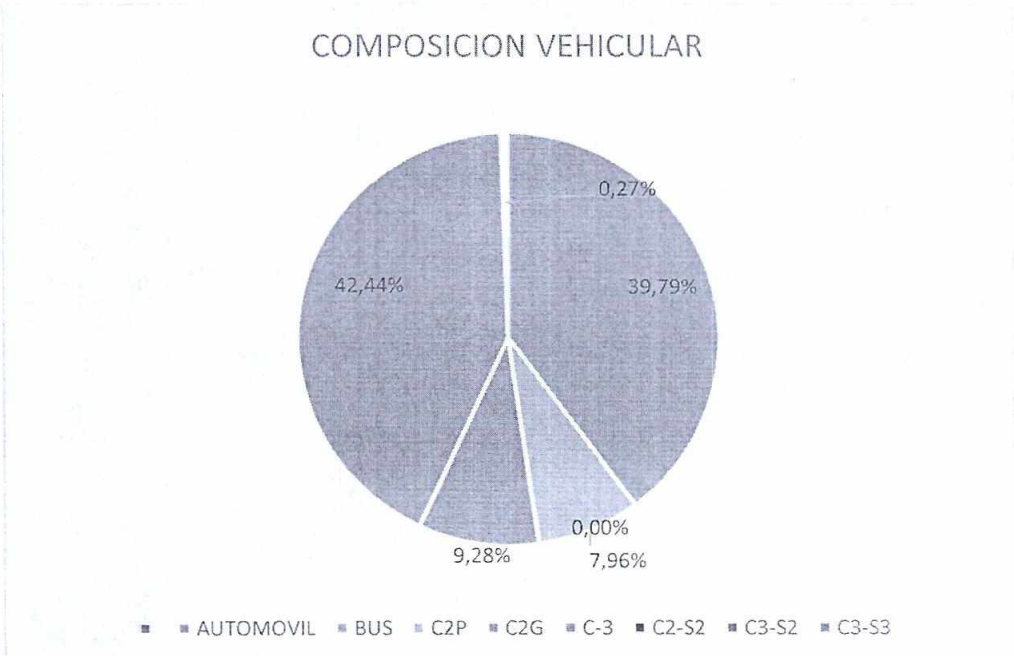
5.2.1.1 *Composición vehicular barrio Villa Fátima.*

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.



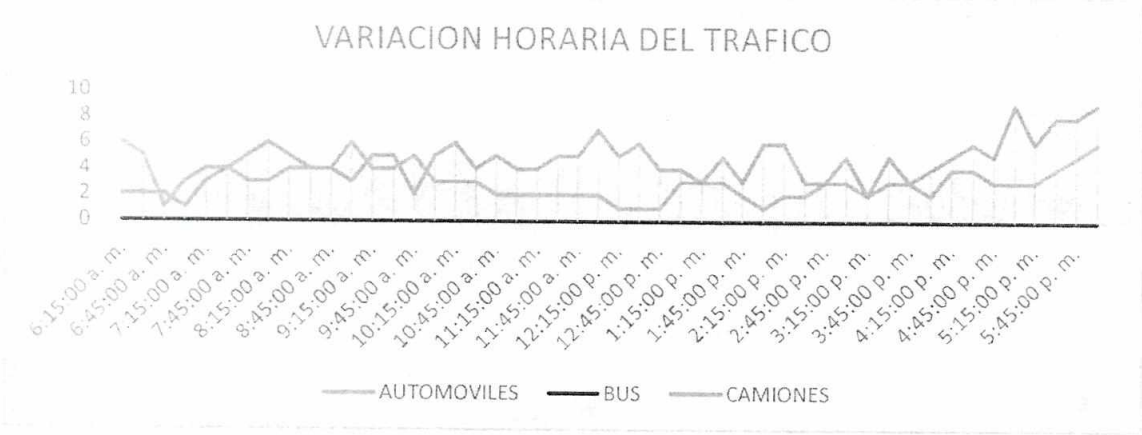
En la vía donde se hizo el aforo, predomina el flujo de camiones con un 60.21%, seguido de vehículos automóviles con un 39.79%, por otro lado tenemos que no hay flujo de buses.

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.

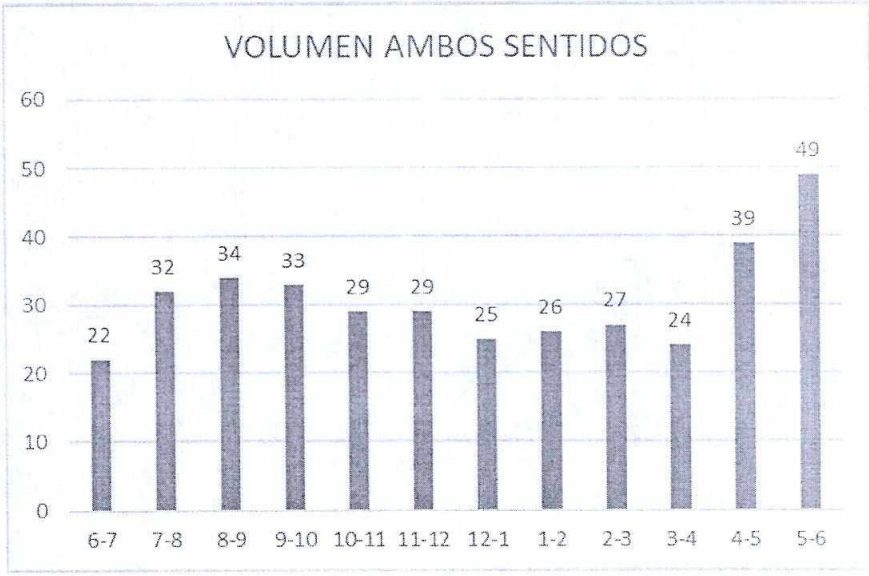
Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})} \qquad (3)$$

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.



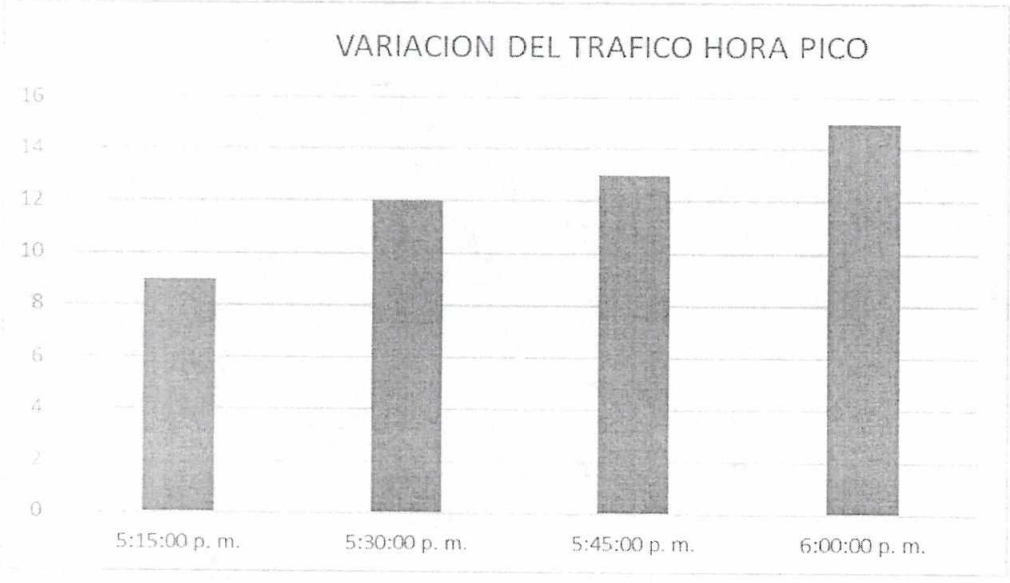
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

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	39.79	6642	0	12,898,000
C2P	7.96	1329	0.41	
C2G	9.28	1549	4.40	
C3	42.44	7084	8.77	
C2S3	0.27	45	13.84	
C3S3	0.27	45	11.83	

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	242,490		242,490				
C2G		282,702		282,702			
C3		1,292,876				1,292,876	
C2S3		8,225			16,450		
C3S3		8,225				8,225	8,225
TOTAL	242,490	1,592,029	242,490	282,702	16,450	1,301,102	8,225

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	242490
C2G	282702
C3	1292876
C2S3	8225
C3S3	8225

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	65	62	68	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/día

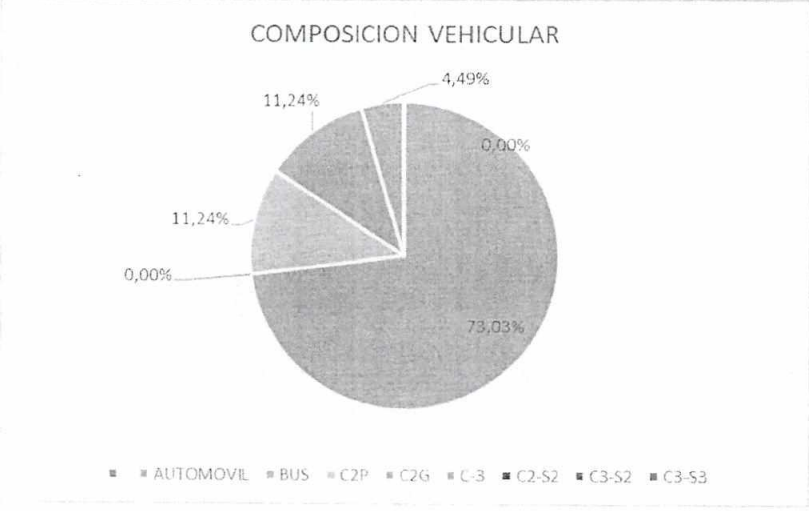
5.2.2.1 *Composición vehicular barrio Santa Bárbara.*

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 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.

