ESTUDIO DE TRÁNSITO, CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICO
PROYECTO: "CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

PROYECTO:
"CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

DOCUMENTO:
ESTUDIO DE TRÁNSITO, CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

PROFESIONAL RESPONSABLE:
ANDREA CAMILA CABALLERO HERNÁNDEZ
INGENIERA CIVIL
Máster en Construcción, Mantenimiento y Explotación de Carreteras
MP Nº 081037 - 0565804 COR

PRESENTADO A:
MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE

VERSIÓN	FECHA
01	MARZO DE 2025

ESTUDIO DE TRÁNSITO, CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICO

PROYECTO: "CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

CONTENIDO

1. GLOSARIO 5
2. INTRODUCCIÓN 8
3. OBJETIVOS 9
   - **3.1 OBJETIVO GENERAL** 9
   - **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS** 9
4. LOCALIZACIÓN GENERAL 10
5. INFORMACIÓN SECUNDARIA 12
6. ESTUDIOS DE CAMPO 13
   - **7.1 DEFINICIÓN DE AFORO VEHICULAR** 13
   - **7.2 PROCEDIMIENTO DEL AFORO VEHICULAR** 13
   - **7.3 INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL CONTEO** 14
7. MODELOS Y PROYECCIONES 17
   - **7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE TRÁNSITO** 17
   - **7.2 COMPOSICIÓN VEHICULAR** 17
8. TRÁNSITO DE DISEÑO (PAVIMENTOS RÍGIDOS, MÉTODO PORTLAND CEMENT ASSOCIATION PCA-84) 18
   - **8.1 PESO VEHICULAR Y PESO POR EJE** 18
   - **8.2 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL (FDC)** 19
   - **8.3 PERIODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL (PDE)** 20
   - **8.4 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL (FDD)** 20
   - **8.5 FACTOR DE PROYECCIÓN (FP)** 21
   - **8.6 FACTOR DAÑO (FD)** 21
   - **8.7 REPETICIONES ESPERADAS (RE)** 23
   - **8.8 COMPONENTE DE TRÁNSITO ATRAÍDO** 25
   - **8.9 COMPONENTE DE TRÁNSITO GENERADO** 26
9. CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO 28
   - **CAPACIDAD** 28
   - **NIVEL DE SERVICIO Y PARÁMETROS QUE LO DESCRIBEN:** 29
     - **Nivel de Servicio A** 29
     - **Nivel de Servicio B** 29
     - **Nivel de Servicio C** 29
     - **Nivel de Servicio D** 30

Nivel de Servicio E 30
Nivel de Servicio F 30
CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO 30
VARIABLES RELATIVAS A LA VÍA 31
I. ANCHO DE CARRIL Y ANCHO DE BERMA: 31
II. TIPO DE TERRENO: 31
iii. PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE: 31
IV. PUENTES: 31
VARIABLES RELATIVAS AL TRÁNSITO: 31
9.1 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD 33
DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES DE AJUSTE: 33
APLICACIÓN DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN 34
9.2 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO 35
INDICADOR DE EFECTIVIDAD 35
DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES DE AJUSTE. 35
APLICACIÓN DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN 37
9.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO 39
Cálculo de la capacidad 40
Determinación del nivel de servicio 44
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 49
11. ANEXOS 53

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. División política del departamento de Sucre-Ubicación del municipio de Morroa 10
Ilustración 2. Localización satelital de la obra hidráulica 11
Ilustración 3. Estado actual de la vía donde se ejecutará el proyecto 12
Ilustración 4. Registro Fotográfico 12
Ilustración 5. Estación de aforo 14
Ilustración 6. Formato de evaluación de aforos vehiculares 15
Ilustración 7. Resultados obtenidos por día en la estación de aforo 16
Ilustración 8. Diagrama de barras resumen del conteo vehicular por día 17
Ilustración 9. Diagrama de torta de la composición vehicular 17

Ilustración 11. Representación esquemática de los vehículos de transporte de carga más comunes en el país (fuente: resolución 4100 de 2004). Tomado de: Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito; página 43.....18
Ilustración 12. Esquematización de los diferentes tipos de ejes y su carga máxima (fuente: resolución 4100 de 2004). Tomado de: Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito; página 44. 19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Geoposicionamiento del punto de trabajo.....11
Tabla 2. Características de la vía donde se ejecutará el proyecto.....13
Tabla 3. Posicionamiento de la estación de aforo.....15
Tabla 4. Factor de distribución por carril. 20
Tabla 5. Factor de proyección, tasa de crecimiento.....21
Tabla 6. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal (Tabla 2.16).....27
Tabla 7. Categorías de tránsito para la selección de espesores.....28
Tabla 8. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe).....40
Tabla 9. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd)*. 41
Tabla 10. Tipo de terreno según la pendiente promedio.....41
Tabla 11. % de zonas de rebase según el tipo de terreno.....41
Tabla 12. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb)*. 41
Tabla 13. Equivalentes camión Ec.....42
Tabla 14. Factores de pico horario basados en períodos de cinco minutos suponiendo llegadas de vehículos aleatorias (FPH)*. 43
Tabla 15. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (V1). 44
Tabla 16. Factores de corrección al Nivel de Servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu).....45
Tabla 17. Factores de corrección al Nivel de Servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb). 46
Tabla 18. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp).....47
Tabla 19. Factor de corrección al Nivel de Servicio por efecto de la tortuosidad (FT).....47
Tabla 20. Definición de Nivel de Servicio con base en la relación entre VM / Vi * 100.....48

1. GLOSARIO

Para el estudio del tránsito como variable directa del Diseño Estructural del Pavimento, se requiere de la precisión en los conceptos que se relacionan a continuación:

- **Camión:** Vehículo automotor que por su tamaño y designación se usa para transportar carga. Tiene un peso bruto vehicular superior a cinco toneladas y puede jalar un remolque.

- **Camioneta:** Vehículos automotor que por su tamaño y designación se usa para transportar carga. Tiene un peso bruto vehiculara hasta de cinco toneladas.

- **Capacidad:** Es el número máximo de vehículos que puede circular por una u otra durante un periodo máximo de tiempo determinado sin que se presenten demoras ni restricciones en la libertad de movimiento de los vehículos.

- **Carril de diseño:** Carril por el cual se espera la circulación de mayor número de cargas de diseño durante el periodo de diseño.

- **Eje de un vehículo:** sistema que transmite el peso de un vehículo, conformado por un conjunto de llantas que giran alrededor de una línea de rotación.

- **Eje retráctil:** eje cuya línea de rotación puede transmitir parte de la carga del vehículo a la superficie de la vía o aislarse de ella mediante dispositivos hidráulicos, neumáticos o mecánicos.

- **Eje Sencillo:** Es un eje cuyos extremos lleva una o dos ruedas, denominándose ejes simples de rueda simple si cuentan con una llanta en su extremo, normalmente corresponden a los ejes direccionales y solo en el caso de los automóviles y las microbusetas se encuentran ubicados en los ejes traseros, mientras que los que llevan dos llantas en cada extremo se denominaran ejes sencillo rueda doble ubicado en el eje trasero de vehículos tipo buses y camiones tipo C2.

- **Eje Tándem:** eje conformado por dos líneas de rotación, dotado de una suspensión que permite la compensación de cargas. Compuesto por ocho llantas dispuestas en dos ejes con dos neumáticos en cada extremo.

- **Eje Trídem:** eje conformado por tres líneas de rotación, dotado de una suspensión que permite la compensación de cargas. Compuesto por doce llantas dispuestas en tres ejes con dos neumáticos en cada extremo.

- **Mezcla de Tránsito:** El efecto que producen los vehículos sobre un pavimento es muy complejo de evaluar, debido a que el tránsito es muy mezclado: diferentes tipos de vehículos, diferentes configuraciones de ejes, diferente velocidad vehicular y diferentes presiones de contacto neumático-pavimento.

- **Nivel de Servicio:** Es una medida de calidad del flujo de tránsito por la vía. Se cuantifica con una serie de factores tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, la libertad de manejo, la seguridad y los costos de operación.

- **Período de diseño:** Lapso que transcurre desde que un pavimento se da al servicio hasta que alcanza su índice de servicio terminal.

- **Peso bruto vehicular (PBV):** peso de un vehículo en condiciones de marcha más el máximo de carga que puede transportar.

- **Remolque:** Vehículo no motorizado halado por una unidad tractora, la cual no le transmite peso verticalmente.

- **Tracto camión:** Vehículo automotor destinado a jalar un semirremolque, equipado con acople adecuado para tal fin.

- **Transito Atraído:** Es el que utilizará el proyecto, por las ventajas o beneficios que ofrece como ruta alterna, de los usuarios que actualmente hacen uso de otra infraestructura.

- **Transito Generado:** Es el que se origina por el proyecto mismo, debido a mejores condiciones de oferta y que resulta como consecuencia del desarrollo económico y social de la nueva zona de influencia.

- **Transito Inducido:** Corresponde a la suma del tránsito atraído y generado.

- **Transito Normal o Existente:** Es el que se produce en la zona de influencia del proyecto como consecuencia de la evolución previsible de sus parámetros característicos.

- **Transito Promedio Diario:** Volumen de tránsito durante un período de tiempo, dividido por el número de días del período. Abreviadamente se denota como TPD, según el periodo utilizado para medir el volumen de tránsito, el TPD puede ser anual, mensual o semanal, denominándose TPDA, TPDM, y TPDS, respectivamente.

- **Vehículos Comerciales:** Vehículo que cuenta con dos o más tipos de ejes, los cuales tienen más de cinco toneladas de capacidad. Ej: camiones, Buses, Remolques, etc.

- **Vehículos Livianos:** Vehículo de dos ejes simples con sistema de rueda simple (eje delantero y trasero), los cuales tienen menos de cinco toneladas de capacidad. Ej: Automóviles, Camionetas, Camperos, Microbusetas, etc.

- **Volumen de Tránsito**: Número de vehículos que pasan por un punto o sección dados, de un carril o una calzada, en un periodo especifico de tiempo. Este puede ser horario, diario, semanal, mensual o anual.

2. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de mejorar la infraestructura vial y la movilidad de los actores viales en la zona urbana del municipio de Morroa, Sucre, se ejecuta el proyecto **"CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"**, el cual pretende mejorar las condiciones de transporte y movilidad en la zona rural, lo que implica la planeación y ejecución de estudios de la ingeniería de detalle que permitan establecer los diferentes parámetros a tener en cuenta, en este documento se abordará la determinación del tránsito para el posterior diseño de la estructura de pavimento.