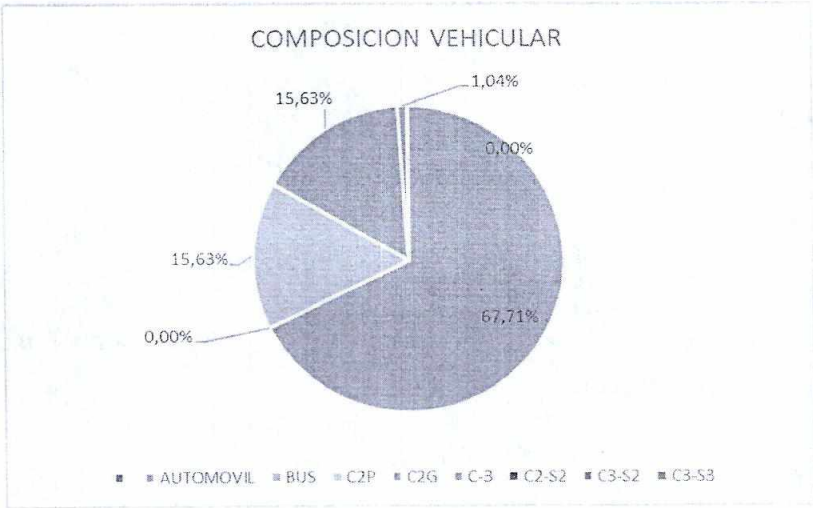


En la vía calle 46 entre carrera 18 y la vía Montería – San Carlos, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 73.00%, seguido de vehículos camiones con un 26.97%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

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



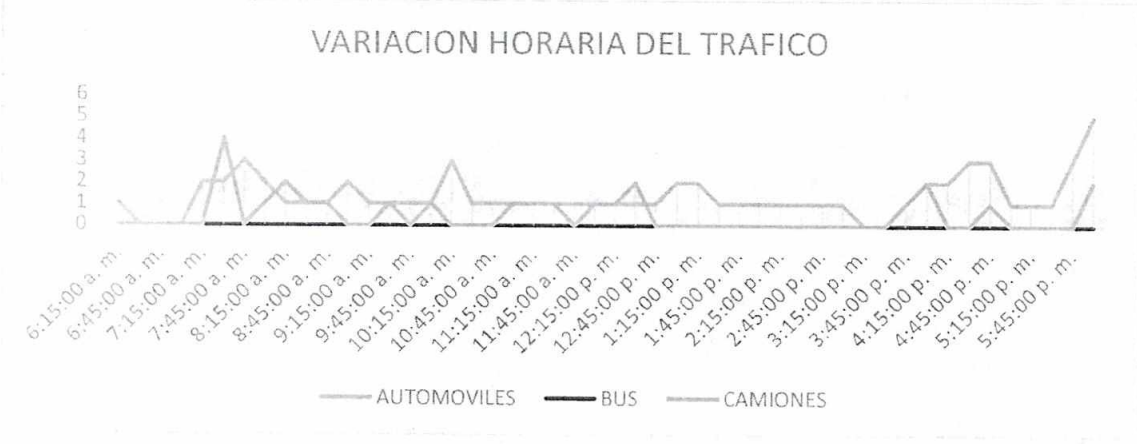
En la vía carrera 18b entre calles 44ª y 48, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 67.71%, seguido de vehículos camiones con un 32.29%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

5.2.2.2 *Variación horaria del volumen de tránsito del barrio Santa Bárbara*

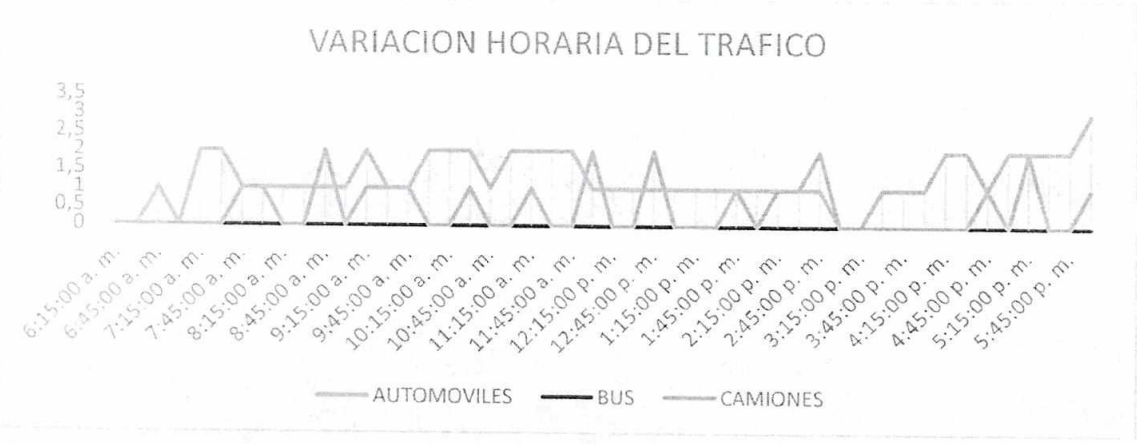
Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

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:

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.

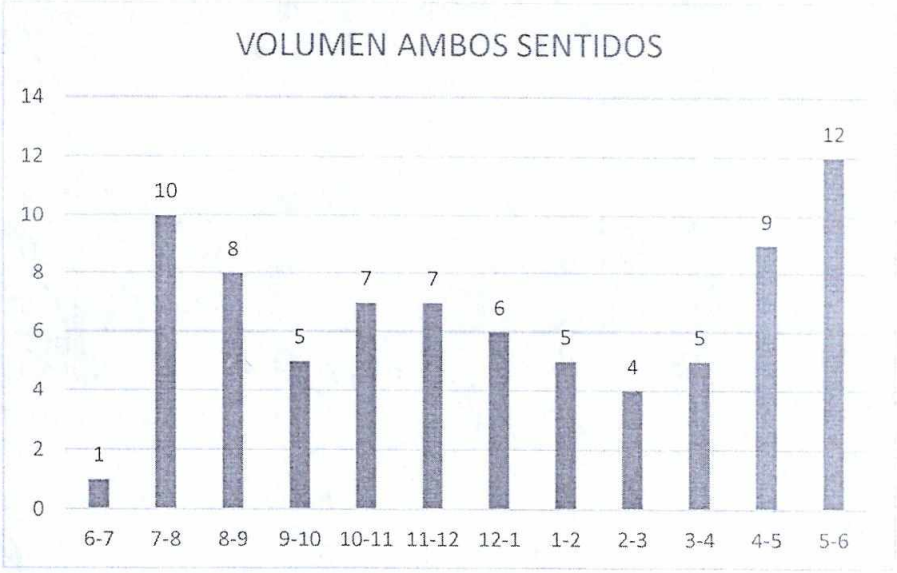
Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})} \qquad (4)$$

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.



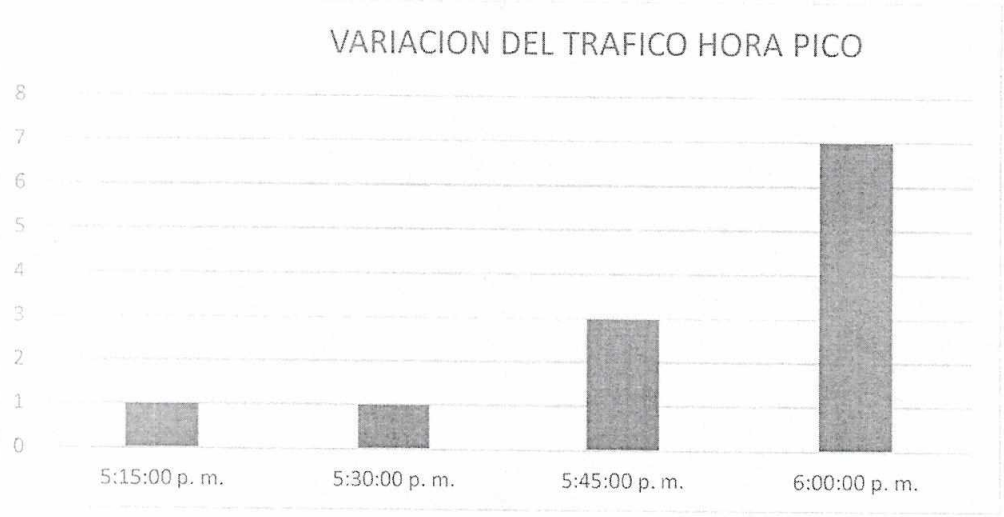
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

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:

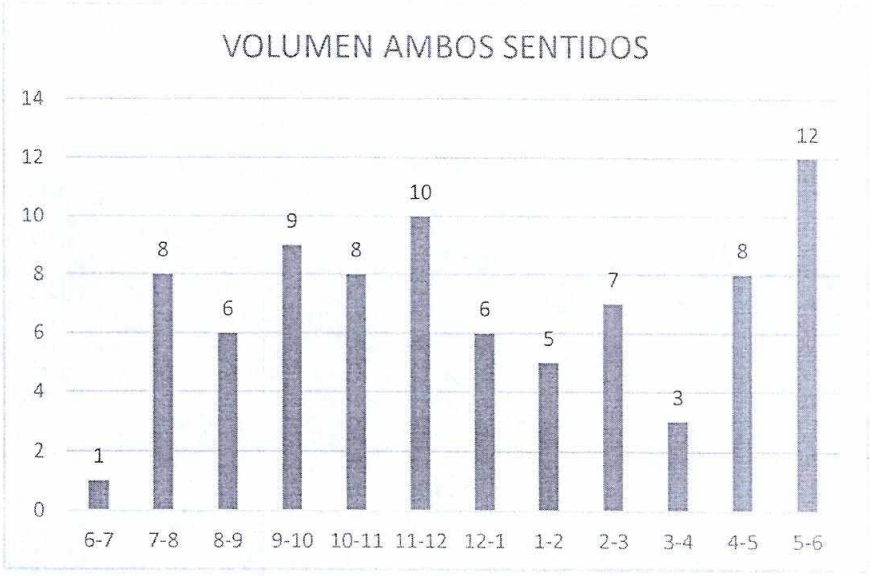
Tabla 14. Volumen horario máximo en calle 46 entre la cra. 18 y la vía Montería – San Carlos.

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 44ª y 48, tenemos que:

Gráfica 11. Variación del volumen de tránsito en un día en la cra. 18b entre calles 44ª y 48.



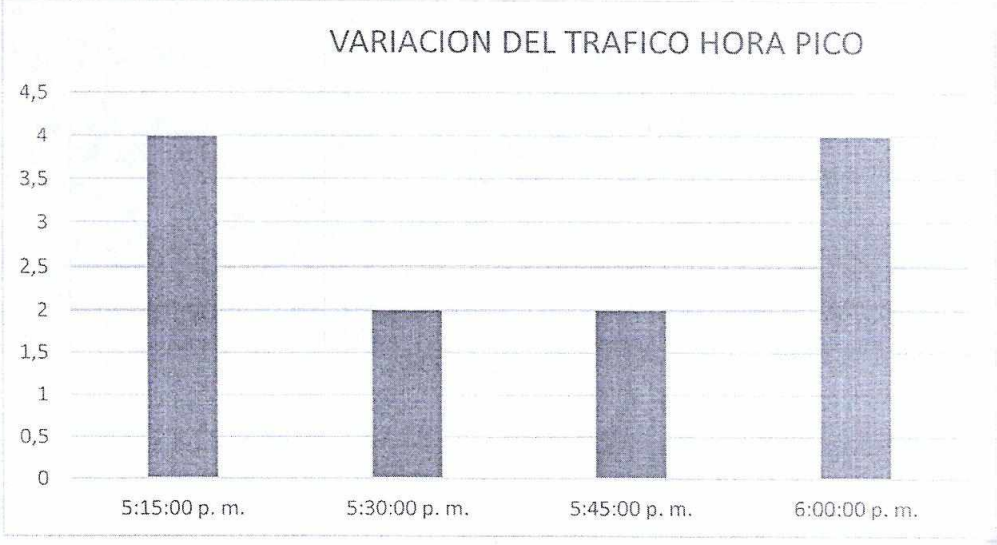
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

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	671,146
C2P	11.24	442	0.41	
C2G	11.24	442	4.40	
C3	4.49	177	8.77	
C2S3	0.00	0	13.84	
C3S3	0.00	0	11.83	

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	80679
C2G	80679
C3	32229
C2S3	0
C3S3	0

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	80,679		80,679				
C2G		80,679		80,679			
C3		32,229				32,229	
C2S3		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 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 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				
Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	67.71	2873	0	653,271
C2P	15.63	663	0.41	
C2G	15.63	663	4.40	
C3	1.04	44	8.77	
C2S3	0.00	0	13.84	
C3S3	0.00	0	11.83	

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	121024
C2G	121024
C3	8053
C2S3	0
C3S3	0

ESPECTRO DE CARGAS							
Vehículo	Eje Simple Rueda Simple		Eje Simple Rueda Doble		Eje Tándem		Eje Tridem
	3.1	6	6.6	11	21	22	24
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

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/día

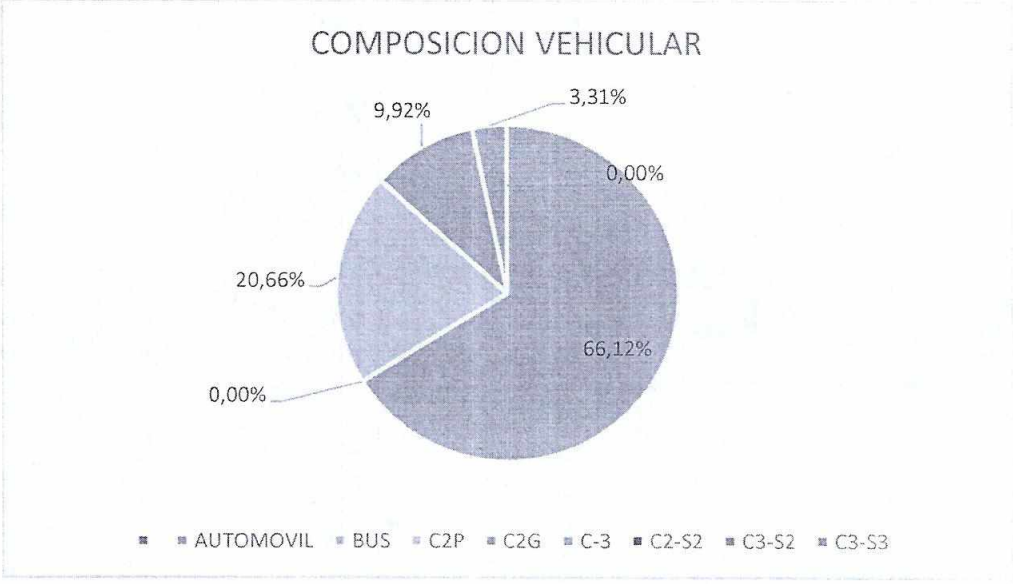
5.2.3.1 *Composición vehicular barrio El Edén II.*

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 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.

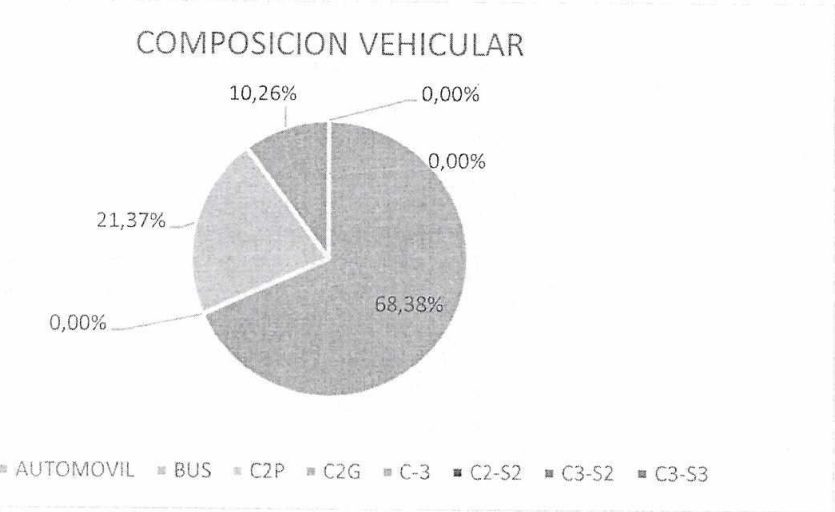


En la vía carrera 15b entre calles 29 y 34, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 66.12%, seguido de vehículos camiones con un 33.88%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

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.