A continuación, se presenta el estudio de tránsito para la zona donde se encuentra ubicada la vía, estableciendo los parámetros necesarios para la cuantificación del número y el peso de los ejes de los diferentes vehículos como elementos indispensables para el diseño estructural del Box Culvert y del pavimento, para ello resulta necesario determinar las condiciones de tránsito existente en un flujo bidireccional con transporte de carga y de pasajeros, así como la estimación de los transito atraídos, generados e inducidos por la ejecución misma del proyecto.

Se realizará el levantamiento de información de campo a través del mecanismo de aforo o conteo vehicular con el fin de determinar el Tránsito Promedio Diario (TPD) existente, desarrollado en condiciones de circulación normal no influenciados por la realización de actividades religiosa, culturales o comerciales.

Como parte del proceso de estimación del tránsito se tendrán en cuenta las recomendaciones establecidas en el ***"MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA VÍAS CON BAJOS, MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO"*** y el ***"MANUAL DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES –TERCERA VERSIÓN"***.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis integral de las condiciones de tráfico, capacidad vial y requerimientos de diseño de la obra hidráulica y pavimento en el casco urbano del del municipio de Morroa, Sucre

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el volumen y patrón de tráfico actual en el área de estudio
- Determinar la capacidad de la vía existente y futura, considerando el tráfico actual y proyectado
- Estudiar la distribución modal actual y proyectada, considerando vehículos particulares, transporte público y camiones

4. LOCALIZACIÓN GENERAL

Morroa es un municipio colombiano ubicado al noreste del departamento de Sucre, en la subregión de Montes de María, en la región Caribe de Colombia, al norte de la República de Colombia. Fue elevado a la categoría de municipio por primera vez el 1855, perdió esta categoría en 1928, pero poco tiempo después y por medio de ingentes esfuerzos legales, fue ratificado nuevamente como municipio.

Limitado por las Coordenadas Geográficas, 90°20'121" Latitud Norte y 75°18'31" Latitud Occidental respecto al Meridiano de Greenwich y coordenadas planas X= 1'524.000, Y= 865.000 según restricciones Cartográficas del IGAC. A una altura sobre el nivel del mar de 160 m. Dista de Sincelejo la capital departamental 10 km por vía terrestre. El área municipal es de 170,16 km² ocupando el 1,5% del territorio departamental.

Los límites del municipio son:

NORTE: Municipios de Toluviejo, Coloso y Los Palmitos

ESTE: municipios de Corozal y Los Palmitos

SUR: municipios de Sincelejo y Corozal

OESTE: municipios de Toluviejo y Sincelejo

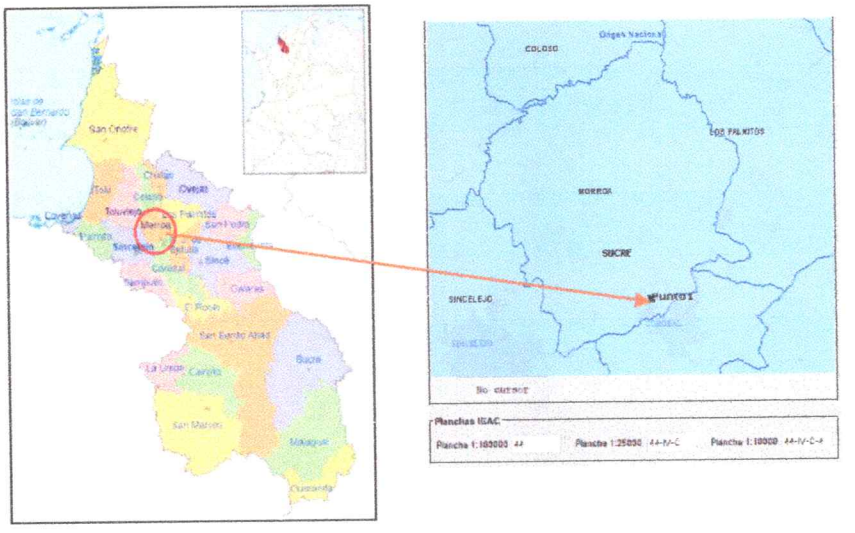


Ilustración 1. *División política del departamento de Sucre-Ubicación del municipio de Morroa*

LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA

El proyecto en mención se encuentra localizado en la zona urbana del municipio Morroa, en el departamento de Sucre. La obra consiste en la construcción de una obra hidráulica sobre el Morroa. Esta obra hidráulica facilitará la conectividad del casco urbano del municipio de la con la zona urbana.

A continuación, se anexan las coordenadas de los puntos críticos en estudio:

Tabla 1. Geoposicionamiento del punto de trabajo

GEOPOSICIONAMIENTO						
"CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"						
Ubicación	Referencia	Alternativa	Coordenadas Gauss Kruger		Coordenadas Elipsoidales	
			Norte	Este	Latitud	Longitud
CALLE 7: ARROYO MORROA	Punto Exacto	BOX	1524034.975	865297.771	9°19'57.3"N	75°18'12.9"W

Ilustración 2. Localización satelital de la obra hidráulica

5. INFORMACIÓN SECUNDARIA

El puente actualmente presenta un evidente estado de deterioro, con barandas dañadas, grietas en la estructura y signos de socavación en su base, representando un riesgo para peatones y vehículos. La falta de señalización y la acumulación de residuos agravan la situación. Es necesario construir una nueva obra hidráulica que garantice la seguridad, mejore la capacidad de drenaje, prevenga futuras socavaciones y optimice la movilidad en la zona. Se recomienda una evaluación técnica urgente y la instalación de señalización preventiva.

Ilustración 3. Estado actual de la vía donde se ejecutará el proyecto

BATEA #1:

Ilustración 4. *Registro Fotográfico*

Tabla 2. Características de la vía donde se ejecutará el proyecto

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Clasificación de la vía	Vía Secundaria
Clasificación de la vía según sus características	Vía de dos direcciones

Fuente: *elaboración propia*

6. ESTUDIOS DE CAMPO

7.1 DEFINICIÓN DE AFORO VEHICULAR

El aforo vehicular es un término utilizado en el campo del tránsito y transporte para referirse a la medición y registro de la cantidad de vehículos que pasan por una ubicación específica de una vía durante un período determinado de tiempo. Esta medición se realiza con el objetivo de comprender el flujo de tráfico en una determinada carretera, calle, intersección u otro punto de observación.

7.2 PROCEDIMIENTO DEL AFORO VEHICULAR

Para cuantificar los volúmenes de tránsito existente, se procede a aplicar los procedimientos establecidos en la Ingeniería de Tránsito para la recolección de información primaria a través de la determinación del Tránsito Promedio Diario en donde se identifiquen claramente el número, tipo y peso de los ejes de los vehículos.

El aforo fue realizado en el Mes de marzo de 2025 en las fechas establecidas en los formatos de levantamiento de información de campo, durante un periodo de (7) siete días durante 12 horas continuas de conteo manual y visual de los vehículos, la labor iniciaba a las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde identificando los tipos vehículos de acuerdo a la clasificación definida por el Ministerio de Transporte.

La mecánica de este método es simple; consiste en que el personal registre y almacene la información del flujo de tránsito en un formulario especial (previamente establecido con la clasificación vehicular correspondiente). Este formulario puede ser en papel (hoja de conteo) o una tableta electrónica que cuente con una aplicación para la captura de datos, para así minimizar errores de procesamiento.

Los volúmenes vehiculares fueron registrados en formatos específicos que relacionan la siguiente información:

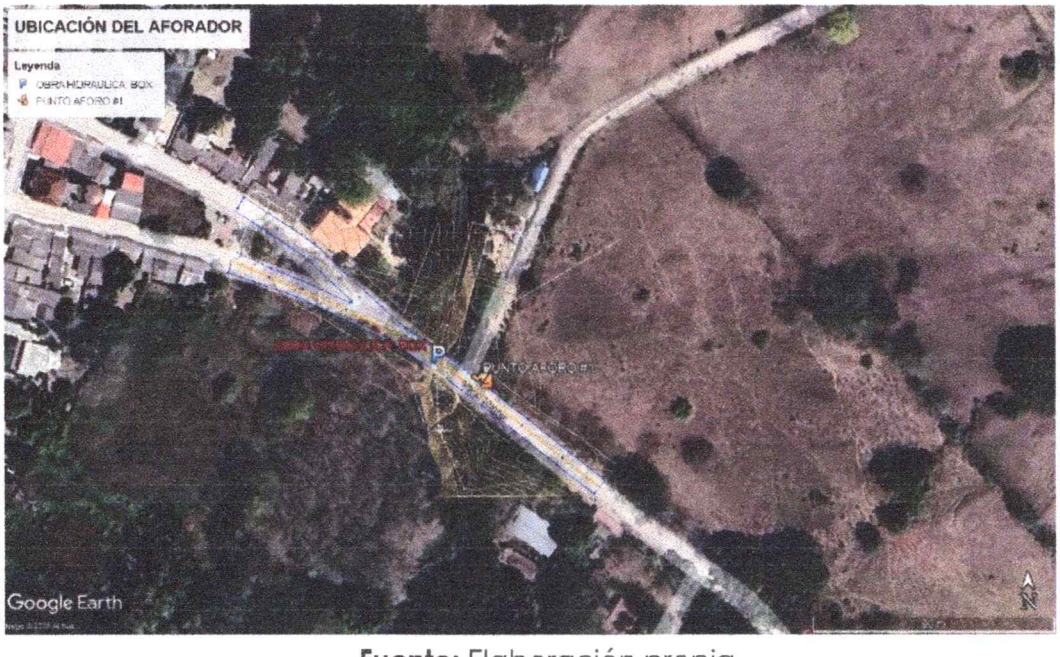
- **Nombre del aforador:** Datos del personal, pues durante la toma de información se pueden presentar inconvenientes.

- **Fecha de la toma de información en campo:** Se indican las fechas en las cuales se registraron los volúmenes vehiculares, de tal manera que se pueda verificar la continuidad en la toma de datos.
- **Ubicación de los puntos de aforo:** A partir de la dinámica de la red, evaluar puntos estratégicos para la toma de información primaria.
- **Periodos de cada 15 minutos:** Teniendo en cuenta la variación del flujo vehicular horario durante el día, se registrarán los volúmenes vehiculares en periodos de cada 15 minutos durante 12 horas continuas.
- **Tipología de vehículos:** La caracterización del tránsito motorizado según su tipología.
- **Intervalos de conteo sugeridos:** 6 AM – 6 PM.