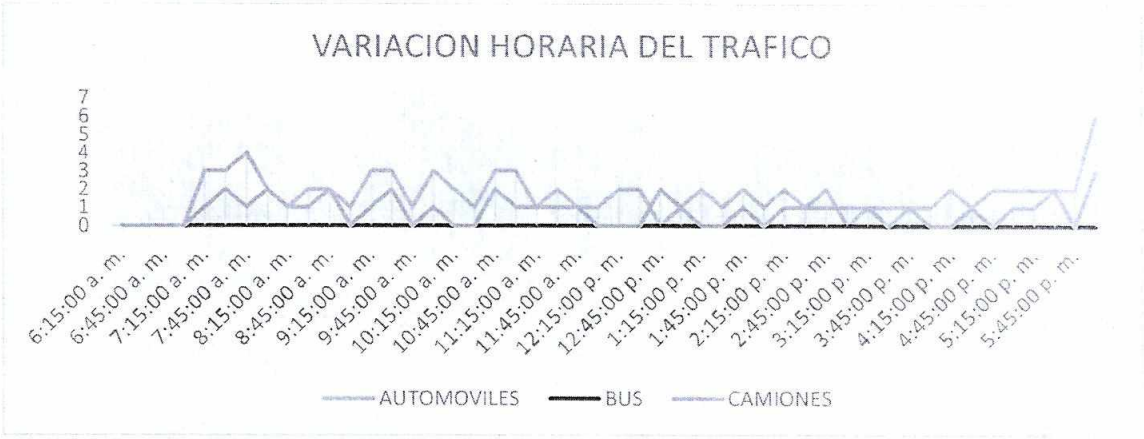
En la vía carrera 16b entre calles 29 y 38, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 68.4%, seguido de vehículos camiones con un 31.62%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

5.2.3.2 *Variación horaria del volumen de tránsito del barrio El Edén II*

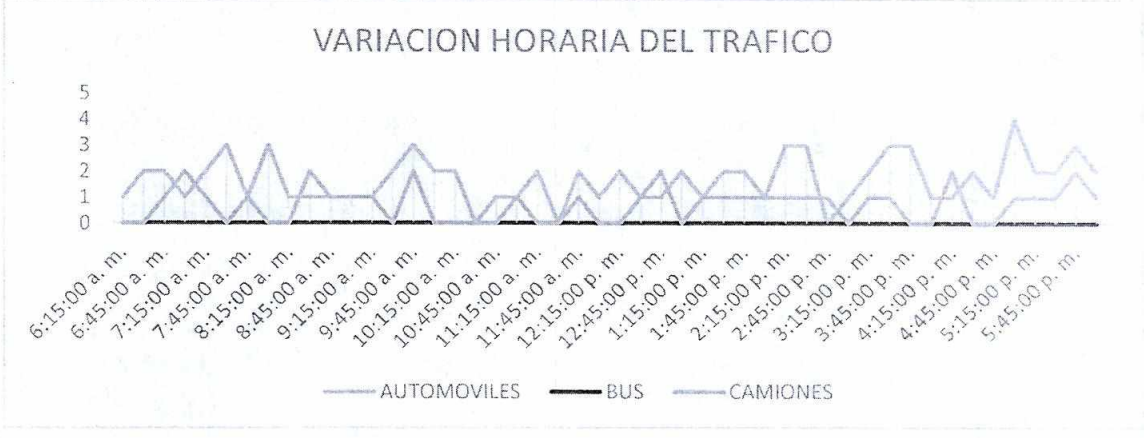
Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

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.

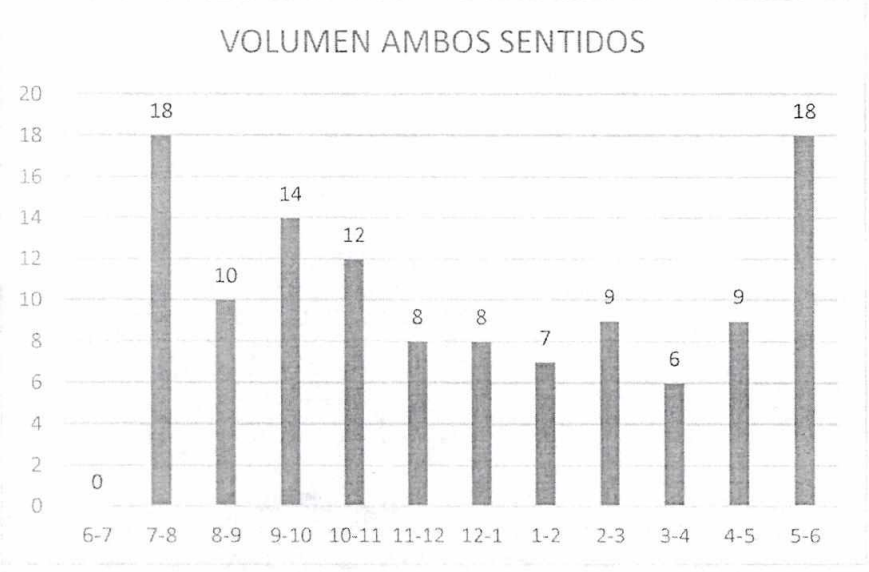
Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})} \qquad (5)$$

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.



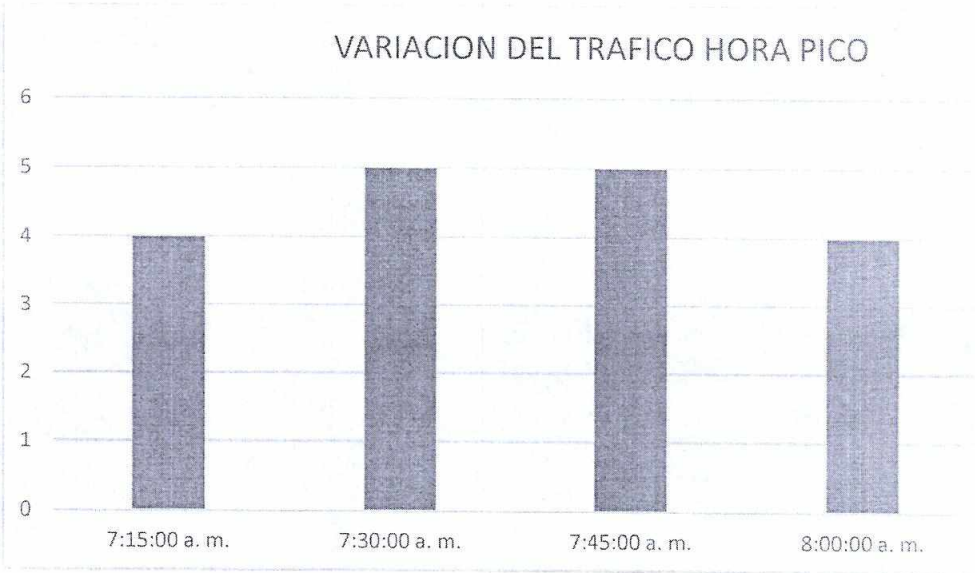
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 07:00 am – 08:00 am y su volumen horario es:

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:

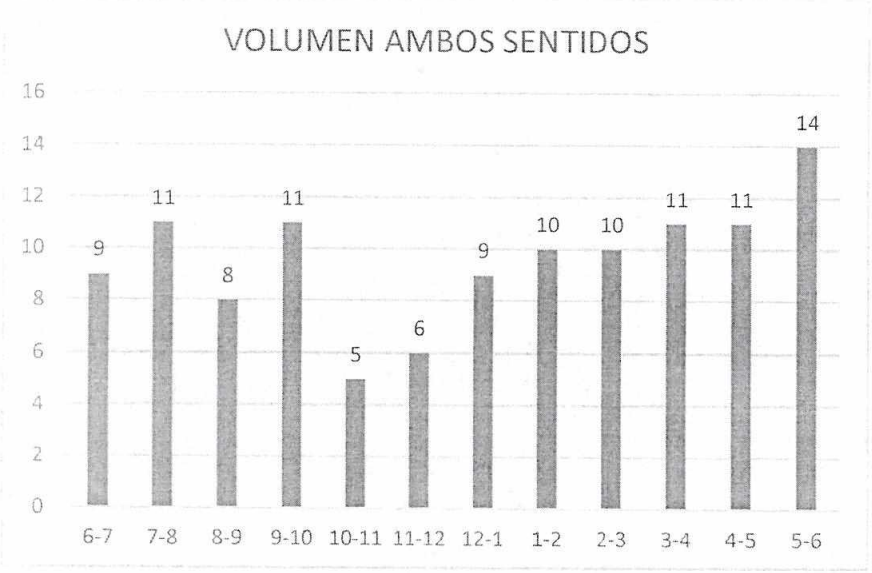
Tabla 25. Volumen horario máximo en carrera 15b entre calles 29 y 34.

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.



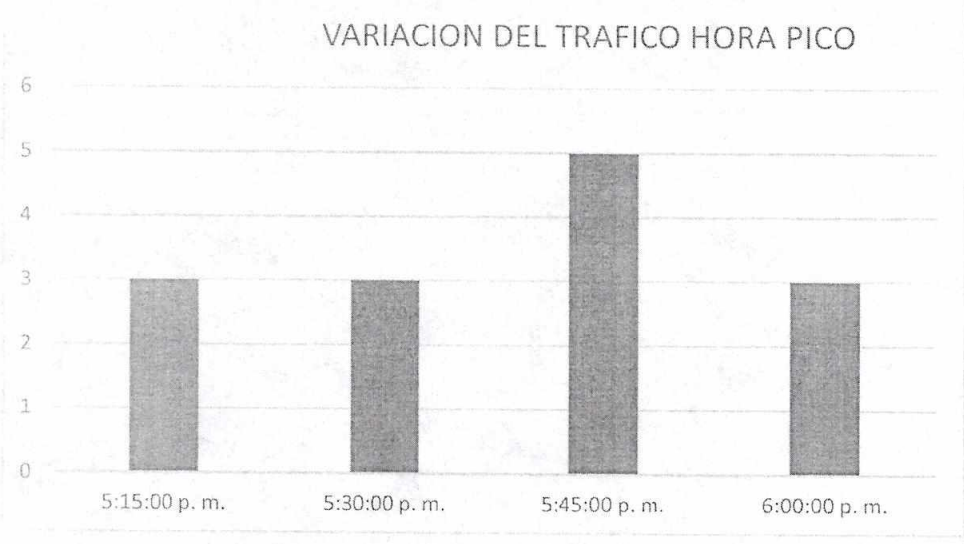
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

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 (%)	4.0
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

Vehículos	%	Cantidad	Factor Daño	Ejes equivalentes de 8.2 ton
Autos	66.12	3542	0	794,435
C2P	20.66	1107	0.41	
C2G	9.92	531	4.40	
C3	3.31	177	8.77	
C2S3	0.00	0	13.84	
C3S3	0.00	0	11.83	

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	202,008		202,008				
C2G		96,995		96,995			
C3		32,364				32,364	
C2S3		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	202,008	129,360	202,008	96,995	0	32,364	0

Número de vehículos en el periodo de diseño

Vehículo	Cantidad
C2P	202008
C2G	96995
C3	32364
C2S3	0
C3S3	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	325
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	68.38	3537	0	509,690
C2P	21.37	1105	0.41	
C2G	10.26	531	4.40	
C3	0.00	0	8.77	
C2S3	0.00	0	13.84	
C3S3	0.00	0	11.83	

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	201,704		201,704				
C2G		96,840		96,840			
C3		0				0	
C2S3		0			0		
C3S3		0				0	0
TOTAL	201,704	96,840	201,704	96,840	0	0	0

Número de vehículos en el periodo de diseño	
Vehículo	Cantidad
C2P	201704
C2G	96840
C3	0
C2S3	0
C3S3	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/día

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/día

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

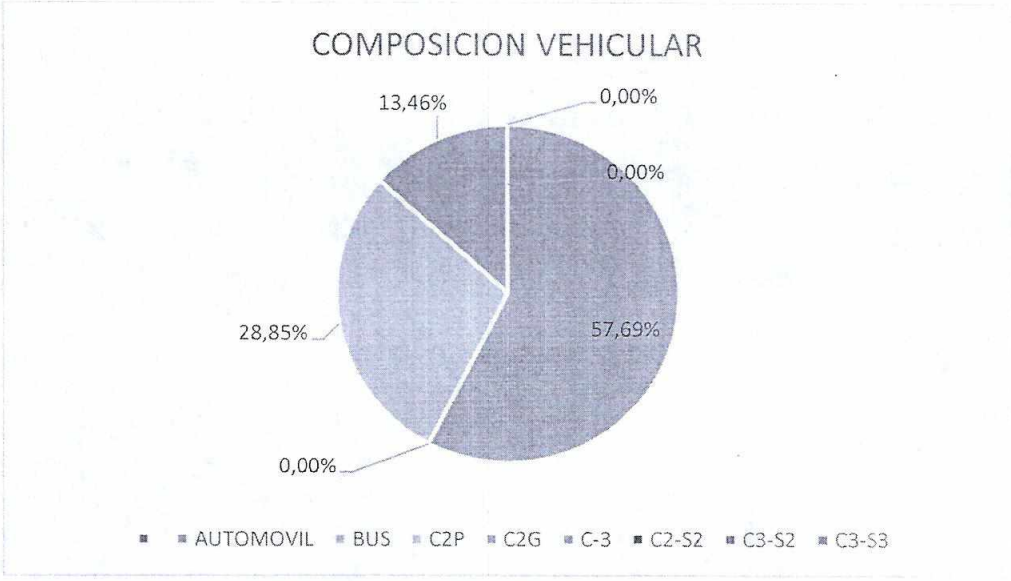
5.2.4.1 *Composición vehicular barrio San José.*

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.

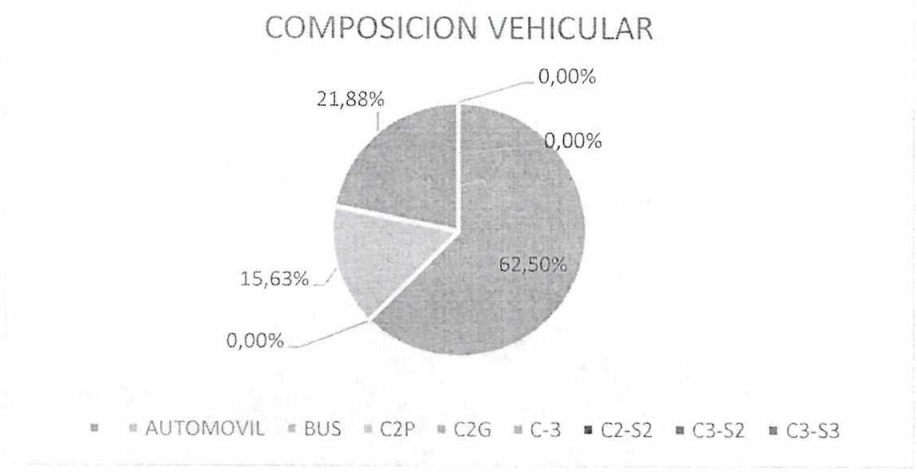


En la vía carrera 16c entre calles 38 y 39, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 57.69%, seguido de vehículos camiones con un 42.31%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

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.

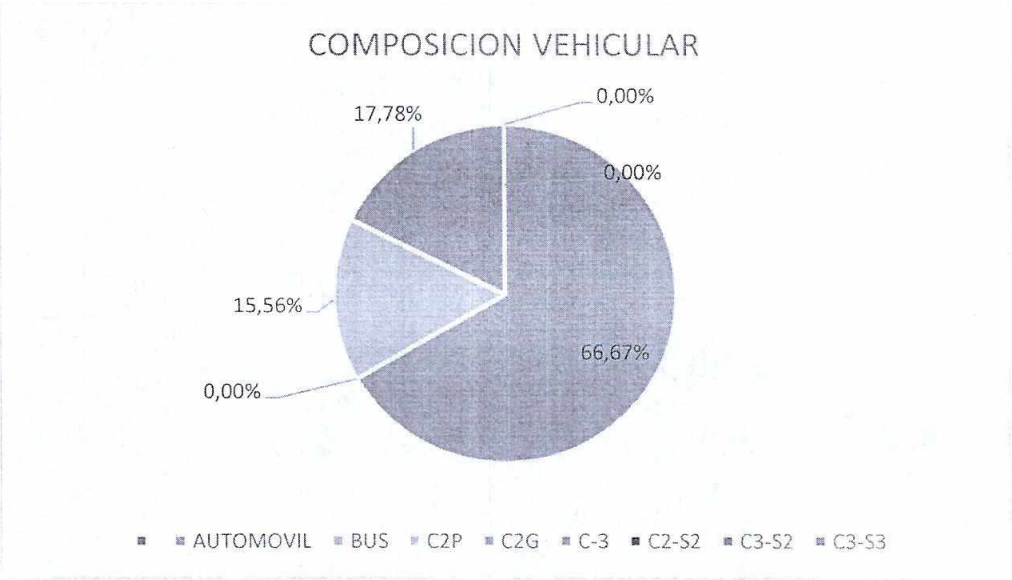


En la vía carrera 18 entre calles 38 y 39, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 62.5%, seguido de vehículos camiones con un 37.5%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

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.

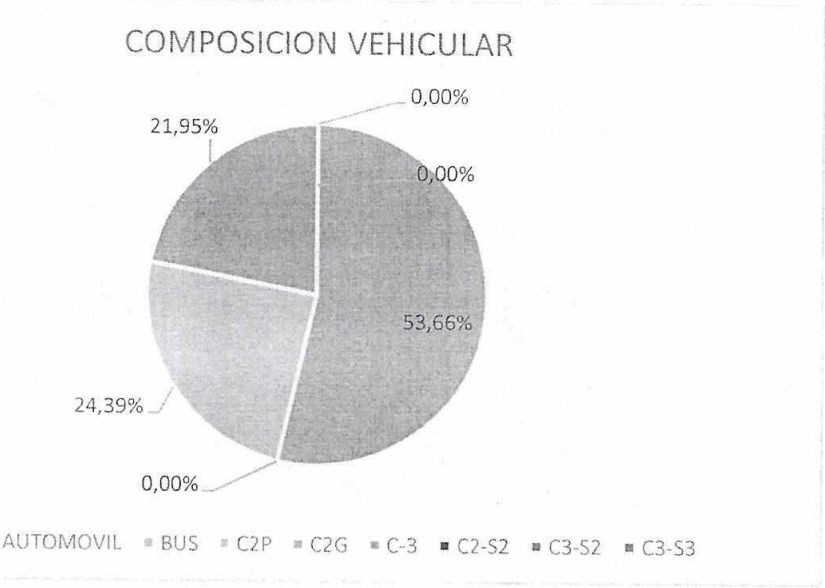


En la vía carrera 20 entre calles 38 y 39, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 66.67%, seguido de vehículos camiones con un 33.33%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

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.