7.3 INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL CONTEO

Para lograr el objetivo y teniendo en cuenta las características de la zona del proyecto, se estableció que para analizar integralmente el comportamiento general del tráfico era necesario la ubicación de 1 estación de aforo para que alcanzara a cobijar toda la magnitud del proyecto, teniendo en cuenta el comportamiento del flujo vehicular en las visitas previas.

Ilustración 5. Estación de aforo



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Posicionamiento de la estación de aforo

POSICIONAMIENTO DEL LAS ESTACIONES DE AFORO		
PUNTO	**LATITUD**	**LONGITUD**
Estación	9°19'56.94"N	75°18'12.37"O

Fuente: elaboración propia

Para el levantamiento de la información de campo se realizó el conteo en períodos de 15 minutos, de tal forma que permita determinar las tendencias de concentración del flujo vehicular y la categorización de vehículos.

Ilustración 6. Formato de evaluación de aforos vehiculares

PROYECTO								
FECHA				ESTACION DE AFORO				
AFORADOR								
ICONO								
HORA INICIO	HORA FIN	MOV.	AUTOMOVILES/ CAMIONETAS	C2-P	C2-G	C3	C5	BUSES
6:00	6:15							
6:15	6:30							
6:30	6:45							
6:45	7:00							
7:00	7:15							
7:15	7:30							
7:30	7:45							
7:45	8:00							
8:00	8:15							
8:15	8:30							
8:30	8:45							
8:45	9:00							
9:00	9:15							
9:15	9:30							
9:30	9:45							
9:45	10:00							
10:00	10:15							
10:15	10:30							
10:30	10:45							
10:45	11:00							
11:00	11:15							
11:15	11:30							
11:30	11:45							
11:45	12:00							
12:00	12:15							
12:15	12:30							
12:30	12:45							
12:45	13:00							
13:00	13:15							
13:15	13:30							
13:30	13:45							
13:45	14:00							
14:00	14:15							
14:15	14:30							
14:30	14:45							
14:45	15:00							
15:00	15:15							
15:15	15:30							
15:30	15:45							
15:45	16:00							
16:00	16:15							
16:15	16:30							
16:30	16:45							
16:45	17:00							
17:00	17:15							
17:15	17:30							
17:30	17:45							
17:45	18:00							
TOTAL								

Ilustración 7. Resultados obtenidos por día en la estación de aforo

"CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"						
ESTACIÓN #1						
DIA	**AUTOS / CAMIONETAS**	**C-2P**	**C-2G**	**C3**	**C5**	**BUSES**
lunes, 3 de marzo de 2025	193	42	19	8	1	10
martes, 4 de marzo de 2025	135	38	17	6	2	8
miércoles, 5 de marzo de 2025	133	33	25	6	0	7
jueves, 6 de marzo de 2025	224	35	34	7	2	11
viernes, 7 de marzo de 2025	176	32	29	6	1	12
sábado, 8 de marzo de 2025	166	28	13	3	0	6
domingo, 9 de marzo de 2025	95	14	7	2	0	3
SUMA	1122	222	144	38	6	57
PROMEDIO INDIVIDUAL	160	32	21	5	1	8
DESVIACIÓN ESTANDAR	43	9	10	3	1	4
PROMEDIO + D.ESTANDAR	203	41	31	8	2	12
TPD	297					
PORCENTAJE	68%	14%	10%	3%	1%	4%
PORCENTAJE DE VEHICULOS	**AUTOS / CAMIONETAS** 68%	**C-2P** 14%	**C-2G** 10%	**C3** 3%	**C5** 1%	**BUSES** 4%

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos se estima que la mayoría de los vehículos que transitan por la vía en estudio son del tipo livianos, sin embargo, existe bastante flujo de camiones grandes y pequeños esto en gran parte se debe a que es una vía que se utiliza para el transporte de ganado y alimentos que van desde la zona rural hasta el casco urbano e incluso debido a la cercanía con la troncal se evidencia flujo de camiones de carga tipo C5.

RESUMEN		
ID	**AFORO**	**TPD**
1	1	297

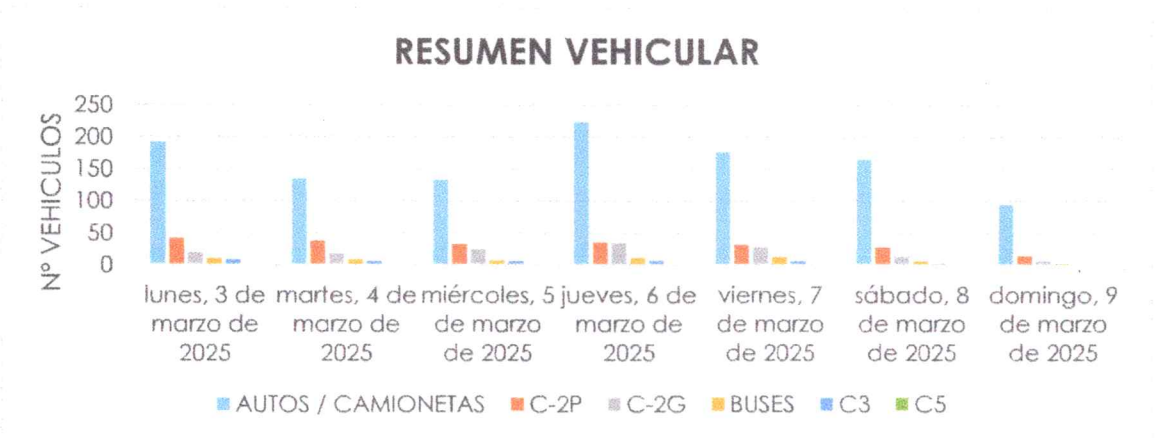
Tabla 4. *Resumen*
Fuente: elaboración propia

7. MODELOS Y PROYECCIONES

7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE TRÁNSITO

Con base al conteo realizado se estima que la mezcla de tránsito existente se encuentra constituido por vehículos de tipo liviano y camiones pequeños.

Ilustración 8. Diagrama de barras resumen del conteo vehicular por día

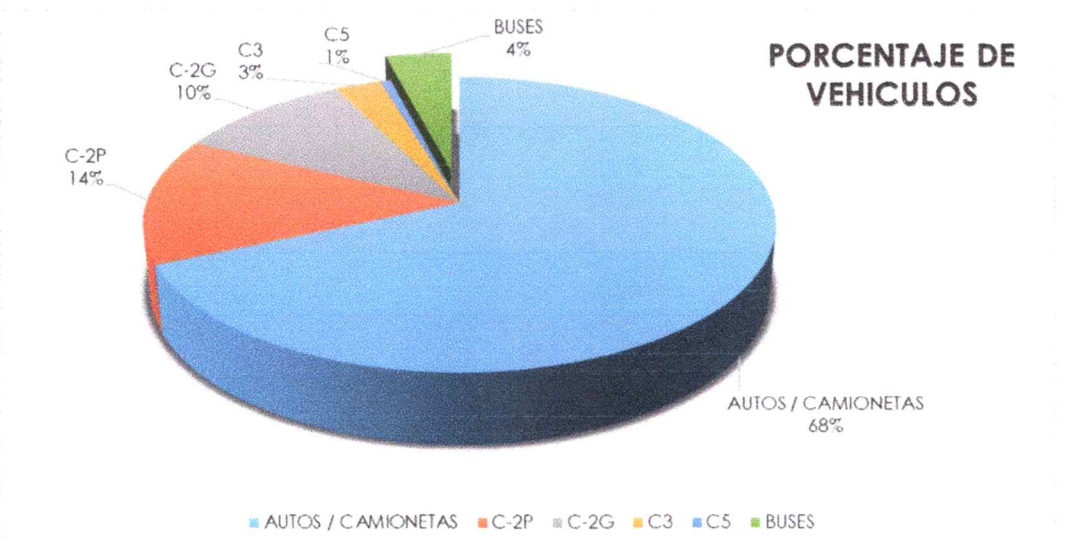


Fuente: elaboración propia

7.2 COMPOSICIÓN VEHICULAR

El proyecto presenta la siguiente composición vehicular resumida en el siguiente diagrama, tal como se observa se cuenta en un 29% con autos/camionetas, 21% C-2P, 29% C-2G y 21% C3.

Ilustración 9. Diagrama de torta de la composición vehicular



Fuente: elaboración propia

Para la evaluación del tránsito lo realizaremos por el método de la PORTLAND CEMENT ASSOCIATION PCA-84.

8. TRÁNSITO DE DISEÑO (PAVIMENTOS RÍGIDOS, MÉTODO PORTLAND CEMENT ASSOCIATION PCA-84)

Con la palabra tránsito se designa la suma de todos los vehículos que pasan por una vía durante un tiempo determinado. Sin embargo, esa definición tan simple encierra algunas implicaciones, la primera tiene que ver con el hecho de tener que predecir para períodos largos, cuantos vehículos pasarán por la vía objeto de la pavimentación, con qué características y especialmente cuanto pesan.

El diseño de los pavimentos se debe hacer sabiendo cuanto van a pesar los ejes que van a pasar por la vía durante su vida útil, esto es imposible de realizar en la práctica. (Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito).

8.1 PESO VEHICULAR Y PESO POR EJE

Los vehículos trasmiten al pavimento las cargas a través de las llantas, las cuales están dispuestas en líneas de rotación llamadas ejes, los cuales se clasifican en ejes simples, tándem o trídem, a su vez cada eje puede ser de llantas sencillas, dobles o mixtas.

Los vehículos, trasmiten las cargas al pavimento a través de las ruedas, que como se dijo, están dispuestas en ejes. El Ministerio del Transporte, a través de la resolución 4100 de 2004 reglamenta el peso que pueden transmitir tanto los vehículos, como los diferentes ejes de carga. En la siguiente imagen se registra la información sobre la carga máxima admisible para los vehículos más comunes en el país de acuerdo con esta resolución; en la siguiente imagen se indica la carga máxima para los ejes más frecuentes.

Ilustración 10. Representación esquemática de los vehículos de transporte de carga más comunes en el país (fuente: resolución 4100 de 2004). Tomado de: Manual de diseño de

pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito; página 43.

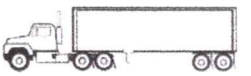
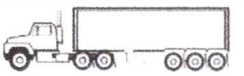
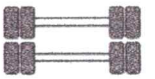
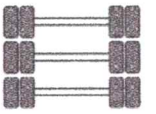
Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletroque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Ilustración 11. Esquematización de los diferentes tipos de ejes y su carga máxima (fuente: resolución 4100 de 2004). Tomado de: Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito; página 44.