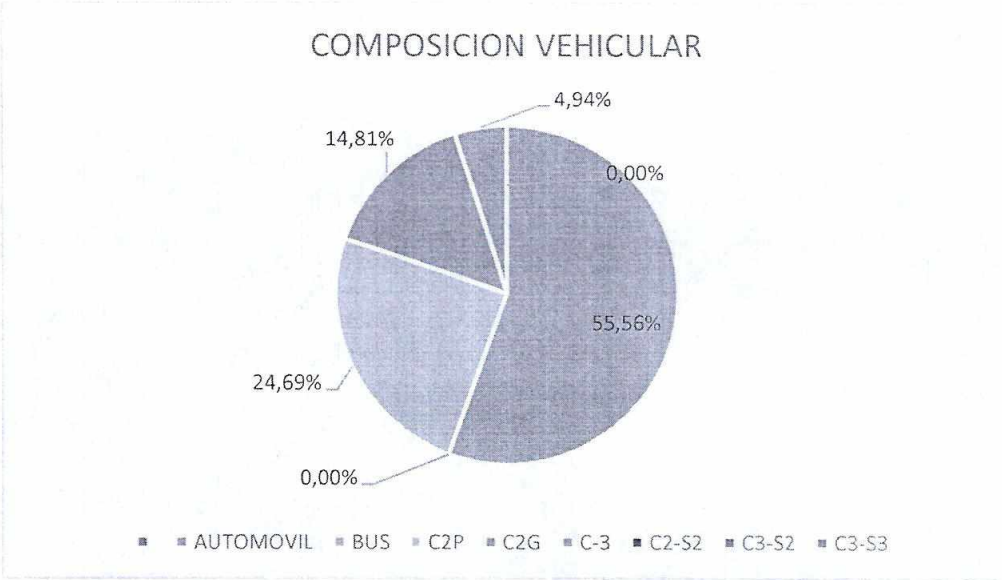


En la vía carrera 22 entre calles 29 y 38, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 53.7%, seguido de vehículos camiones con un 46.34%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses.

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		
AUTOMOVIL	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.



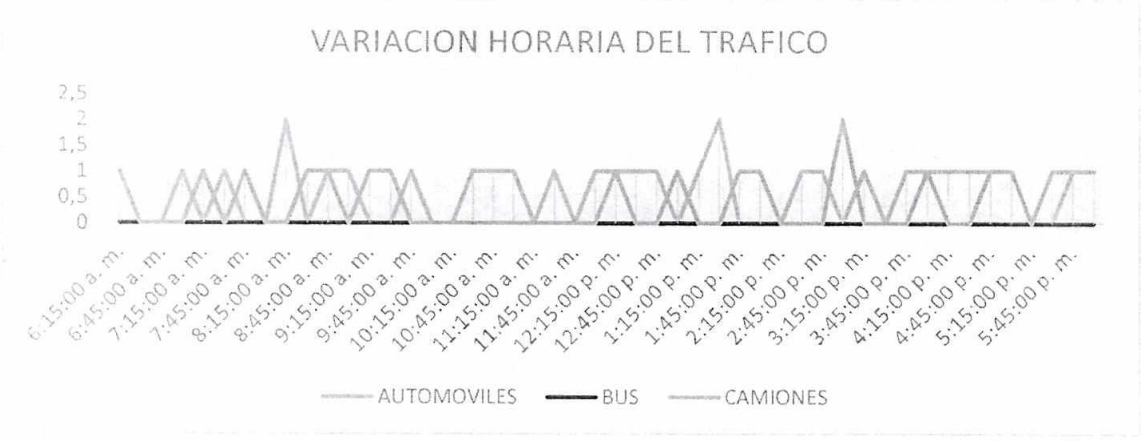
En la vía calle 39 entre carrera 22 y calle 29, donde se hizo el aforo, predomina el flujo de automóviles con un 55.56%, seguido de vehículos camiones con un 44.44%, por otra parte, se tiene que no hay flujo de buses

5.2.4.2 *Variación horaria del volumen de tránsito del barrio San José*

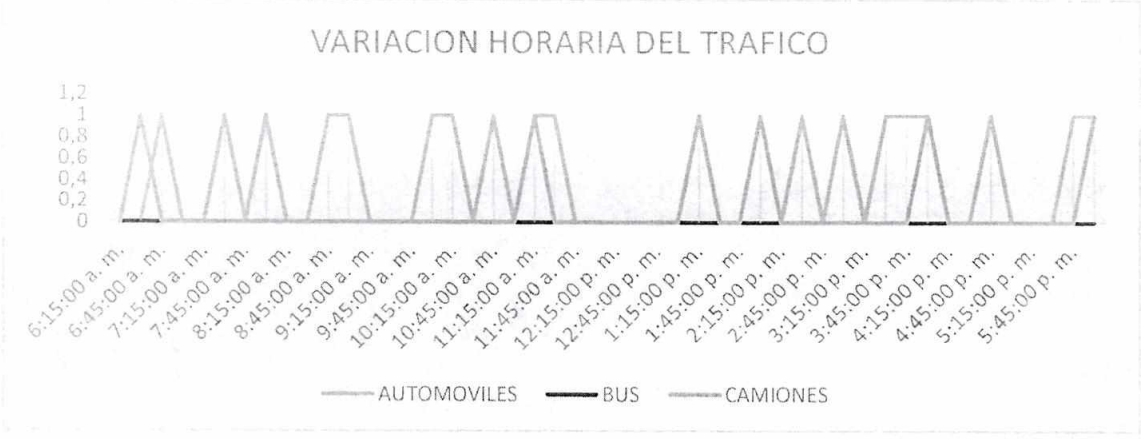
Las variaciones horarias de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta y de las actividades que prevalezcan en ella. En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de columnas de tránsito según sus movimientos direccionales.

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:

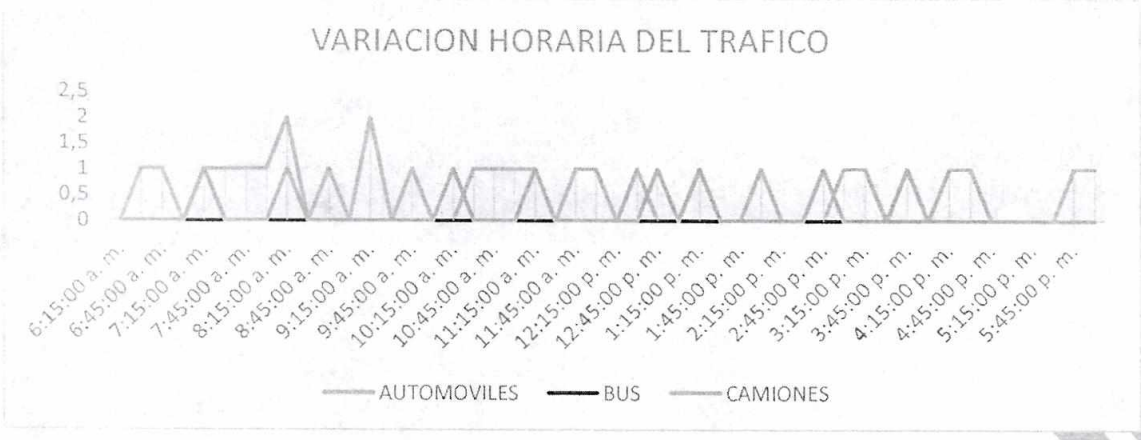
Gráfica 26. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 16c entre calles 38 y 39.



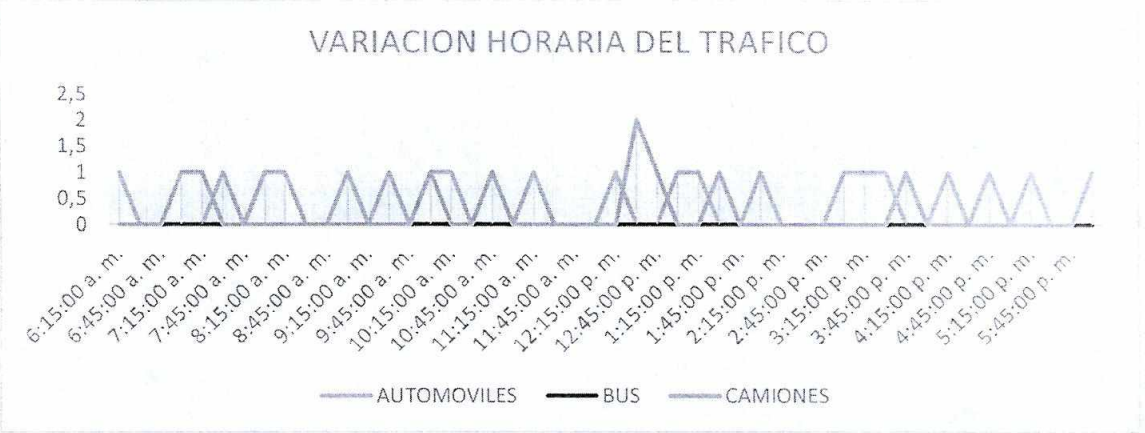
Gráfica 27. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 18 entre calles 38 y 39



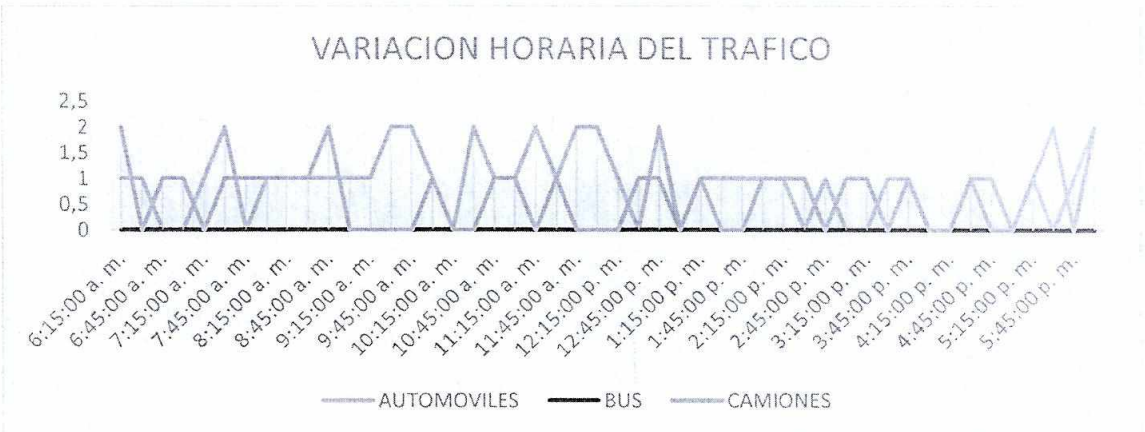
Gráfica 28. Variación horaria del volumen de tránsito de la carrera 20 entre calles 38 y 39



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 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.

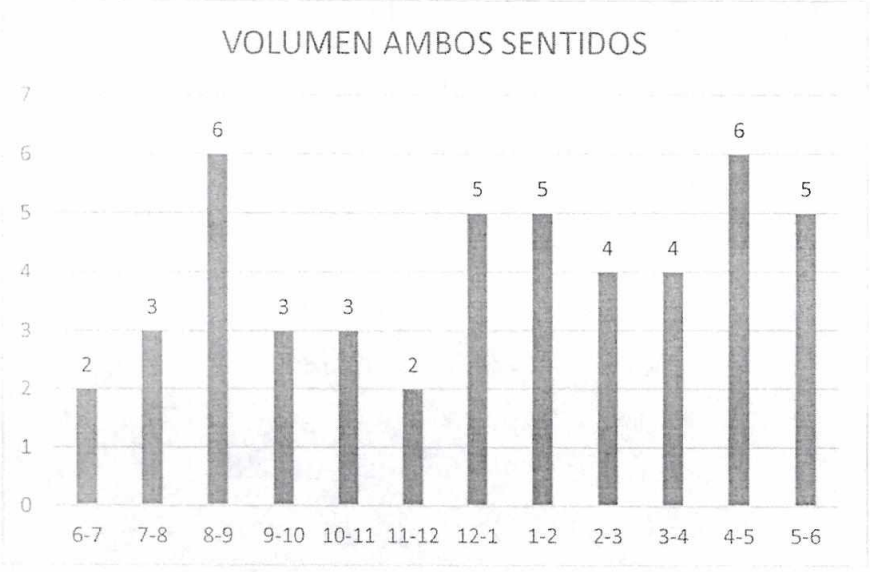
Matemáticamente esto se expresa como:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{máx})} \qquad (6)$$

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 16C entre calles 38 y 39.



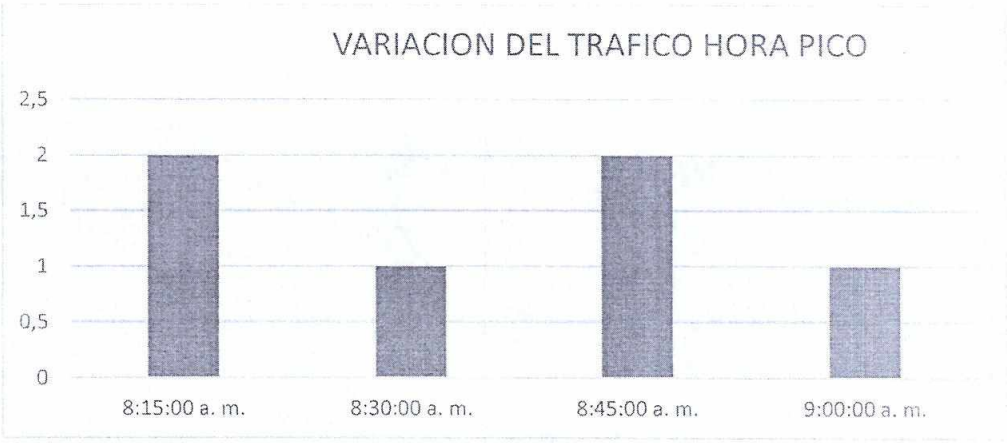
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 08:00 am – 09:00 am y su volumen horario es:

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:

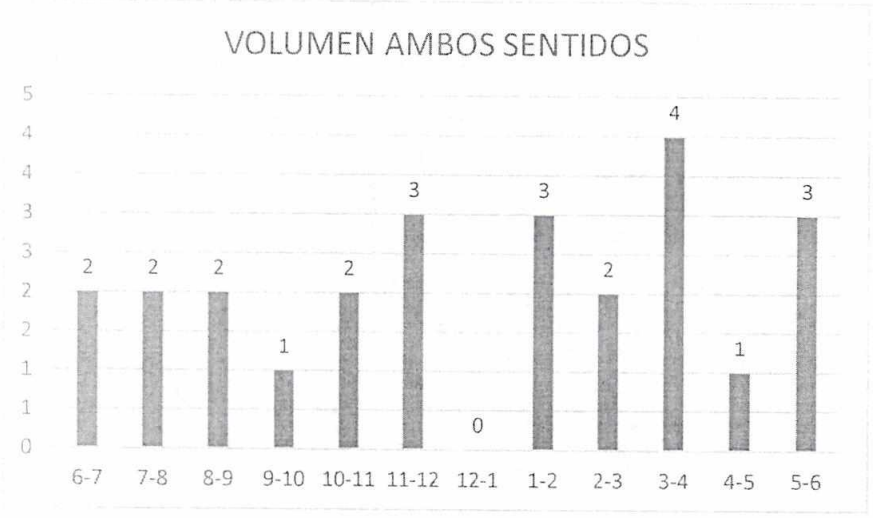
Tabla 43. Volumen horario máximo en carrera 16C entre calles 38 y 39.

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.



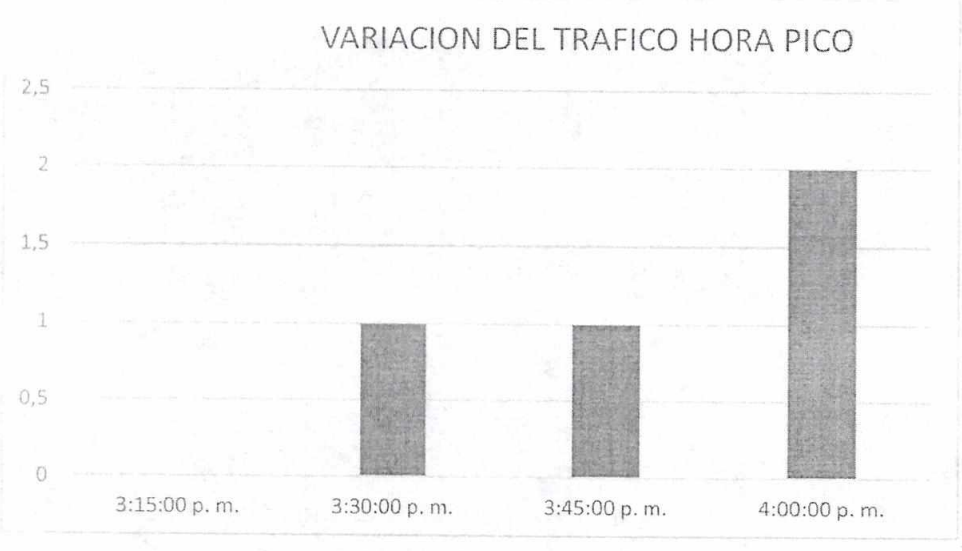
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 03:00 pm – 04:00 pm y su volumen horario es:

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:

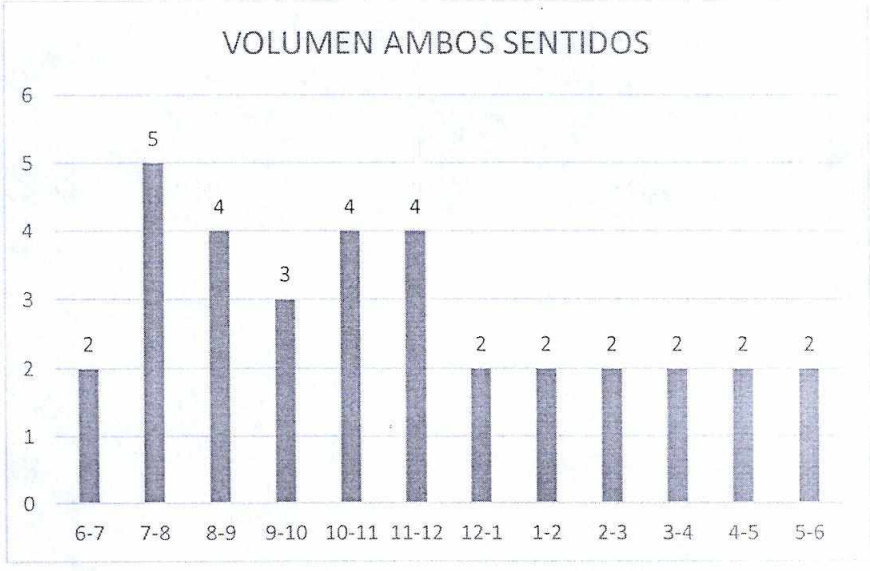
Tabla 45. Volumen horario máximo en la cra. 18 entre calles 38 y 39.