Descripción	Configuración	Peso, t
Eje simple direccional		6.0
Eje simple llanta doble		11.0
Eje tándem llanta doble		22.0
Eje tridem llanta doble		24.0

8.2 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL (FDC)

Corresponde a la proporción de vehículos en el carril de diseño para vías con más de un carril con el mismo sentido de circulación. En las carreteras de dos direcciones, la asignación del tránsito para el carril de diseño dependerá del ancho de la vía así:

- Para vías estrechas la totalidad del tránsito
- Para vías de ancho medio el 75%
- Para vías anchas el 50%

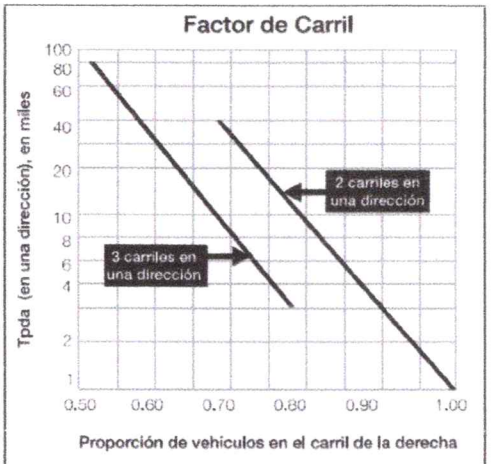


Figura 1.3. Porcentaje de camiones en el carril de diseño

Tabla 4. Factor de distribución por carril.

Tabla 2.5 Factor de distribución por carril según NCHRP

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

Para la vía en cuestión se tomará que FDC=100%

8.3 PERIODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL (PDE)

Lapso durante el cual la estructura deberá funcionar con un "Índice de Serviciabilidad" superior al mínimo sin requerir acciones de conservación adicionales a la conservación rutinaria y periódica.

Para la obra en cuestión se tomará que PDE= 20 años

8.4 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL (FDD)

Corresponde al porcentaje de vehículos comerciales que circulan en la dirección del carril de diseño.

Para la vía en cuestión se tomará que FDD= 50%

8.5 FACTOR DE PROYECCIÓN (FP)

La PCA facilita el uso de la tabla anexa para seleccionar el valor del factor de proyección del tránsito el cual está en función del periodo de diseño y la tasa anual de crecimiento vehicular, en esta última se debe tener en cuenta las variaciones que se puedan presentar como consecuencia del tránsito atraído y generado.

Para la vía en cuestión se toma como FP=1,2

Tabla 5. Factor de proyección, tasa de crecimiento

Tasa de crecimiento anual de transito %	Factores de proyección 20 años
1	1.1
1.5	1.2
2	1.2
2.5	1.3
3	1.3
3.5	1.4
4	1.5
4.5	1.6
5	1.6
5.5	1.7
6	1.8

8.6 FACTOR DAÑO (FD)

Valor por el cual se debe multiplicar el número de repeticiones de carga aplicadas por un eje de peso determinado para cuantificar el número de repeticiones equivalentes del eje de referencia.

En el caso de que no se tengan suficientes, y confiables, datos de representación del tránsito actual y proyectado, se puede recurrir a la Tabla 1-12, en la que se hace una aproximación ponderada de los valores para el exponencial "n", dependiendo del tipo de eje, para un índice de servicio final de 2,5. Este valor es aplicable solo para los pavimentos de concreto.

$$Fe = \left[\frac{Pi}{Pe}\right]^{n}$$

Ecuación 1-1.

Eje	Direccional	Sencillo de llanta doble	Tándem	Trídem
Carga patrón (kN)	60.00	81.81	132.14	184.00
Exponencial	4	4.5	4.2	4.3

Para el cálculo de factores daño se tienen en cuenta las cargas máximas por eje estipulados en la Resolución 4100 de 2004 modificada – Resolución 1782 de 2009 – Ministerio de Transporte, las cargas de los buses, C2P y C2G fueron estimadas, más sin embargo no sobrepasan las máximas permitidas.

BUSES:

Eje Simple Direccional: Peso máximo 6.0 Ton=58.84kn
Eje Simple Llanta Doble: Peso Estimado 9.0 Ton=88.26kn

$$Fe = \left(\frac{58.84}{60}\right)^4 = 0.92$$

$$Fe = \left(\frac{88.26}{81.81}\right)^{4.5} = 1.41$$

$$FD = 0.92 + 1.41 = 2.33$$

C2P:

Eje Simple Direccional: Peso máximo 6.0 Ton=58.84kn
Eje Sencillo De llanta Doble: Peso Estimado 10.0 Ton=98.07kn

$$Fe = \left(\frac{58.84}{60}\right)^4 = 0.92$$

$$Fe = \left(\frac{98.07}{81.81}\right)^{4.5} = 2.26$$

$$FD = 0.92 + 2.26 = 3.18$$

C2G:

Eje Simple Direccional: Peso máximo 6.0 Ton=58.84kn
Eje Sencillo De Llanta Doble: Peso máximo 11.0 Ton=107.87kn

$$Fe = \left(\frac{58.84}{60}\right)^4 = 0.92$$

$$Fe = \left(\frac{107.87}{81.81}\right)^{4.5} = 3.47$$

$$FD = 0.92 + 3.47 = 4.39$$

C3:

Eje Simple Direccional: Peso máximo 6.0 Ton=58.84kn
Eje Tándem Llanta Doble: Peso máximo 22.0 Ton=215.75kn

$$Fe = \left(\frac{58.84}{60}\right)^4 = 0.92$$

$$Fe = (\frac{215.75}{132.14})^{4.2} = 7.83$$
$$FD = 0.92 + 7.83 = 8.75$$

C5:

Eje Simple Direccional: Peso máximo 6.0 Ton=58.84kn
Eje Tándem Llanta Doble: Peso máximo 22.0 Ton=215.75kn
Eje Tándem Llanta Doble: Peso máximo 22.0 Ton=215.75kn

$$Fe = \left(\frac{58.84}{60}\right)^4 = 0.92$$
$$Fe = (\frac{215.75}{132.14})^{4.2} = 7.83$$
$$Fe = (\frac{215.75}{132.14})^{4.2} = 7.83$$
$$FD = 0.92 + 7.83 + 7.83 = 16.58$$

8.7 REPETICIONES ESPERADAS (RE)

Determinar el número de repeticiones esperadas (RE) de cada tipo de eje (por carga por eje), a partir del número de vehículos acumulados del tipo (nv-i) en el periodo de diseño estructural (PDE):

Factor Daño				
Tipo	**Factor Daño Vacío**	**Factor Daño Cargado**	**Cantidad vehículos**	**Transito equivalente**
AUTOS		0	203	0
BUSES		2.33	12	27.96
C2P	0.01	3.18	41	130.38
C2G	0.08	4.39	31	136.09
C3	0.24	8.75	8	70
C5	0.25	16.58	2	33.16
Total			297	398

Determinación de factor camión para camiones			
Tipo	**Porcentaje**	**Factor Daño Cargado**	**Factor Camión para camiones**

C2P	14%	3.18	4.507683
C2G	10%	4.39	
C3	3%	8.75	
C5	1%	16.58	
TOTAL	28%		

Determinación de factor camión para Buses			
Tipo	**Porcentaje**	**Factor Daño Cargado**	**Factor Camión para camiones**
TOTAL	4%		0.094141
BUSES	4%	2.33	

Determinación de factor camión total
3.94

CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO Y TOTAL

TRANSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)	297	TASA DE CRECIMIENTO % (g)	2%
% DE VEHICULOS PESADOS EN EL CARRIL DE DISEÑO (B)	50	FACTOR CAMION	3.94
% DE VEHICULOS COMERCIALES (A)	27.61	PERIODO DE DISENO (Años)	20

VEHICULOS	PORCENTAJE	NUMERO DE VEHICULOS DIARIOS	FACTOR DAÑO	TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO
VEHICULOS	**%**	**297**		
AUTOS	68.4	203	0	0
BUSES	4.0	12	2.33	28
C2P	13.8	41	3.18	130
C2G	10.4	31	4.39	136
C3	2.7	8	8.75	70
C5	0.7	2	16.58	33
TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO				**398**
TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO (N 8.2)				**1448464**

CALCULO DE ESPECTRO DE CARGAS											
TIPO DE VEHICULOS	NUMERO DE VEHICULOS ACUMULADOS	EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE				SIMPLE RUEDA DOBLE		EJES TANDEM			TRIDEM
		0	4	6	7	6	10	20	21	22	25
AUTOS	990028		990028								
BUSES	58524			58524							
C2P	199956			59987		139969					
C2G	151187			45356		105831					
C3	39016			15606				23410			
C5	9754			2926				4877		1951	
TOTAL	1448464	0	990028	163867	0	245800	0	28287	0	1951	0

TRANSITO EQUIVALENTE TOTAL ACUMULADO PARA EL PERIODO DE DISEÑO			
PERIODO	AÑO	EJES EQUIVALENTES DE TRANSITO POR AÑO	EJES EQUIVALENTES DE TRANSITO TOTAL ACUMULADO POR AÑOS
1	2025	59614	59614
2	2026	60806	120420
3	2027	62022	182443
4	2028	63263	245706
5	2029	64528	310234
6	2030	65819	376053
7	2031	67135	443188
8	2032	68478	511665
9	2033	69847	581513
10	2034	71244	652757
11	2035	72669	725426
12	2036	74123	799549
13	2037	75605	875154
14	2038	77117	952271
15	2039	78659	1030930
16	2040	80233	1111163
17	2041	81837	1193000
18	2042	83474	1276474
19	2043	85144	1361618
20	2044	86846	1448464

8.8 COMPONENTE DE TRÁNSITO ATRAÍDO

El análisis de la componente de tránsito atraído es dispendioso y requiere de herramientas más refinadas para su cuantificación. Para iniciar la discusión de este tipo de análisis, se debe estar seguro que el proyecto vial si ocasionará cambios en el comportamiento de los usuarios. Es decir, se deben allegar argumentos o indicios que hagan pensar que usuarios de otras carreteras e incluso de otros modos de

transporte si van a ser uso de la nueva opción. Entre las razones que podrían hacer cambiar al usuario de ruta, se tienen:

- Condiciones de operación más atractivas.
- Recorridos más cortos, y ahorros en tiempos de viaje.
- Disminución en los costos globales de transporte.
- Mejoras en la seguridad de circulación.

Existen varios métodos para estimar el tránsito atraído, entre los cuales se reseñan los siguientes:

A. **Estudio de origen y destino:** Este método consiste en la aplicación de un estudio de origen y destino que permita establecer los flujos entre pares origen-destino, flujos básicos, que en forma potencial podrían utilizar el proyecto en el futuro. Los flujos básicos constituyen la demanda potencial para el proyecto, y con la aplicación de un porcentaje de desvío, se calcula la magnitud de la componente de tránsito desviado.

B. **Estudio de utilización del proyecto por usuarios potenciales:** Este es el método más sencillo y más utilizado. Se lleva a cabo a través de una encuesta a usuarios potenciales, es las que se indaga si harían uso o no del nuevo proyecto. A partir de la respuesta de los usuarios se estimaría un porcentaje del tránsito normal como el correspondiente a la componente de tránsito atraído.

Su cuantificación se podría realizar a través del análisis de las series de tránsito normal, en los términos señalados anteriormente, aplicando el porcentaje respectivo. Al respecto, y al no disponer de información más precisa, se puede aplicar el criterio del Instituto de Ingenieros de Estados Unidos que señala que el tránsito atraído se le asignan porcentajes entre el cinco (5) y el veinticinco por ciento (25%) del tránsito normal, con un período de aparición de uno o dos años después que la carretera ha sido abierta al servicio.

Teniendo en cuenta que se puede tomar un valor entre 5% y 25%, se decide trabajar con un valor intermedio de 10%, esto por un tiempo de 2 años.

NUMERO DE VEHICULOS TOTAL ACUMULADO EN EL AÑO 2: 137411 Veh/año.

$$Transito\ Atraído\ =\ 120420\frac{veh}{año} * 10\% \ =\ 12042\frac{Veh}{año}$$

$$Transito\ Atraído\ =\ 12042\ * 2 =\ 24084\ Vehículos\ durante\ los\ dos\ años.$$

8.9 COMPONENTE DE TRÁNSITO GENERADO

Es el crecimiento que se presenta por el incremento que en la producción agrícola, pecuaria, minera, industrial, comercial o turística que se genera en una zona, en este caso por el mejoramiento de una vía existente.

Es importante realizar un detallado análisis de la producción y la necesidad de transporte que se requiere, así como el incremento que se presenta debido al mejoramiento en la calidad de vida de los habitantes del área de influencia directa.

Para ello se debe acopiar información detallada de usos del suelo actual y potencial y probables rendimientos. Esta información puede ser recopilada en las UMATAS, secretarias de Agricultura y Planes de Desarrollo. En el ejemplo de pronóstico de la componente de tránsito generado que se presenta a continuación se incluye un procedimiento para estimar esta componente.

Cuando el ingeniero no disponga de información más detallada, puede hacer uso de los factores relacionados en la Tabla 2.16, obtenidos del seguimiento a proyectos de pavimentación en vías en el país.

Tabla 6. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal (Tabla 2.16)

Clasificación del área del proyecto	Población beneficiada, hab	Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal
Área con potencial minero alto	Menos de 5000 5000 o más	3.0 6.0
Área con potencial agrícola alto	Menos de 5000 5000 o más	2.5 5.5
Área con potencial turístico alto	Menos de 5000 5000 o más	2.0 3.5
Área de bajo potencial de desarrollo		1.5

Fuente: Elaboración propia con base en información del Instituto Nacional de Vías.

$$\boldsymbol{Transito\ Generado} = N° \frac{veh}{año}\ año\ de\ proyección * \%\ de\ tránsito\ generado$$

Consideramos que no tendrá tránsito generado.

Con base a la determinación del número de repeticiones esperadas, el tránsito atraído y el generado determinamos el tránsito de diseño.

$$\boldsymbol{Tránsito\ de\ diseño} = Rep.Esperadas + Tránsito\ atraído + Tránsito\ generado$$

$$\boldsymbol{Tránsito\ de\ diseño} = 1448464\frac{veh}{año} + 27482\frac{veh}{año} + 0$$

$$\boldsymbol{Tránsito\ de\ diseño} = 1460506\frac{veh}{año}$$

Tabla 7. Categorías de tránsito para la selección de espesores.

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T0	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

De acuerdo a la información de los conteos, y con la proyección de que la vía en estudio será vía de tránsito bajo, se tiene que el tránsito proyectado corresponde a T1; es decir, con un número de ejes equivalentes está entre 1.000.000 y 1.500.00 en el período de diseño del pavimento (corresponde a 1.448.464 ejes equivalentes en el carril de diseño aproximadamente).

9. CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

CAPACIDAD

Se define la Capacidad de una carretera de dos carriles como el máximo número de vehículos que puede circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos durante cierto período de tiempo, en las condiciones imperantes de vía y de tránsito. La Capacidad se expresa en vehículos por hora, aunque puede medirse en períodos menores de una hora. El valor de la Capacidad depende de la duración del período en que se mida.

Este valor de la Capacidad definido para "condiciones imperantes" difiere del volumen máximo que puede circular por la vía en un momento dado. El volumen máximo posible depende de factores tales como la composición vehicular, la velocidad de circulación y las condiciones atmosféricas, que pueden cambiar en cualquier momento. Si el volumen máximo posible disminuye y resulta momentáneamente menor que la demanda del tránsito, ocurrirá congestión, al no poder pasar por un punto de la vía todos los vehículos que llegan a ese punto. En este caso muchos vehículos deberán detenerse, formar una cola y ponerse en movimiento nuevamente, circulando con un volumen menor que el volumen que llegaba antes de la detención, lo que disminuye la velocidad de la corriente vehicular y por ende el volumen máximo posible. Estas circunstancias suelen originar una onda perturbadora de detenciones vehiculares que se propaga corriente arriba hasta que la falta de demanda la disipe. Por consiguiente, es muy peligroso que la demanda de tránsito se aproxime a la Capacidad de una vía. La proximidad a este límite se mide por la relación entre el volumen de demanda y la Capacidad, relación que muchos llaman Factor de utilización de la Capacidad.

Pocas son las carreteras de dos carriles en Colombia donde se alcance la Capacidad. Mucho antes de llegar a ese extremo, la calidad del servicio que

prestan esas vías es tan deficiente que generalmente se buscan y encuentran otras alternativas.

El cálculo de la Capacidad parte de una Capacidad máxima en condiciones ideales, la que disminuye a medida que las condiciones particulares de la vía en estudio se apartan de estas. Las condiciones ideales son aquellas en las que no existen restricciones geométricas, de tránsito ni ambientales.

NIVEL DE SERVICIO Y PARÁMETROS QUE LO DESCRIBEN:

Se define el Nivel de Servicio de un sector de una carretera de dos carriles como la calidad del servicio que ofrece esta vía a sus usuarios, que se refleja en grado de satisfacción o contrariedad que experimentan al usar la vía.

Se establecieron dos medidas de efectividad que reflejan esa calidad de servicio, siendo la principal el porcentaje de reducción la velocidad media de los vehículos que transitan por la carretera, de acuerdo con la velocidad ideal para los tramos en estudio. La velocidad media describe el grado de movilidad.

Se han definido seis niveles para Colombia que van desde el A al F, así:

Nivel de Servicio A

Representa flujo libre en una vía cuyas especificaciones geométricas son adecuadas. Hay libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular es sumamente alta, al no existir prácticamente interferencia con otros vehículos y contar con condiciones de vía que no ofrecen restricción por estar de acuerdo con la topografía de la zona.

Nivel de Servicio B

Comienzan a aparecer restricciones al flujo libre o las especificaciones geométricas reducen algo la velocidad. La libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular se ven disminuidas, al ocurrir ligeras interferencias con otros vehículos o existir condiciones de vía que ofrecen pocas restricciones. Para mantener esta velocidad es preciso adelantar con alguna frecuencia otros vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es bueno.

Nivel de Servicio C

Representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendiente. La libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular se ve afectada al

presentarse interferencias tolerables con otros vehículos, deficiencias de la vía que son en general aceptables. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es adecuado.

Nivel de Servicio D

El flujo todavía es estable y se presentan restricciones de geometría y pendiente. No existe libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular, al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos, o existir condiciones de vía más defectuosas. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es deficiente.

Nivel de Servicio E

Representa la circulación a Capacidad cuando las velocidades son bajas, pero el tránsito fluye sin interrupciones. En estas condiciones es prácticamente imposible adelantar, por lo que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos. La circulación a Capacidad es muy inestable, ya que pequeñas perturbaciones al tránsito causan congestión. Aunque se han tomado estas condiciones para definir el nivel E, este nivel también se puede alcanzar cuando limitaciones de la vía obligan a ir a velocidades similares a la velocidad a Capacidad, en condiciones de inseguridad.

Nivel de Servicio F

Representa la circulación congestionada, cuando el volumen de demanda es superior a la Capacidad de la vía y se rompe la continuidad del flujo. Cuando eso sucede, las velocidades son inferiores a la velocidad a Capacidad y el flujo es muy irregular. Se suelen formar largas colas y las operaciones dentro de estas se caracterizan por constantes paradas y avances cortos. También condiciones sumamente adversas de la vía pueden hacer que se alcancen velocidades e irregularidades en el movimiento de los vehículos semejantes a las descritas anteriormente.

CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

Este se realiza independientemente del estimativo de la Capacidad. Al igual que la Capacidad, el Nivel de Servicio se calcula partiendo de una velocidad en condiciones casi ideales, la que se va reduciendo mediante la aplicación de distintos factores de corrección.

VARIABLES RELATIVAS A LA VÍA

I. ANCHO DE CARRIL Y ANCHO DE BERMA:

Normalmente la obtención de estos datos no presenta problemas, pero se debe mencionar que cuando se habla de ancho de bermas se trata del ancho de la berma a un solo lado de la calzada, pues se supone una vía con bermas iguales a ambos lados. No se ha previsto el caso de una vía con bermas a un solo costado.

En el caso de vías tortuosas es importante cerciorarse que en las curvas se tenga el Sobreancho necesario acorde con el vehículo de diseño. De no ser el caso, se recomienda tomar el valor de ancho de corona en la curva más cerrada, restarle el ancho de bermas y sobreanchos y dividir entre dos para obtener el valor del ancho de carril, pues son frecuentes carreteras de alta montaña con diseños insuficientes en este sentido y donde las mediciones hechas en alineamientos rectos pueden producir errores. El efecto del ancho de carril y del ancho de bermas en la Capacidad es pequeño, pero puede ser importante en el Nivel de Servicio.

II. TIPO DE TERRENO:

Se debe recordar que, aparte de la pendiente longitudinal de la vía, la pendiente transversal o pendiente del terreno también influye en la determinación de este dato, con el fin de no confundir un sector horizontal corto que se encuentre en un ascenso fuerte con un terreno plano. Se recomienda en casos como ese que se utilice el tipo de terreno que esté de acuerdo con la topografía general de la zona y no solamente con la pendiente longitudinal de la vía en el sector estudiado.

III. PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE:

Esta es una variable algo difícil de medir en el campo, y representa las zonas donde no es prudente realizar operaciones de adelantamiento. Una primera aproximación para su estimación es observando la demarcación horizontal de la vía. En la Parte III del manual se proponen valores promedios por tipo de terreno, que pueden ser utilizados en caso de no disponer de información más precisa.

IV. PUENTES:

Los datos geométricos y de superficie de rodadura del tablero de los puentes se utilizan en este manual sin diferenciarlos de los que provienen de la carretera propiamente dicha, aunque es posible que los puentes ejerzan un efecto psicológico más restrictivo sobre los conductores. Si se trata de puentes estrechos que pueden acomodar dos carriles, sus tableros constituyen de por sí sectores críticos que limitan la Capacidad y disminuyen el Nivel de Servicio en proporción a su longitud. Si son puentes de un solo carril no se pueden analizar por este método, para estos casos podría optarse por un estudio de velocidad en las horas de mayor demanda.

VARIABLES RELATIVAS AL TRÁNSITO:

- **Volumen total en ambos sentidos:** en Colombia este dato se puede obtener utilizando los aforos que se realizan por parte del Instituto Nacional de Vías

Invías anualmente en la red nacional o por la Agencia Nacional de Infraestructura en caso de las carreteras concesionadas.

- **Porcentaje de tránsito en ascenso:** la precisión en su determinación puede influir en la exactitud de las conclusiones que se alcanzan al utilizar el manual. En primer lugar, la distribución asimétrica del tránsito es típica de las carreteras congestionadas en las entradas a las ciudades (las famosas "operaciones retorno" son un ejemplo), y se debe tener en cuenta que este parámetro influye sobre la capacidad de la vía tanto o más que la pendiente. Por lo tanto, su determinación correcta es la de mayor importancia.

En segundo lugar, es posible que, al analizar una carretera, los peores niveles de servicio no correspondan a la situación de la hora pico. Suele suceder que la operación en los días laborables esté caracterizada por la presencia de vehículos pesados en grandes cantidades (es típica la cifra de 50 % de camiones) con distribuciones por sentido cercanas al 50 %, y su influencia sobre la velocidad puede ser mayor que la de los volúmenes de fin de semana con gran desequilibrio por sentidos (del orden del 80 %) pero compuestos principalmente por automóviles. Es por lo tanto conveniente en este tipo de vías analizar ambas situaciones:

1. Cuando el volumen de tránsito es máximo
2. Cuando el número de camiones es máximo

- **Porcentaje de vehículos pesados.** Esta información se debe obtener tanto para la hora pico como para toda la semana, al igual que en el caso anterior, en aquellas vías que presenten grandes fluctuaciones de este valor, especialmente en las carreteras en las que existen restricciones al paso de vehículos pesados los fines de semana.

9.1 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD

DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES DE AJUSTE:

Con base en observaciones de campo, se considera que la Capacidad de una carretera de dos carriles en Colombia, en condiciones ideales, Ci, es de 3200 automóviles por hora en ambos sentidos.

Los requisitos que definen las condiciones ideales son los siguientes:

- Repartición del tránsito por igual en ambos sentidos.
- Terreno plano y rasante horizontal.
- Carriles de no menos de 3.65 metros de ancho.
- Bermas de no menos de 1.80 metros de ancho, con superficie de rodadura de calidad inferior a la de la calzada y distinta inclinación.
- Superficie de rodadura en condiciones óptimas.
- Alineamiento recto.
- Ausencia de vehículos pesados.
- Visibilidad adecuada para adelantar.
- Señalización horizontal y vertical óptima.

En el método propuesto, la capacidad para condiciones ideales, C se multiplica por varios factores de corrección, i, que reflejan el grado en que no se cumplen los requisitos que definen esas condiciones. Los factores transforman esa capacidad ideal en capacidad para las condiciones estudiadas.

Las características de vía y tránsito que tienen en cuenta esos factores de corrección son las siguientes:

- **Pendientes:** las pendientes reducen la velocidad de los vehículos con respecto a la velocidad que pueden desarrollar en rasante horizontal. La reducción se traduce en un aumento en los intervalos entre vehículos que están en un pelotón y, por ende, en una disminución de la Capacidad. Su efecto se considera en el factor de corrección (Fpe).
- **Distribución del tránsito por sentidos:** una carretera de dos carriles puede saturarse cuando tenga un carril saturado, aunque el volumen de tránsito sea muy bajo en el otro carril. Además, se debe considerar las verdaderas oportunidades de adelantamiento que ofrece los tramos en análisis, medido por el porcentaje de zonas de no rebase. El efecto de estas dos variables se considera con el factor de corrección (Fd).
- **Anchos de carril y berma utilizable:** los carriles y bermas estrechos, más la ausencia o malas condiciones de estas restan confianza a los conductores, lo que se traduce en una disminución de la velocidad, un aumento en los intervalos entre vehículos, y la consiguiente reducción de la capacidad de la vía. El factor que cuantifica este efecto es el Fcb.
- **Presencia de vehículos pesados:** la Capacidad se puede definir como el número máximo de intervalos entre vehículos que pasan por un punto de una vía en una hora. Los vehículos pesados reducen ese número de intervalos:

- ✓ Porque su paso demora más debido a su mayor longitud y a la menor velocidad que desarrollan.
- ✓ Porque retardan el paso de vehículos más rápidos que los siguen al obligarlos a reducir su velocidad.
- ✓ Porque el aumento del paso de un vehículo produce un incremento del intervalo.
- ✓ El efecto de la reducción en Capacidad que causan los vehículos pesados está dado por el factor (Fp).

APLICACIÓN DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN

Para el cálculo de la Capacidad los factores de corrección se aplican en forma simultánea. Por tanto, la capacidad en vehículos mixtos por hora (C_{60}) para esas condiciones, suponiendo que no hay variaciones aleatorias del volumen durante esa hora.

Capacidad en vehículos

$$C60 = 3200 * Fpe * Fd * Fcb * Fp$$

Variaciones aleatorias del volumen de tránsito: cuando el volumen horario que circula por un sector uniforme de una vía se acerca a su Capacidad sin alcanzarla; debido a que existen siempre variaciones aleatorias en la demanda de tránsito, puede suceder que en ciertos momentos la demanda exceda la Capacidad y se produzca congestión. Las consecuencias adversas de estas congestiones momentáneas suelen prolongarse mucho más allá de los momentos donde hay déficit de Capacidad y por ese motivo se trata de evitarlas hasta donde sea posible.

Para tener en cuenta esas variaciones aleatorias del volumen de demanda, en los análisis de Capacidad se puede:

Utilizar el volumen de demanda horario que corresponda al máximo volumen que ocurra normalmente en una fracción de la hora o, reducir la Capacidad para tener en cuenta ese pico dentro de la hora.

En este método se ha optado por la segunda alternativa. La fracción de hora elegida es de cinco minutos y para reducir la Capacidad se procede a multiplicar la Capacidad horaria por un factor menor que la unidad, que la disminuye en una magnitud igual al aumento aleatorio normal del volumen durante el período de cinco minutos de mayor demanda. Este factor es el factor de pico horario (FPH), que se debe estimar tomando el valor correspondiente de la ***Tabla. Factores de pico horario basados en períodos de cinco minutos suponiendo llegadas de vehículos aleatorias (FPH)*.***

Multiplicando la capacidad C_{60} por (FPH) se calcula la capacidad C_5 en vehículos mixtos (livianos y pesados) por hora, para las condiciones estudiadas, compensando las variaciones aleatorias normales que ocurren durante períodos de cinco minutos.

Capacidad en vehículos

$$C5 = C60 * FPH$$

9.2 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

INDICADOR DE EFECTIVIDAD

El indicador de efectividad principal que se ha escogido para determinar el Nivel de Servicio es la velocidad media de recorrido de los vehículos que integran la corriente vehicular, que comprende vehículos ligeros y pesados. Otro indicador que se debe observar es el grado de saturación o utilización de la Capacidad, que se halla dividiendo el volumen horario de demanda entre la capacidad C_5, a fin de conocer si la vía está próxima a saturarse o si ya está saturada. No se incluye en el método el porcentaje de tiempo demorado, pues no se ha establecido su relación con otros parámetros conocidos, pero este indicador puede ser útil para determinar la interferencia del tránsito independientemente de la influencia de las condiciones de la vía. Si hay interés en conocerlo, habría que medirlo directamente en vías existentes.

DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES DE AJUSTE.

La manera de calcular el Nivel de Servicio es similar a la empleada para estimar la Capacidad: se parte de una velocidad para condiciones casi ideales que se va multiplicando por distintos factores de corrección menores que la unidad, hasta convertirla en la velocidad representativa de las condiciones que se estudian. La velocidad ideal, según mediciones de campo, es de 90 kilómetros por hora. Las características de vía y tránsito que se tienen en cuenta en el cálculo de la velocidad media para las condiciones que se estudian son las siguientes:

- **Pendientes:** las pendientes ejercen un efecto directo en el Nivel de Servicio al influir en la velocidad de los vehículos. Las pendientes ascendentes reducen la velocidad y las descendentes pueden aumentarla o disminuirla, pero generalmente las ascendentes son las críticas y así se consideran en este método. A fin de evitar un paso, la Tabla 6 da directamente la velocidad a flujo libre de los automóviles para pendientes de distintas longitudes e inclinaciones. Es la

velocidad media que se ha observado en Colombia cuando los automóviles transitan sin interferencia en vías con características ideales, excepto que su rasante no es siempre horizontal. Puede considerarse que esta velocidad V1 se desarrolla en condiciones casi ideales y su determinación es el punto de partida para el cálculo del Nivel de Servicio.

- **Utilización de la Capacidad:** cualesquiera que sean las características de la vía que influyen en la velocidad media de una corriente vehicular, la variedad que existe entre las velocidades a que quieren ir los distintos conductores de vehículos causa interacciones entre ellos. Los conductores más lentos retardan a los más rápidos, mientras que los rápidos no obligan a acelerar a los lentos y, por lo tanto, el efecto de las interacciones es reducir la velocidad media de la corriente vehicular.

Cuando los conductores rápidos pueden adelantar a los lentos, el efecto de las interacciones no es tan grande, pero a medida que la vía se va saturando, los sobrepasos van siendo más difíciles y la velocidad media va disminuyendo. Además, parece que conforme aumenta la densidad los conductores van perdiendo confianza y reducen su velocidad. Lo cierto es que la utilización de la capacidad, medida por la relación Volumen-Capacidad, ejerce un efecto innegable sobre la velocidad de los vehículos. Este efecto está representado por el factor fu de la ***Tabla. Factores de corrección al Nivel de Servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu).*** Como se trata de un factor de corrección al Nivel de Servicio medio que se brinda durante una hora, la relación Volumen-Capacidad se calcula dividiendo el volumen de demanda entre la capacidad C_{60} sin multiplicarla por el factor de pico horario (FPH). Esta relación es menor que la relación volumen/C_5 que se utiliza para observar la probabilidad de ser superada la capacidad durante un pico de cinco minutos.

- **Anchos de carril y berma:** los efectos de las deficiencias en los anchos de carril y berma se hacen sentir más en la velocidad que en la Capacidad. Por esta razón los factores de corrección fcb de la ***Tabla. Factores de corrección al Nivel de Servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb)***, que tienen en cuenta ese efecto, son menores que los correspondientes Fcb de la ***Tabla. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd)****.

Presencia de vehículos pesados: estos vehículos desarrollan menores velocidades que los vehículos ligeros y su presencia los retarda. La magnitud de este retardo depende de:

- ✓ La velocidad de los automóviles a flujo restringido, pues mientras más rápidamente vayan, mayor será su retardo.
- ✓ La inclinación y longitud de la pendiente del sector que se estudia, ya que ambos factores determinan la velocidad de los vehículos pesados.
- ✓ El porcentaje de vehículos pesados, porque según aumenta este porcentaje se eleva la probabilidad de que causen interferencia al resto de los vehículos.
- ✓ El volumen de tránsito en ambos sentidos, que al aumentar disminuye las oportunidades de sobrepaso e incrementa la longitud de los pelotones detrás de los camiones.

El efecto de los vehículos pesados en el tránsito se tiene en cuenta determinando un factor fp.

- **Tortuosidad:** para tener en cuenta la curvatura hay que comparar la velocidad en tangente, con la máxima velocidad media en el sector que se estudia para esto se determina la tortuosidad del sector analizado.

Determinación del Nivel de Servicio: una vez conocido el valor de la velocidad media V, se determina el Nivel de Servicio de la ***Tabla. Definición de Nivel de Servicio con base en la relación entre VM / Vi * 100***. Esta tabla ofrece una escala de acuerdo con la pérdida de velocidad como un porcentaje de la velocidad máxima (90 kph) separada para cada tipo de terreno y para el Nivel de Servicio, tiene en cuenta que las exigencias de los conductores disminuyen a medida que la topografía se va haciendo más abrupta. La tabla refleja con facilidad pequeños cambios en el diseño detallado de un sector. Mediante la mejora de algunas características de la vía (ancho de carril, berma, radio de curvatura, etc.) se puede modificar el Nivel de Servicio.

APLICACIÓN DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN

Los factores de corrección para el cálculo del Nivel de Servicio se aplican en forma consecutiva. El procedimiento es el siguiente:

Paso 1. Tomar la velocidad ideal de automóviles a flujo libre, (V1), de la ***Tabla. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (V1),*** conociendo la inclinación de la pendiente ascendente en estudio y su longitud. Se

obtiene la velocidad media de automóviles, en condiciones ideales (excepto por pendiente).

Paso 2. Tomar el factor de corrección por el efecto de la utilización de la capacidad (fu) de la ***Tabla. Factores de corrección al Nivel de Servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu)***, conociendo la relación Volumen-Capacidad. Ambas variables son las correspondientes a sesenta minutos. Ese volumen se designa con el símbolo Q.

Factor de utilización

$$(v/c) = Q / C60$$

Paso 3. Tomar el factor de corrección por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb) de la ***Tabla. Factores de corrección al Nivel de Servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb)***, conociendo el ancho utilizable de la berma y el ancho del carril.

Paso 4. Se procede a calcular la

$$V2 = V1 \; x \; fu \; x \; fcv$$

Paso 5. Determinar el factor de corrección por presencia de vehículos pesados (Fp) de la ***Tabla. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp)***, conociendo la inclinación y longitud de la pendiente en estudio se determina el factor de equivalencia camiones Ec (sin considerar los buses como vehículo pesado) y se calcula el factor de ajuste aplicando la fórmula:

$$fp = 1/1 + \%C(Ec - 1)$$

Paso 6. Determinar el factor de ajuste por tortuosidad de los tramos en estudio de acuerdo con la ***Tabla. Factor de corrección al Nivel de Servicio por efecto de la tortuosidad (FT),*** es necesario previamente haber determinado la tortuosidad de los tramos en estudio.

Paso 7. Se determina la velocidad media (VM) de acuerdo con la siguiente formula.

$$VM = V2\ x\ fp\ x\ ft$$

Paso 8. Se calcula el porcentaje que se ha perdido con respecto a la velocidad ideal.

Vi_____ 100 %

V_M_____ X

Con este valor X determinamos el N de S en la Tabla. Definición de Nivel de Servicio con base en la relación entre VM / Vi * 100.

La velocidad ideal (Vi) corresponde a 90 km.

9.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

DATOS

Se realizará el análisis para el tramo de referencia que tiene una longitud de 273 metros y cuenta con un pendiente promedio estimada de 2.45%.

Cálculo de la capacidad

Se calcula la Capacidad del sector en vehículos mixtos máximo, que puede circular durante la hora pico, en ambos sentidos sin causar congestión suponiendo que no hay variaciones aleatorias, C60:

$$C60 = Ci \times Fd \times Fcb \times Fp$$

Tabla 8. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe).

	Longitud de la pendiente (km)											
Pendiente	**0.5**	**1**	**1.5**	**2**	**2.5**	**3**	**3.5**	**4**	**4.5**	**5**	**5.5**	**6**
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
3	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
4	0.98	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
5	0.98	0.95	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91
6	0.97	0.95	0.92	0.91	0.91	0.9	0.9	0.9	0.89	0.89	0.89	0.89
7	0.96	0.93	0.91	0.89	0.89	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
8	0.96	0.92	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
9	0.94	0.89	0.85	0.83	0.82	0.81	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
10	0.92	0.85	0.81	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74
11	0.9	0.81	0.76	0.73	0.72	0.71	0.7	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68
12	0.87	0.76	0.71	0.68	0.67	0.64	0.64	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61

Fuente: elaboración propia.

- Para una longitud de 42 metros y con pendiente promedio de 1.16% (ascendente) se tiene que Fpe = 0.99.

Tabla 9. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd)*.

Distribución por sentidos (% en ascenso)	% de zonas de no rebase					
	0	20	40	60	80	100
50	1	1	1	1	1	1
60	0.9	0.89	0.87	0.86	0.85	0.83
70	0.82	0.8	0.78	0.76	0.74	0.71
80	0.75	0.72	0.7	0.67	0.65	0.63
90	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56
100	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.5

Tabla 10. Tipo de terreno según la pendiente promedio

Pendiente	Tipo de terreno
< 3%	Plano
3% y 6%	ondulado
6% y 8%	Montañoso
> 8%	Escarpado

Tabla 11. % de zonas de rebase según el tipo de terreno

ZONAS DE REBASE	
Tipo de terreno	**Porcentaje de zonas de no rebase %**
Plano	0-20
Ondulado	20-40
Montañoso	40-100
Escarpado	40-100

De acuerdo con el tipo de terreno plano tendremos un porcentaje entre el 0-20%

- Para una distribución por sentido de 50/50 y con un porcentaje de zonas de no rebase de 0%-20% se tiene un Fd = 1,00

Tabla 12. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb)*.

Berna	Ancho de carril (m)			
	3.65	3.5	3.3	3
1.8	1	0.99	0.98	0.96
1.5	0.99	0.99	0.98	0.95
1.2	0.99	0.98	0.97	0.95
1	0.99	0.98	0.97	0.94
0.5	0.98	0.97	0.96	0.93
0	0.97	0.96	0.95	0.92

- Para las vías se tienen un ancho de carril promedio de 3,75 m, pero se trabaja con 3,65 m que es el máximo en la tabla y sin bermas se tiene un Fcb = 0,97.

Tabla 13. Equivalentes camión Ec.

Equivalentes camión factor de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Ec)							
Pendiente ascendente %	Longitud de la pendiente (km)	Porcentaje de vehículos pesados (buses más camiones)					
		10	20	30	40	50	60
0	0.5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	1	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	1.5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	2	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	3	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	4	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
0	5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
1	0.5	1.53	1.56	1.5	1.48	1.47	1.47
1	1	1.64	1.62	1.54	1.51	1.5	1.5
1	1.5	1.75	1.68	1.59	1.55	1.5	1.5
1	2	1.87	1.75	1.59	1.55	1.53	1.53
1	3	1.99	1.75	1.63	1.55	1.53	1.53
1	4	1.99	1.75	1.63	1.59	1.56	1.56
1	5	2.11	1.75	1.68	1.59	1.56	1.56
2	0.5	1.64	1.56	1.59	1.51	1.5	1.5
2	1	1.75	1.68	1.59	1.55	1.53	1.53
2	1.5	1.87	1.68	1.63	1.59	1.53	1.53
2	2	2.11	1.81	1.68	1.63	1.56	1.56
2	3	2.36	1.88	1.73	1.66	1.63	1.62
2	4	2.49	1.95	1.78	1.71	1.67	1.65
2	5	2.63	2.02	1.83	1.75	1.7	1.65
3	0.5	1.64	1.62	1.63	1.59	1.56	1.56
3	1	1.87	1.75	1.68	1.63	1.6	1.56
3	1.5	2.24	1.88	1.78	1.71	1.67	1.62
3	2	2.49	2.02	1.83	1.75	1.7	1.68
3	3	2.63	2.1	1.89	1.79	1.74	1.71
3	4	2.76	2.17	1.94	1.83	1.78	1.71
3	5	2.9	2.25	1.94	1.83	1.78	1.75
4	0.5	1.75	1.68	1.68	1.63	1.63	1.59
4	1	2.24	2.02	1.83	1.75	1.7	1.68

- Para una pendiente de ascenso de 1.99% en una longitud de 42 metros y con porcentaje de vehículos pesados de 32% se tiene un Ec= 1.57

A partir del valor de Ec determinamos el valor de Fp, teniendo en cuenta que el porcentaje de vehículos pesados es del 32%.

$$Fp = (\frac{1}{1 + Pc(Ec - 1)})$$

$$Fp = (\frac{1}{1 + 32\%(1.57 - 1)})$$

$$Fp = 0.84$$

Tabla 14. Factores de pico horario basados en períodos de cinco minutos suponiendo llegadas de vehículos aleatorias (FPH)*.

Volumen horario total Veh/h (C60)	Factor de pico horario	Volumen horario total Veh/h (C60) 2	Factor de pico horario 2
100	0.68	1400	0.89
200	0.7	1600	0.9
300	0.72	1800	0.92
400	0.74	2000	0.93
600	0.78	2200	0.95
800	0.81	2400	0.95
1000	0.84	2600	0.96
1200	0.86	2800	0.97

- Para el volumen horario total se tomará el valor de 100veh/h ya que es el menor, en este caso se tiene que FPH = 0.68.

A partir de los datos obtenidos anteriormente se tienes el valor de la capacidad a los 60 minutos.

$$C60 = Ci \times Fd \times Fcb \times Fp$$

$$C60 = 3200 \times 1 \times 0.97 \times 0.84$$

$$C60 = 2607 \frac{veh}{h}$$

- Se determina el Volumen mixto máximo que debe circular durante la hora pico sin que se produzca congestión durante el período de cinco minutos de mayor tránsito de esa hora, C5 es:

$$C60 \times FPH = C5$$

$$2607\frac{veh}{h} \times 0.68 = C5$$

$$1773\frac{veh}{h} = C5$$

Determinación del nivel de servicio

- En la siguiente tabla se encuentra la velocidad ideal a flujo libre (Vi) en pendientes ascendentes para una pendiente dada y una longitud caracterizada.

Tabla 15. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (V1).

	Longitud de la pendiente (km)											
PEND. ASC. %	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
1	88	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85	85
2	86	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80
3	83	79	77	76	75	75	75	75	75	75	75	75
4	82	77	74	72	70	70	69	69	69	69	68	68
5	81	74	70	68	66	66	65	65	64	64	64	64
6	80	73	67	65	63	62	61	61	60	60	60	60
7	78	69	63	60	59	56	55	55	54	54	54	54
8	76	66	60	55	54	52	51	51	50	50	49	49
9	70	59	52	49	48	46	44	44	43	43	43	43
10	66	52	46	42	41	40	39	38	38	37	37	37
11	61	46	39	38	35	34	33	31	31	30	30	30
12	55	39	34	30	29	27	27	26	26	25	25	25

- Se determina el valor de V1 para una pendiente ascendiente de 1.99% y longitud de 42 metros, V1=86 Km/h.

Con el valor de Q que es el número de vehículos por hora se determina el valor Fu.

$$Q = \frac{TPD}{24}$$

$$Q = \frac{297\ Vehiculos}{24\ horas}$$

$$Q = 12.375 \frac{Veh}{horas}$$

$$Q = 12 \frac{Veh}{horas}$$

Capacidad Q/C_{60}

$$Relación\ capacidad = \frac{Q}{C60}$$

$$Relación\ capacidad = \frac{12 \frac{veh}{horas}}{2200 \frac{veh}{h}}$$

$$Relación\ capacidad = 0.005454$$

$$Relación\ capacidad = 0.0054 \cong 0.1$$

Tabla 16. Factores de corrección al Nivel de Servicio por el efecto de la utilización de la capacidad (fu).

Relación Volumen-Capacidad Q/C60	Factor de corrección fu
0.1	0.99
0.2	0.98
0.3	0.96
0.4	0.92
0.5	0.87
0.6	0.82
0.7	0.75
0.8	0.68
0.9	0.59
1	0.5

- Se determina el valor de Fu=0.99

Tabla 17. Factores de corrección al Nivel de Servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb).

	Ancho de carril (m)				
Ancho de la berma (m)	3.65	3.5	3.3	3	2.7
1.8	1	0.97	0.93	0.85	0.73
1.5	0.98	0.95	0.91	0.83	0.71
1.2	0.96	0.93	0.89	0.81	0.7
1	0.95	0.92	0.88	0.8	0.69
0.5	0.91	0.88	0.84	0.76	0.66
0	0.88	0.85	0.81	0.73	0.63

- Para las vías se tienen un ancho de carril promedio de 3.75m, pero se trabaja con 3.65 m que es el valor mínimo en la tabla y sin bermas se tiene un Fcb = 0,88.

Determinamos el valor de V2 para posteriormente hallar Fp.

$$V2 = V1 \times Fu \times Fcb$$

$$V2 = 86\frac{Km}{h} \times 0.99 \times 0.88$$

$$V2 = 74.92\frac{Km}{h} \cong 75\frac{Km}{h}$$

Tabla 18. Equivalentes camión para corrección al Nivel de Servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp).

			Porcentaje de vehículos pesados (Camiones)									
Tipo de terreno	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad de autos (V2) (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano (pendiente longitudinal <3 %)	0.5	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	50	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	0.5	60	1.01	1.16	1.18	1.20	1.21	1.21	1.20	1.19	1.19	1.18
	0.5	70	1.43	1.42	1.36	1.34	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.24
	0.5	80	1.86	1.65	1.52	1.46	1.42	1.38	1.36	1.33	1.31	1.30
	0.5	90	2.16	1.80	1.62	1.54	1.49	1.44	1.40	1.37	1.35	1.33
	1	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1	50	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1	60	1.09	1.21	1.22	1.23	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.20
	1	70	1.67	1.54	1.45	1.41	1.38	1.35	1.32	1.30	1.29	1.27
	1	80	2.26	1.85	1.66	1.57	1.51	1.46	1.42	1.39	1.36	1.34
	1	90	2.57	2.02	1.77	1.65	1.58	1.52	1.47	1.43	1.41	1.38
	1.5	40	1.00	1.00	1.04	1.10	1.12	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14
	1.5	50	1.00	1.00	1.05	1.10	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
	1.5	60	1.13	1.23	1.23	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20
	1.5	70	1.79	1.61	1.49	1.44	1.41	1.37	1.34	1.32	1.30	1.29
	1.5	80	2.50	1.98	1.74	1.63	1.56	1.50	1.46	1.42	1.40	1.37
	1.5	90	2.93	2.20	1.89	1.75	1.66	1.59	1.53	1.48	1.45	1.42

- Como nuestra pendiente es menor a 3% nos ubicamos en terreno plano, los tramos tienen una longitud de 42 pero se trabaja con 0.5 ya que es el valor mínimo en la tabla, V2= 75 Km/h y porcentaje de vehículos del 32%, el valor de Fp=1.48

Tabla 19. Factor de corrección al Nivel de Servicio por efecto de la tortuosidad (FT).

Pendiente (%)	Tortuosidad (°/km)	ft
0	<=40	1.00
<2.5	<110	0.99
<4	<200	0.99
<6	<400	0.98
<8	<800	0.97

- Los tramos tienen una pendiente promedio de 1.16% por ende el valor de Ft= 0.99.

Determinamos el valor de VM

$$VM = V2 \times Fp \times Ft$$

$$VM = 75\frac{Km}{h} \times 1.48 \times 0.99$$

$$VM = 109.89\frac{Km}{h}$$

$$VM = 110\frac{Km}{h}$$

Tabla 20. Definición de Nivel de Servicio con base en la relación entre VM / Vi * 100.

Tipo de terreno	Nivel de Servicio					
	A	B	C	D	E	F
Plano	>92 %	92 %-80 %	80 %-69 %	69 %-58 %	58 %-47 %	<47 %
Ondulado	>76 %	76 %-66 %	66 %-57 %	57 %-48 %	48 %-38 %	<38 %
Montañoso	>58 %	58 %-50 %	50 %-43 %	43 %-37 %	37 %-29 %	<29 %
Escarpado	>40 %	40 %-34 %	34 %-30 %	30 %-26 %	26 %-20 %	<20 %

- Haciendo la relación entre VM y Vi ideal de 90km/h tenemos un porcentaje de 122,22 %, con terreno plano, por ende, se encuentra en nivel de servicio A.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo con las características de tránsito presentadas, los tramos de vía serán diseñados con un NT1.

- En los tramos evaluados, se observó que la pendiente es baja y el terreno se mantiene mayormente plano, lo que facilita un flujo constante y sin obstáculos significativos. Esta configuración geográfica permite que los vehículos o medios de transporte puedan alcanzar y mantener velocidades de hasta 75 km/h sin experimentar grandes variaciones en la inclinación del terreno. Dado que no hay pendientes pronunciadas ni irregularidades significativas en la superficie, los tramos ofrecen condiciones óptimas para un tránsito fluido y seguro, favoreciendo un rendimiento eficiente en cuanto a velocidad.

- Según la información obtenida en este estudio se debe proponer una estructura de pavimento para la circulación de vehículos Y gran cantidad de camiones.

- Los tramos viales tienen un Nivel de Servicio A: Representa flujo libre en una vía cuyas especificaciones geométricas son adecuadas. Hay libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular es sumamente alta, al no existir prácticamente interferencia con otros vehículos y contar con condiciones de vía que no ofrecen restricción por estar de acuerdo con la topografía de la zona.

VALIDO PARA: "CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

ANDREA CAMILA CABALLERO HERNÁNDEZ
INGENIERA CIVIL
Máster en Construcción, Mantenimiento y Explotación de Carreteras
MP Nº 081037 - 0565804 COR

ESTUDIO DE TRÁNSITO, CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICO

PROYECTO: "CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

Morroa - Sucre, 20 de marzo del 2025

Señor:

SINDY MARCELA SIERRA DOMINGUEZ
SECRETARIA DE PLANEACIÓN
MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE

Asunto: Certificación de Estudio

Certifico que he realizado el Estudio de tránsito para el Proyecto: **"CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE".** A construirse en el Municipio de Morroa, Departamento de Sucre, de acuerdo con los requisitos técnicos vigentes, establecidos en el Manual de Diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS, cuyos resultados se encuentran consignados en el estudio de tránsito y que estos no pueden ser modificados sin mi autorización una vez sea viabilizado el proyecto.

Para los fines pertinentes, anexo copia de mi Tarjeta Profesional y original del certificado de vigencia y antecedentes profesionales.

VALIDO PARA "CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

ANDREA CAMILA CABALLERO HERNÁNDEZ
INGENIERA CIVIL
Máster en Construcción, Mantenimiento y Explotación de Carreteras
MP Nº 081037 - 0565804 COR

DOCUMENTOS DEL PROFESIONAL

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2024-3195667

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que ANDREA CAMILA CABALLERO HERNANDEZ, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1103122808, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 081037-0565804 COR desde el 10 de Mayo de 2021, otorgado(a) mediante Resolución Nacional R2021068286.

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 cuatro (04) días del mes de Diciembre del año dos mil veinticuatro (2024).

Rubén Dario Ochoa Angulo

Firma del titular (*)

VALIDO PARA: "CONSTRUCCIÓN DE OBRA HIDRÁULICA EN LA CALLE 7 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE MORROA, SUCRE"

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicando el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

11. ANEXOS