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.



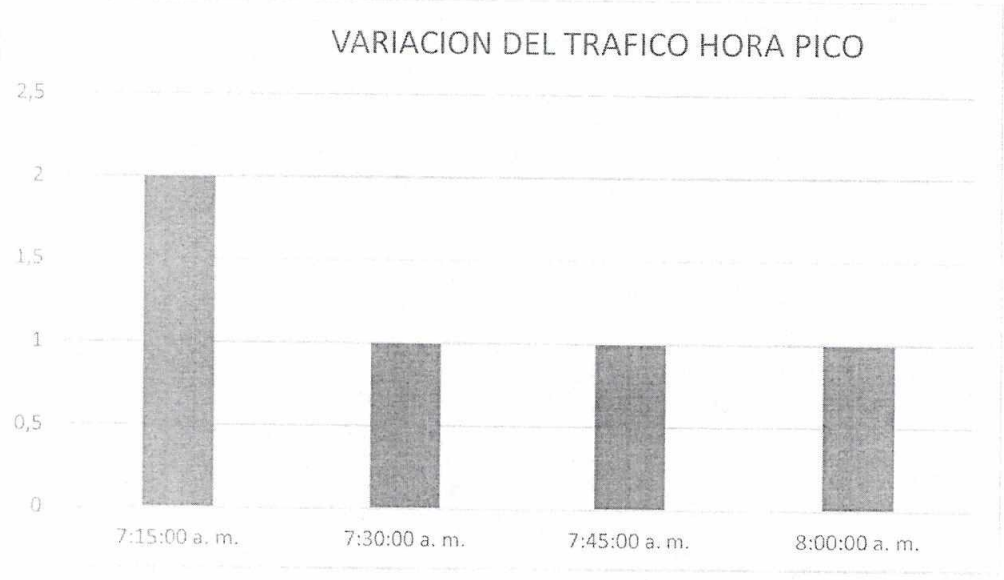
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 07:00 am – 08:00 am y su volumen horario es:

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:

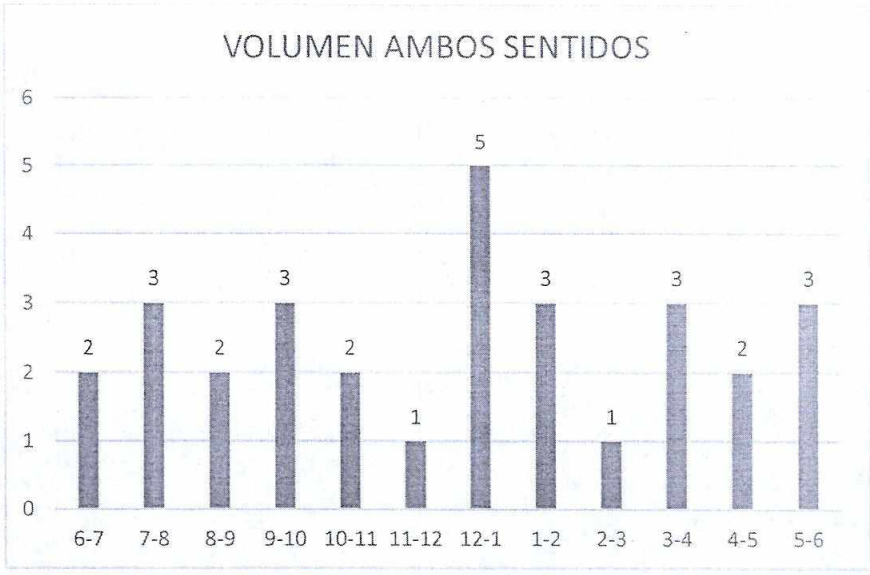
Tabla 47. Volumen horario máximo en la cra. 20 entre calles 38 y 39.

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.



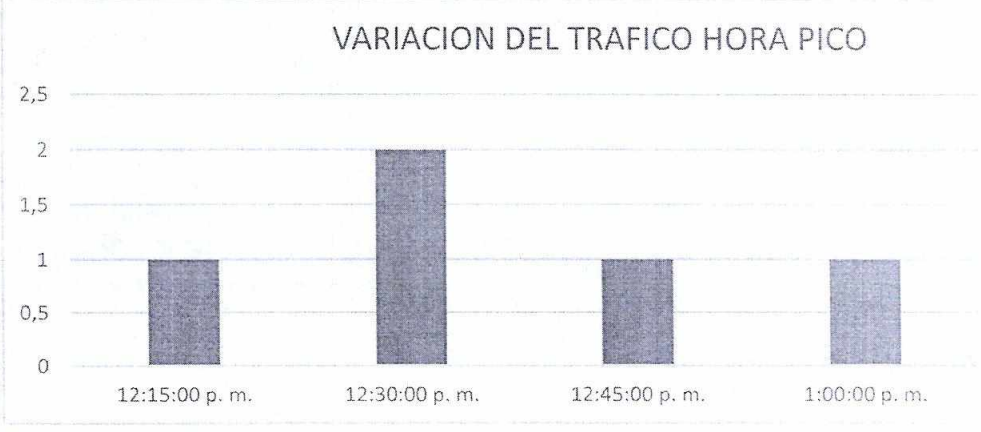
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 12:00 pm – 01:00 pm y su volumen horario es:

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:

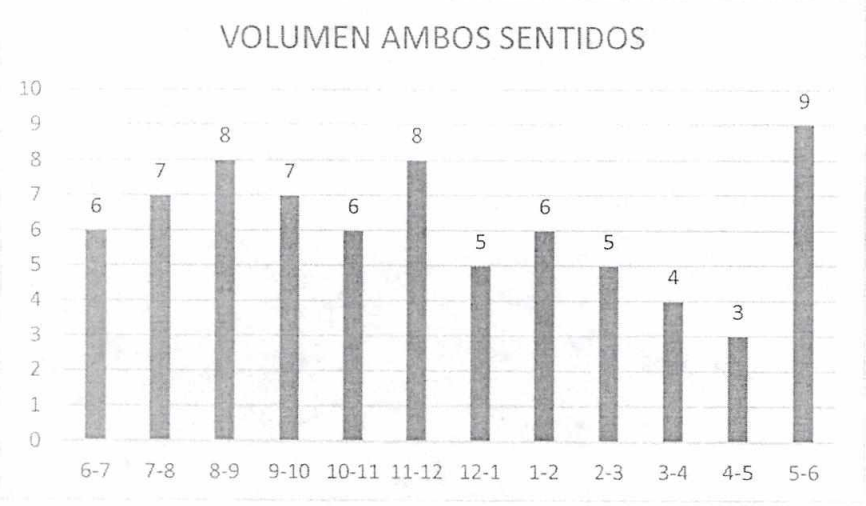
Tabla 49. Volumen horario máximo en la cra. 22 entre calles 29 y 38.

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.



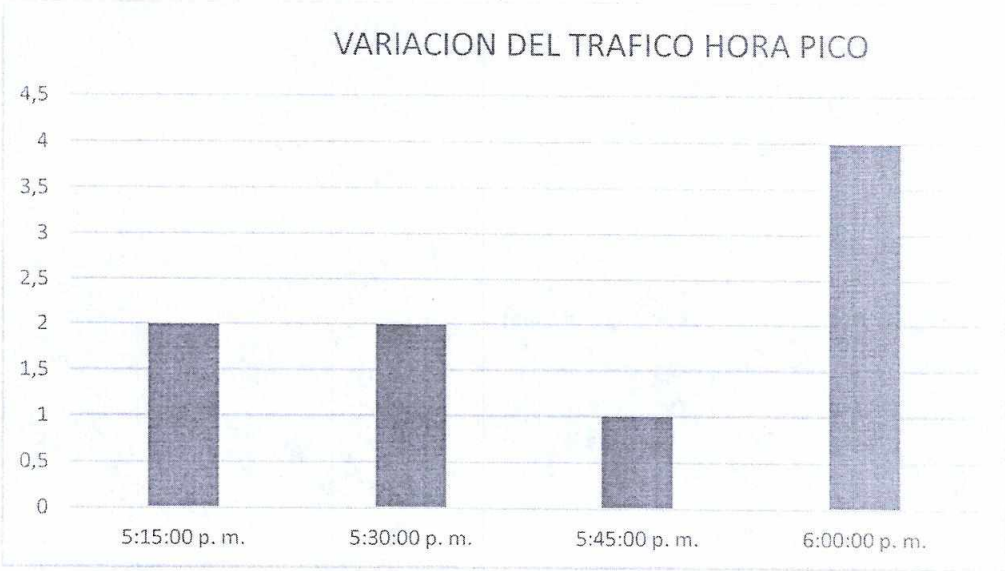
Luego tenemos que la hora de máxima demanda (hora pico) fue de 05:00 pm – 06:00 pm y su volumen horario es:

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: