

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

La denominada curiosidad intelectual hace necesario profundizar en el contexto de situaciones problemáticas en procura de respuestas que contribuyan a su solución. Es común detectar pelotones de vehículos en las vías de acceso a la ciudad de Tarija a distintas horas del día en diferentes días de la semana. Es por ello que debe realizarse un diagnóstico de la Capacidad de dichas vías, al igual que del Nivel de Servicio que ofrecen al usuario, como elemento de partida que contribuya a estudios posteriores de planeación e intervención de las vías que llegan a la ciudad de Tarija.

El presente estudio explica de manera detallada la forma como se determinan las Capacidades y Niveles de Servicio de dos carreteras de dos carriles que arriban a la capital, a partir de los SOFTWARE informáticos sugeridos en el “Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles” segunda versión (1996) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia, y en el “Highway Capacity Manual 2000” (HCM 2000) del “Transportation Research Board” (TRB) de los Estados Unidos.

A pesar que las consideraciones iniciales para cada una de las metodologías de cálculo incluidas en ambos manuales son diferentes, resulta importante comparar los resultados obtenidos en cada caso, para tener un panorama más amplio en cuanto a lo que representan las características de las vías típicas nacionales en un contexto internacional de gran importancia en el desarrollo de las comunicaciones del transporte de pasajeros y carga, por lo cual toda ciudad depende de sus sistemas viales. El crecimiento y desarrollo de la población provoca un incremento en la demanda del servicio de transporte tanto en las redes viales de las carreteras como en las vías urbanas; debido a este incremento éstas se ven en la necesidad de operar por encima de su capacidad vehicular, originando problemas de tránsito que muchas veces derivan en accidentes o congestiónamiento.

La intención de este trabajo es de poder concluir con un estudio completo de la capacidad vehicular en carreteras en Tarija, mediante un programa de cálculo automático, para la misma.

1.2 Justificación

Con la aparición de los microordenadores de gran potencia y el abaratamiento de los mismos, gran parte de los profesionales y medianas empresas han penetrado con avidez en el mundo de la informática, ahora ya es posible sin necesidad de grandes máquinas, introducir, modificar y manipular los datos con absoluto control sobre ellos.

Los problemas de tráfico son muy frecuentes en las carreteras de nuestro medio debido al gran aumento de usuarios de transporte.

La excedencia de la capacidad vehicular provoca un tráfico vehicular desordenado y problemático con congestionamientos y embotellamientos.

El objetivo básico del análisis de la capacidad es la estimación del máximo número de personas o vehículos a los que una instalación puede dar servicio con seguridad razonable dentro de un período de tiempo; es por eso que la capacidad proporciona herramientas para el análisis de las instalaciones existentes y para el planeamiento y dimensionamiento de instalaciones a mejorar o futuras.

La capacidad de las infraestructuras de transporte refleja su facultad para acomodar un flujo móvil de vehículos o de personas, la calidad de servicio que las mismas prestan durante los periodos de punta y el incremento de tráfico que pueden soportar.

El nivel de servicio proporciona las condiciones de explotación del tráfico vial, como su percepción por los conductores y pasajeros, siendo los factores que caracterizan estas condiciones la velocidad, el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones a la circulación, el confort y la conveniencia.

Para facilitar y mejorar la determinación de la capacidad vehicular en carreteras de nuestro medio se aplicará un SOFTWARE informático; porque es una herramienta tecnológica que nos ayudará a optimizar tiempo y resultados para dar solución a los problemas de tráfico.

El estudio nos permitirá realizar una adaptación del SOFTWARE a nuestro medio y comprobar su validación.

Es de mucha importancia conocer las características de circulación de una vía para no cometer errores al tiempo de planificar modificaciones en ella.

Este estudio propuesto brindará aportes al proceso de investigación continua que lleva a cabo la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

El aporte académico de este estudio es principalmente la importancia de aplicabilidad de un SOFTWARE informático en el campo de las Capacidades vehiculares, que nos sirven de base para poder dar solución a los problemas de tráfico que se presentan en las carreteras de la ciudad de Tarija. A la vez aplicar el SOFTWARE en carreteras de la ciudad de Tarija.

1.3 Planteamiento del Problema

1.3.1 Situación Problemática

Conocemos como capacidad vehicular al máximo número de vehículos que puede transitar por un punto o tramo uniforme de una vía (en este caso de dos carriles) en los dos sentidos, en un periodo determinado de tiempo, en las condiciones imperantes de la vía y el tránsito.

La determinación de capacidad y nivel de servicio son necesarios para la mayoría de las decisiones y acciones de ingeniería de tráfico y de planeamiento de transporte para ello es necesario conocer las propiedades y características tanto geométricas como de tránsito que son determinantes para la capacidad y nivel de servicio de la vía en estudio.

El manipuleo de una gran cantidad de datos es un procedimiento que demora gran cantidad de tiempo y muchas veces está sujeto a errores que se arrastran a lo largo del cálculo, la determinación de Nivel de servicio depende de las características geométricas y de tráfico de una vía, tales como ser pendientes, radios de curvatura, y el tráfico en sí debido a la presencia de accesos y desvíos.

Frente a esta situación lo más común es rehacer los cálculos o en el caso de analizar muchos tramos realizar el mismo procedimiento una y otra vez y finalmente realizar una verificación, lo cual resulta en pérdida de dinero y tiempo, con la aplicación de software informáticos la variación de datos o manipuleo de los mismos ya no es un problema debido a que los mismos pueden ser verificados y editados cuando sea necesario, para de esta manera obtener mejores resultados.

1.3.2 Problema

La utilización de Software informático para la determinación de la capacidad y nivel de servicio en carreteras, ¿nos permitirá obtener resultados más precisos y con la celeridad necesaria?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar la aplicabilidad de software en la determinación de la capacidad vehicular y niveles de servicio que faciliten el proceso de cálculo, acortando en gran manera el tiempo de planeación vehicular y aumentando la precisión de los resultados, de manera que sea aplicable en nuestro medio para la determinación de las capacidades y niveles de servicio en las redes viales departamentales.

1.4.2 Objetivo específicos

- Compilar la información pertinente existente proveniente de diferentes fuentes.
- Recopilar en campo la información faltante para el desarrollo del objeto del estudio.

- Establecer las características del procesamiento del software en lo que se refiere al ingreso de datos, procesamiento y resultados.
- Calcular la capacidad y el nivel de servicio de las vías propuestas, a partir de la metodología propuesta por INVIAS, así como por la metodología del manual americano HCM 2000.
- Analizar los resultados obtenidos para valorar el uso de los programas informáticos.
- Comparar los resultados obtenidos con los dos métodos (INVIAS y HCM 2000).
- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos en el estudio.

1.5 Alcance del estudio

El trabajo a realizarse consiste en elaborar un diagnóstico de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y de acceso a la ciudad de Tarija, con base en la información existente y la recopilada en campo, utilizando dos modelos computacionales diferentes (INVIAS Manual colombiano y HCM 2000 manual americano), con el objeto de contribuir a la planeación y diseño de posibles intervenciones en la red vial analizada.

1.6 Metodología de estudio

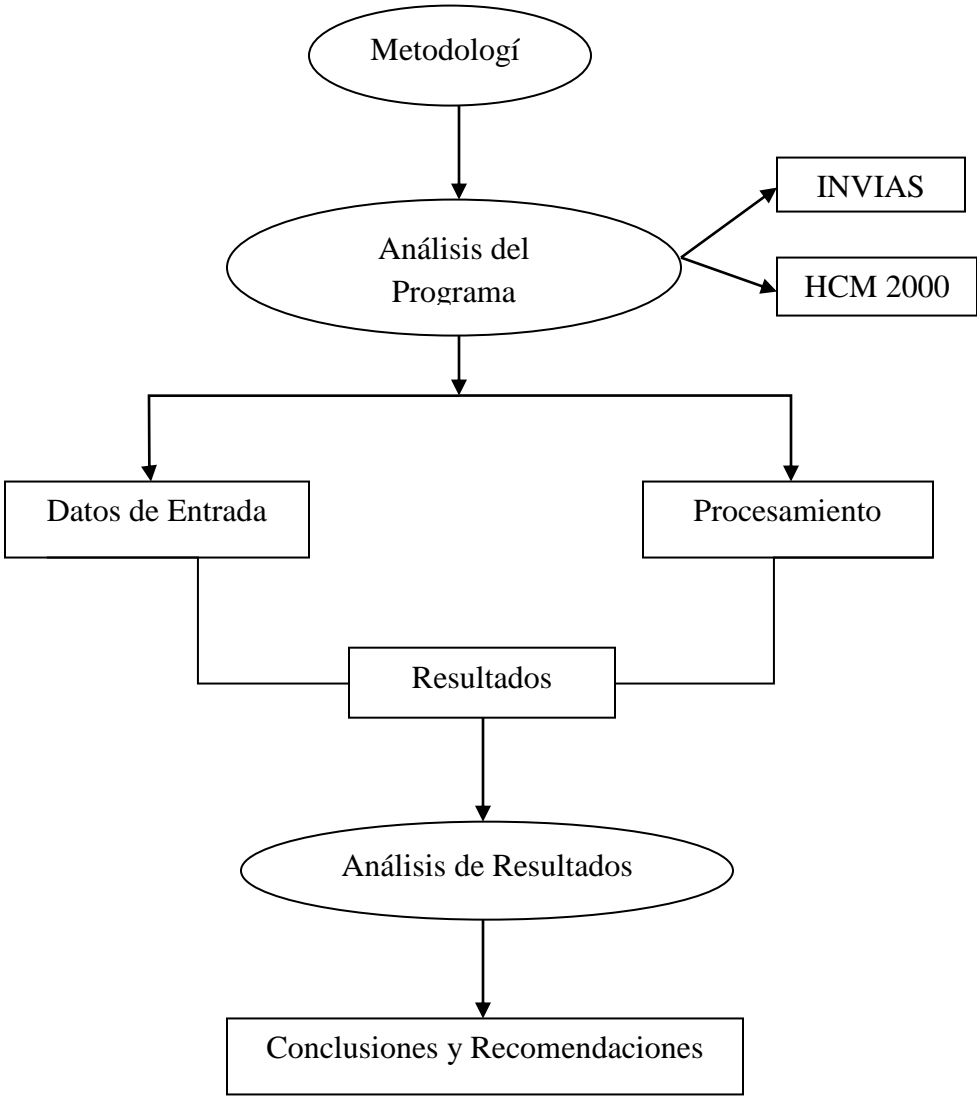
El método a utilizar es el siguiente:

Método Analítico.- Es en que se realizará un análisis y una síntesis de la investigación basada en toda la bibliografía encontrada, y en los datos de campo que serán analizados para luego ser depurados y así llegar a un resultado.

Método Empírico.- Se realizarán observaciones y mediciones dentro del trabajo de campo, mediante el cual se dispondrán los datos necesarios para la realización del

presente proyecto, datos que serán la base para la aplicación práctica de los programas de software en la determinación de la capacidad vehicular.

Método Computacional.- El cual consiste en procesar los datos necesarios, en los modelos computacionales que nos brindan el INVIAS (Manual colombiano) y HCM 2000 (manual americano). Para lo cual utilizaremos un Ordenador o computadora.



CAPÍTULO II

ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA CAPACIDAD VEHICULAR

2.1 Introducción

Un estudio de capacidad de un sistema vial es al mismo tiempo un estudio cuantitativo y cualitativo, el cual permite evaluar la *suficiencia* (cuantitativo) y la *calidad* (cualitativo) del servicio ofrecido por el sistema (oferta) a los usuarios (demanda).

La demanda vehicular es la cantidad de vehículos que requieren desplazarse por un determinado sistema u oferta vial.

La oferta vial ó capacidad, representa la cantidad máxima de vehículos que finalmente pueden desplazarse ó circular en dicho espacio físico.

Si la *demanda vehicular* < *oferta vial*, el flujo será no saturado y los niveles de operación variarán de excelentes a aceptables.

Si la *demanda vehicular* = *oferta vial*, se llega a la capacidad del sistema. El tránsito se torna inestable y se puede llegar a la congestión.

Si la *demanda vehicular* > *oferta vial*, el flujo será forzado, presentándose detenciones frecuentes y grandes demoras.

Para determinar la capacidad de un sistema vial, rural ó urbano, no sólo es necesario conocer sus características físicas ó geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones de operación sujetas a los dispositivos de control y al medio ambiente.

Así mismo, no puede tratarse la capacidad de un sistema vial sin hacer referencia a otras consideraciones importantes que tiene que ver con la calidad del servicio proporcionado.

2.2 Conceptos Generales

Capacidad: Es el máximo número de vehículos que puede transitar por un punto o tramo uniforme de una vía (en este caso de dos carriles) en los dos sentidos, en un periodo determinado de tiempo, en las condiciones imperantes de la vía y el tránsito.

Nivel de servicio: Es la calidad del servicio ofrecido por una carretera de dos carriles a sus usuarios, reflejada en el nivel de satisfacción o de contrariedad experimentado por los mismos al usar la vía.

Carril: Parte de la vía cuya sección transversal está destinada a la circulación de un solo vehículo.

Calzada: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. En el caso de vías de dos carriles con circulación en ambos sentidos, el ancho de la calzada lo constituye la suma del ancho de los dos carriles.

Berma: Parte exterior de la calzada destinada a la parada eventual de vehículos. La berma puede ocasionalmente incrementar el ancho efectivo de la calzada, a la vez que proporciona mayor visibilidad a los conductores debido al despeje lateral de obstáculos que brinda.

Velocidad a Flujo Libre: (Free-Flow Speed, FFS). Es la velocidad a la cual los conductores sienten comodidad viajando, bajo condiciones controladas ambientales, físicas y de tránsito, en una sección descongestionada de una carretera multicarril. (Este concepto es análogo para una vía de dos carriles).

Vehículos de pasajeros: (Passenger cars). Este término hace alusión a los vehículos livianos o simplemente denominados “autos” en Bolivia, ya que en países como Estados Unidos, se procura hallar un equivalente de vehículos livianos para los pesados (buses y camiones), así como para los vehículos recreativos que transportan gran número de usuarios y se consideran igualmente vehículos pesados con diferencias temporales de circulación.

Tiempo de retraso: (Times pent following). Es el tiempo que los conductores se demoran en su recorrido por una vía, debido a la imposibilidad de adelantar a otros vehículos con menor velocidad que van delante de ellos. Este tiempo es un criterio bastante importante en la determinación del Nivel de Servicio en la metodología del Manual HCM2000.

Terreno plano: Es aquél cuyas pendientes longitudinales de sus vías son menores del 3%.

Terreno ondulado: Es el que posee pendientes longitudinales entre el 3% y el 6%.

Terreno montañoso: Es el que presenta pendientes longitudinales entre el 6% y el 8%.

Terreno escarpado: Presenta pendientes longitudinales mayores al 8%.

Carretera de dos carriles: Es aquélla que tiene una calzada con un carril para cada sentido de circulación de los vehículos.

Carretera multicarril: Es la que tiene dos o más carriles en cada sentido de circulación, pudiendo o no tener separador central. También se la conoce como doble calzada.

Carreteras Principales o de primer orden: De acuerdo con su función, estas carreteras son troncales, transversales y accesos a capitales de departamento que cumplen la función básica de integración de las zonas principales de producción y consumo del país y de éste con otros países.

Carreteras Secundarias o de segundo orden: Son las vías que unen cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una principal.

Tramo de una vía: Es una subdivisión de una ruta con longitud de hasta 150 kilómetros.

Sector de una vía: Es la parte de un tramo determinado para realizar estudios de capacidad y niveles de servicio.

Sector crítico de una vía: Es el sector de una vía que presenta factores deficientes en sus características geométricas o mal estado de su capa de rodadura. Éste es el primer sitio en congestionarse cuando se presente alta demanda en la vía.

Zona de no rebase: Porcentaje de la longitud del sector de la vía donde los conductores no encuentran una distancia prudencial para adelantar.

TPDs: El tránsito promedio diario semanal o TPDs (por su sigla) representa el número promedio de vehículos que transita por una vía determinada en un periodo de tiempo igual a un día completo. Los datos del TPDs provienen de conteos semanales realizados por el INVIAS en estaciones de conteo específicas y se encuentran en cartillas de publicación anual del Instituto.

Volumen Hora Pico: Es el número de vehículos que transitan por una vía en la hora de mayor congestión durante un día completo.

2.3 Capacidad Vehicular

La capacidad vehicular es un parámetro del tráfico muy importante que tiene por objetivo determinar la cantidad máxima de vehículos que circulan por una calle o carretera en un período de tiempo determinado normalmente de una hora.

La capacidad vehicular está muy relacionada con el volumen del tráfico ya que se debe establecer una correlación entre estos dos parámetros cuyas posibilidades pueden ser:

- capacidad real = volumen de tráfico
- capacidad real > volumen de tráfico
- capacidad real < volumen de tráfico

Si analizamos las tres posibilidades se podrá definir lo siguiente:

Primera nos coloca en el límite crítico en el cual el volumen de tráfico ha alcanzado la capacidad máxima de la calle o carretera. En este caso será prudente buscar alternativas para no llegar al caso inestable.

Segunda si la capacidad es mayor al volumen de tráfico las condiciones de flujo vehicular se pueden considerar estables y se debe tratar de mantener esta estabilidad en el flujo vehicular.

Tercera si la capacidad es menor al volumen del tráfico, la circulación es inestable ya que los volúmenes han superado la capacidad de la calle o carretera. Esto quiere decir que el flujo está congestionado.

Nivel de servicio.

La relación volumen capacidad establece un condicionamiento del flujo vehicular, este condicionamiento se ha tratado de conceptualizar en el nivel de servicio que es la característica cualitativa que tiene la calle o carretera con respecto al flujo vehicular, por lo tanto esa cualidad que va hacer variar desde el extremo de tener un flujo libre con libertad de maniobras y libertad de velocidad hasta la otra condición crítica de tener un flujo congestionado cuya velocidad esté cercana a 0 (cero) y produzcan largas colas en el flujo y esté restringido totalmente de cualquier maniobra.

Condiciones de la capacidad.

La capacidad vehicular puede tener dos condiciones que son condiciones ideales y reales las cuales proporcionalmente nos darán capacidad ideal y capacidad real respectivamente

Condiciones ideales.

Dan lugar a una capacidad ideal de acuerdo al manual de capacidad de EEUU y otros manuales establecen los siguientes acondicionamientos para las carreteras:

- Ancho de carril = 3.60 m.
- Ancho de berma = 1.80 m.
- Pendiente longitudinal = 0 %

- La composición de vehículos sólo debe tener vehículos livianos
- Relación de cantidad de vehículos por sentido debe ser 50 / 50 las condiciones ideales en calles son las siguientes:
- Ancho de carril mínimo = 3.60 m.
- No debe haber obstrucciones laterales
- La pendiente longitudinal debe ser nula (0 %)
- No debe existir incidencia de equipamiento urbano que afecte al flujo vehicular

Condiciones reales.

Al ser las condiciones reales de muy difícil cumplimiento en nuestras calles y carreteras es que se hace necesario condiciones reales, tanto geoméricamente como de circulación. Por lo tanto tendremos ancho de carril diferente, ancho de berma variable, diferentes pendientes longitudinales, diferentes relaciones de flujo por sentido, presencia de vehículos medianos y pesados y condiciones de maniobrabilidad en giros izquierda giros derecha en intersecciones, etc. De estas condiciones surgió la capacidad real que va a ser la siguiente relación:

$\text{Capacidad real} = \text{capacidad ideal} * \text{factores de reducción por condiciones}$

Clasificación de la capacidad.- Para un mejor estudio se clasifica a la capacidad vehicular en dos grupos que son:

- capacidad en vías interrumpidas
- capacidad en vías ininterrumpidas

2.3.1. Capacidad en Vías Interrumpidas

La capacidad en vías interrumpidas están referidas a la capacidad en vías urbanas o segmentos urbanos. Es claro que cada intersección tiene una capacidad que representa el número máximo de vehículos que pueden atravesar en un determinado período de tiempo, en las condiciones geométricas, de tráfico y de regulación existentes.

Para estudiar la metodología de determinación de la capacidad en vías interrumpidas se dividirán en dos casos:

- en calles de un solo sentido
- en calles de doble sentido

Metodología de determinación de la capacidad.

- a. se debe determinar la capacidad en accesos a la intersección en cada una de las calles que corresponde a un tramo urbano clasificándolas en calles de un solo sentido y doble sentido
- b. a cada uno de los accesos a la intersección se debe medir el ancho, considerando el ancho de acceso desde la línea del cordón hasta la línea de separación, en caso de dos sentidos medir el ancho de un extremo del cordón al otro cordón opuesto.
- c. Se debe clasificar el acceso si pertenece a una zona comercial, zona central o alrededor de una zona central y si este acceso tiene estacionamiento permitido o prohibido.
- d. Con la ayuda de dos ábacos que existen ya desarrollados donde el eje horizontal está segmentado por anchos de acceso y el eje vertical por el volumen total para una capacidad ideal. Este Ábaco se utiliza en la siguiente manera, primero se comienza con el ancho de acceso de la vía y luego ésta se tiene que prolongar hasta una de las curvas características de la intersección, de esta manera se termina la capacidad ideal.

e. Se deben determinar los factores que reducen la capacidad de cada acceso de la intersección de acuerdo a los siguientes casos.

1) calles con circulación en ambos sentidos sin carriles suplementarios ni indicaciones especiales de semáforos para el movimiento rígido.

2) calles de circulación de un solo sentido sin carriles suplementarios ni indicaciones especiales de semáforos para el movimiento rígido.

Para este caso se toma el ábaco que corresponde al acceso de un solo sentido.

3) calles de circulación en ambos sentidos con carriles suplementarios con movimientos de giros, pero sin señal especial de semáforos.

Todo este procedimiento que se vio hasta ahora, es sólo para determinar la capacidad vehicular sin semáforos.

Determinación de la capacidad en intersecciones con semáforos

Se tendrá que realizar lo siguiente:

En el caso general de intersecciones con semáforos se tiene que realizar la reducción por hora verde, es la relación entre la sumatoria de fase verde en una hora, dividido entre 60 este factor es multiplicado a la capacidad calculada como la metodología ya escrita.

Existe una metodología más compleja dada por el manual de capacidad para intersecciones semaforizadas, por la cantidad de factores que utiliza y la discontinuidad de semáforos en nuestras ciudades resulta una metodología poco probable en su utilización y en la calidad de los resultados.

2.3.1.1. Factores que afectan la Capacidad en las Intercesiones

En los párrafos siguientes se exponen las condiciones variables más importantes que afectan la capacidad de las intersecciones de tipo común.

➤ *Ómnibus y camiones.* La presencia de ómnibus y camiones tiende a reducir la capacidad de las intersecciones, en términos del número total de vehículos, porque

tienen menor poder de aceleración y ocupan mayor espacio en la calzada que los automóviles. Sin incluir los que se detienen para dejar o recibir pasajeros o mercancías. Esto es válido solamente cuando no efectúan movimientos de giro o donde dichos movimientos pueda realizarse sin interferir más de lo normal con otros vehículos.

➤ *Movimientos de giro.* La proporción en que los movimientos de giro reducen la capacidad de las intersecciones dependen de condiciones tales como la forma y disposición de las mismas, movimiento de peatones, vol. de tránsito en sentido opuesto y desde luego del número de vehículos que gira a la derecha o a la izquierda. Bajo condiciones adversas el efecto de los movimientos de giro puede ser suficientemente grande como para reducir la capacidad en un acceso de dos carriles de una intersección hasta de un 50 %.

➤ *Paradas de ómnibus.* Cuando el estacionamiento está prohibido en un acceso a la intersección las paradas de ómnibus en esos accesos reducen su capacidad. Cuando el estacionamiento no está prohibido y son pocos los ómnibus que se detienen, la parada en el acceso aumenta la capacidad del mismo, pues constituye una parte de la calzada despejada de vehículos estacionados que puede ser utilizada por el tránsito. Cuando el estacionamiento no está prohibido y son muchos los ómnibus que se detienen, la capacidad del acceso puede disminuir. Se considera que en los accesos donde el estacionamiento está prohibido y hay paradas de ómnibus con pocos ómnibus deteniéndose el efecto que ejerció un ómnibus sobre la capacidad de la intersección es el de tres a cinco automóviles.

➤ *Estacionamientos.* Puede notarse además que el efecto del estacionamiento en la zona central puede ser mayor y éste reduce el ancho de acceso en un carril completo. La razón de ello es que la acción que ejercen los vehículos estacionados sobre el tránsito no se limita solamente al espacio que roban a la calzada sino también al efecto combinado de muchos otros factores que tiende a restringir las corrientes vehiculares y que están presentes cuando se permite el estacionamiento, tales como la interferencia por conductores que maniobra para entrar o salir de un lugar de

estacionamiento y la tendencia de todo conductor de mantenerse apartado de vehículos estacionados para evitar la posibilidad de chocar con un vehículo que empiece a salir o que algún conductor abra la puerta del vehículo estacionado, o atropellar a peatones que emerjan de entre vehículos estacionados.

2.3.2. Capacidad en Vías Ininterrumpidas

Las corrientes vehiculares ininterrumpidas sólo suelen circular en autopistas y en ciertos tramos de caminos rurales comunes que no están afectados por la influencia de intersecciones a nivel. Sin embargo aún en estas vías ciertas condiciones propias de ellas y del tránsito pueden causar interrupciones en la corriente normal. No obstante cuando se efectúa un estudio sobre capacidad de vías, resulta esencial conocer la capacidad de las mismas para conducir corrientes vehiculares ininterrumpidas, a fin de poder aplicar luego ciertas deducciones correspondientes a circunstancias que causan interrupciones en la corriente.

En resumen dentro de la ingeniería de tráfico como calles ininterrumpidas se denomina a las carreteras de dos carriles, carreteras múlticarril, autovías y autopistas en estas vías la determinación de la capacidad tienen sus particularidades y para cada una de ellas se tienen diferentes metodologías, sabiendo que en nuestro país el 98% de la red son carreteras de dos carriles estudiaremos con mayor precisión la metodologías para el cálculo de capacidad en carreteras de dos carriles.

Capacidad ideal.

Según los métodos que existen para determinar la capacidad en vías ininterrumpidas son los siguientes:

- métodos del manual de capacidad de EEUU para carreteras de dos carriles
- método del manual colombiano para dos carriles.

Estos dos métodos coinciden con las condiciones ideales que se tienen que tener para obtener una capacidad ideal, estas condiciones son las siguientes:

- a) Separación del tráfico por igual en ambos sentidos (50 / 50)

- b) Terreno plano horizontal
- c) Ancho de carril de 3.60 m.
- d) Ancho de berma de 1.80 m.
- e) Superficie de rodadura en condiciones óptimas
- f) Alineamientos recto
- g) Ausencia de vehículos pesados

Con estas condiciones se obtienen la capacidad ideal de circulación, pero en la práctica es difícil encontrar carreteras que tengan toda estas cualidades por eso se debe establecer una metodología que permita determinar la capacidad real en condiciones reales, entonces la expresión quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Capacidad real} = \text{capacidad ideal} * \text{Factores de reducción}$$

2.3.2.1. Factores que Reducen la Capacidad

Rara vez las condiciones de vía y tránsito son ideales; y por esa razón las capacidades son afectadas por factores que reducen a la capacidad ideal. Los factores que se nombrarán y describirán serán los siguientes:

Ancho de los carriles.

Los carriles que se consideran adecuados para volúmenes elevados de tránsito mixto son los de 3.60 m. Mientras el carril es más angosto tienen menor capacidad y así la capacidad de un camino de dos carriles de 2.70 m de ancho es solamente el 70% de la capacidad de un camino similar con carriles de 3.60 m los carriles reducidos por la ausencia y mala condiciones de ésta, restan confianza a los conductores en la que disminuye la velocidad, en aumento de intervalos de vehículos y la reducción de la capacidad.

Berma.

Las bermas adecuadas son muy necesarias cuando los carriles de una vía se usan a plena capacidad. Sin un lugar para refugiarse fuera de la calzada, un vehículo descompuesto puede reducir la capacidad de una vía en una magnitud mayor que la capacidad de un carril, especialmente si el ancho de los carriles es inferior a 3.60 m

Pendiente.

Las pendientes reducen la velocidad de los vehículos con respecto a la velocidad que puede realizar en una horizontal por lo tanto hay disminución y que está considerada por factor de pendiente.

Distribución del tráfico por sentido.

En una carretera de dos carriles puede saturarse cuando tenga un carril saturado aunque el volumen de tránsito será bajo en el otro carril, además que debe tomarse en cuenta a las verdaderas oportunidades de adelantamiento que tienen la carretera, el efecto de estas dos variables está dada en el factor de distribución por sentido.

Distribución del tráfico por sentido.

Los vehículos pesados incrementan el número de intervalos entre vehículos, por lo tanto reducen la capacidad, por la menor velocidad que desarrollan, porque retarda el pase de vehículo rápido, porque ocupa mayor espacio en la calzada e influye en el tránsito en un área mayor que los automóviles.

Trazado de la vía en planta y el perfil. El alineamiento horizontal y vertical de una vía es un factor importante que afecta su capacidad a distintas velocidades de operación. Este alineamiento influye en la posición de vía que puede ver el conductor en todo momento o distancia visible.

Cuando las distancias visibles son inadecuadas en vías de dos o tres carriles el conductor sufre restricciones para efectuar las maniobras de adelantamiento casi de la misma manera que si el carril que se use para adelantar estuviera ocupado por vehículos circulando en sentido opuesto.

Factor de hora punta.

Además queremos hacer incidir la diferencia entre la intensidad y volumen de tráfico y como sabemos la intensidad es la mayor cantidad de vehículos en una fracción más corta de la hora, por ejemplo de 10 o 15 minutos, tendremos un factor de hora punta que pueda tener valor mayor o menor a la unidad.

2.4. Niveles de servicio

Las medidas primarias del nivel de servicio para las carreteras de dos trochas Clase I son la velocidad media de viaje y el porcentaje del tiempo consumido en seguimiento. Para carreteras de Clase II, el nivel de servicio se basa únicamente en el porcentaje del tiempo consumido en seguimiento.

Nivel de servicio A: los conductores pueden viajar a la velocidad deseada. La frecuencia de sobrepaso no ha alcanzado el nivel de demanda, esto es, la demanda por sobrepaso está por debajo de la capacidad de sobrepaso y grupos de tres o más vehículos son raros. Un flujo máximo de **490 automóviles/hora en ambas direcciones** puede lograrse en condiciones base.

Nivel de servicio B: la demanda por sobrepaso es más significativa y se aproxima a la capacidad de sobrepaso en el límite inferior del nivel de servicio. Pueden lograrse flujos máximos de **780 automóviles/hora en ambas direcciones** en condiciones base. Por encima de este flujo, el número de grupos vehiculares se incrementa notablemente.

Nivel de servicio C: describe más incrementos en el flujo, lo que resulta en aumentos notables en la formación de grupos, tamaños y frecuencia de zonas de no sobrepaso, disminuyendo significativamente la capacidad de sobrepaso. A pesar de que el flujo vehicular es estable, es susceptible de congestionarse debido a los vehículos que realizan maniobras de vuelta ó a la circulación de vehículos lentos. Valores de hasta **1190 automóviles en ambas direcciones**, puede ser acomodada bajo condiciones base.

Nivel de servicio D: describe flujo vehicular inestable. Las dos corrientes de tránsito opuestas empiezan a operar separadamente a niveles de volúmenes altos, en la medida en que la maniobra de sobrepaso se torna difícil, esto es, cuando la demanda por sobrepaso es alta y la capacidad de sobrepaso se aproxima a cero.

Nivel de servicio E: El sobrepaso es prácticamente imposible a este nivel, y los grupos vehiculares son intensos a medida que se encuentran vehículos lentos u otras interrupciones. El volumen más alto que se puede alcanzar define la capacidad de la carretera, generalmente de **3200 automóviles/hora en ambas direcciones** y de **1700 automóviles/hora para cada dirección**. Las condiciones de operación a capacidad son inestables y difíciles de predecir, muy rara vez la operación vehicular en carreteras rurales está cercana a capacidad, principalmente por falta de demanda.

Nivel de servicio F: representa flujo congestionado con demandas vehiculares que exceden la capacidad. Los volúmenes son menores que la capacidad y las velocidades son muy variables.

En la tabla siguiente se presentan los niveles de servicio para carreteras de dos trochas Clase I y Clase II.

Tabla 9.1

Nivel de servicio	Clase I		Clase II
	% de tiempo consumido en seguimiento	Velocidad media de viaje(millas/hora)	% de tiempo consumido en seguimiento
A	< ó = 35	> 55	< ó = 40
B	> 35 -50	> 50 – 55	> 40 – 55
C	> 50 – 65	> 45 – 50	> 55 – 70
D	> 65 – 80	> 40 – 45	> 70 – 85
E	> 80	< ó = 40	> 85

CAPÍTULO III

PROGRAMAS COMPUTACIONALES EN CAPACIDAD VEHICULAR

3.1 Generalidades

El cálculo de la capacidad de una, vía así como de su nivel de servicio, ofrece algunas diferencias dependiendo de la metodología empleada, por ello, se presenta inicialmente lo concerniente al “Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles” del Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS) y posteriormente al “Manual de Capacidad Vial 2000” (HCM 2000) del Consejo de Investigaciones del Transporte de los Estados Unidos (TRB por su sigla en inglés).

Todo lo relacionado con cálculos adicionales a los presentados en las hojas de trabajo, se anexan al presente documento en archivo digital el SOFTWARE tanto del manual INVIAS como del HCM 2000.

3.2 Antecedentes en programas informáticos

Gran parte de las actividades de la ingeniería están relacionados con el cálculo, y éstas a su vez con el procesamiento de datos, por esta y muchas razones la computadora se ha convertido en una herramienta imprescindible para el ingeniero.

La capacidad interactiva para manejar, de forma directa y rápida, extensos y variados archivos en forma digital es un objetivo hecho realidad.

Con el paso del tiempo los procedimientos numéricos fueron desechados por el ingeniero, ya que éstos implicaban el manejo de grandes cantidades de información, con esta gran cantidad de tiempo para su procesamiento. Hoy en día se ha resuelto en gran parte el problema, gracias a la rapidez y precisión con que pueden ser procesados y obtenidos enormes cantidades de resultados numéricos.

El ingeniero civil, necesita adquirir cierta habilidad en el manejo y conocimiento de las computadoras, no sólo para ser capaces de efectuar análisis más precisos y más rápidos, sino también para tener en cuenta factores que por tradición los científicos de su especialidad no consideraron en el pasado.

Es el software es el que hace de la computadora una herramienta útil y puede considerarse hoy como una tecnología más. Una gran diversidad de programas diseñados para tantos, como específicos problemas se hayan planteado, se ha introducido en nuestro medio. La mayor parte de éstos traen consigo tecnologías y normas generalmente inadecuadas a nuestro medio y podría argumentarse que relativamente muy pocos ingenieros trabajan en programación en computadoras propiamente.

3.3 Principios de los programas

3.3.1 Programa INVIAS

Guía del SOFTWARE INVIAS

Introducción

Este programa fue diseñado en el marco de la Investigación de Capacidad, Niveles de Servicio y Mejoras de Carreteras de Dos Carriles (1a. Etapa), con el fin de estructurar las bases de datos con la información de entrada requerida, efectuar los cálculos de capacidad y niveles de servicio, y obtener informes personalizados con el nivel de detalle que necesite el usuario.

El paquete se concibe con una perspectiva dinámica, en el sentido que permite actualizar periódicamente las bases de datos, y en su manejo general, permite el trabajo con tramos aislados, dependiendo del interés del usuario del sistema.

El CNS97 está cifrado en lenguaje QUICK BASIC, es de fácil manejo, y no requiere de un instructivo especial. En su desarrollo se utilizaron todas las ventajas que ofrecen los microcomputadores actuales.

El programa ofrece dos opciones:

* Trabajar con la nomenclatura vial del Instituto Nacional de Vías (INV), considerando la red a su cargo, para lo cual se dispone de una base de datos con la información promedio respecto a características de vía y tránsito, obtenida de los

registros suministrados por los Administradores de Mantenimiento Vial. Esta información puede ser actualizada por el usuario.

- * Como un sector aislado, independiente de la red del INV.

En ambos casos los cálculos y resultados se presentan de una manera similar.

Instalación del programa

El programa cabe en un disco flexible de alta densidad, debe copiarse al disco duro del computador, mediante la siguiente instrucción:

```
A:\>INSTALA C:
```

y automáticamente se crea el directorio CNS97 con el programa CNS97.

Instrucciones básicas de manejo

Inicio del programa. Si se han seguido las instrucciones de instalación, se da inicio al programa de la siguiente manera

- * Encienda la computadora.
- * Ingrese al directorio CNS97, así: C:\>CD CNS97 y “enter”.
- * Escriba CNS97 y “enter”.

El usuario visualizará una pantalla con la apariencia que se muestra en la figura 7.



Módulos del paquete. El paquete contiene cuatro módulos básicos

- * Red Vial

- * Cálculos
- * Resultados
- * Salir

Cada uno de éstos son las llamadas opciones del menú principal.

La denominada curiosidad intelectual hace necesario profundizar en el contexto de situaciones problemáticas en procura de respuestas que contribuyan a su solución. Es común detectar pelotones de vehículos en las vías de acceso a la ciudad de Tarija a distintas horas del día en diferentes días de la semana. Es por ello que debe realizarse un diagnóstico de la Capacidad de dichas vías, al igual que del Nivel de Servicio que ofrecen al usuario, como elemento de partida que contribuya a estudios posteriores de planeación e intervención de las vías que llegan a la ciudad de Tarija.

Red Vial. Este menú permite la consulta, actualización o creación de registros de carreteras, tal como se muestra en la figura 8, ofrece cinco opciones:

FIGURA 8. Opciones del menú RED_VIAL



- Rutas
- Regionales

- Tramo

- Sectores

- Secciones

Rutas. Permite la consulta de las carreteras cuya función primordial es la integración de índole nacional o regional. Se identifican mediante un código de dos dígitos y la respectiva descripción. Se pueden listar las rutas existentes en la base de datos presionando la tecla F1, y al ubicarse en la deseada teclee “enter”, con lo que aparecerán los datos solicitados.

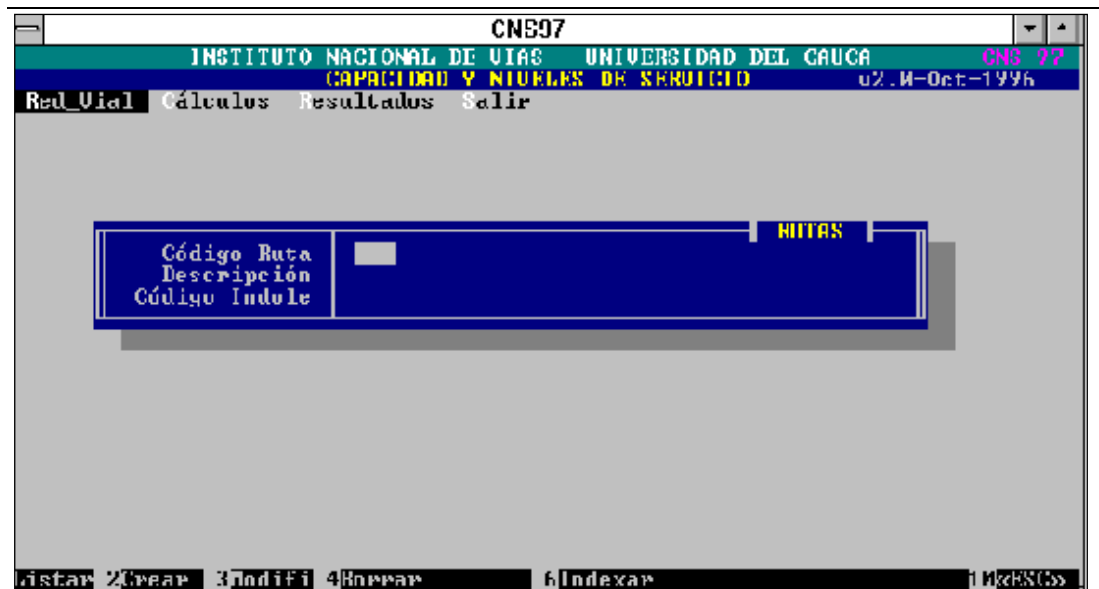
Regionales. Permite la consulta de las dependencias a nivel regional del Instituto Nacional de Vías. Se identifican mediante un número de dos cifras y la respectiva descripción. Se pueden ver las regionales existentes en la base de datos presionando la tecla F1, y al ubicarse en la deseada teclee “enter”, con lo que aparecerán los datos solicitados.

Tramo (o segmento). Corresponde a la información de rutas con longitud no mayor de 150 kilómetros, numeradas en forma continua. Se identifican mediante un código de dos dígitos, la descripción, el código de la ruta, el tipo y las abscisas que comprende. Se pueden listar las carreteras existentes en la base de datos presionando la tecla F1, y al ubicarse en el tramo deseado teclee “enter”, con lo que aparecerán los datos solicitados.

Sectores. Permite la consulta de partes de tramos con características de vía, tránsito y terreno, uniformes. Se identifican mediante un código del tramo dos dígitos, el sector, la descripción, el código de la regional y las abscisas que comprende. Se pueden listar primero el tramo al que pertenece y luego el sector que se requiere, presionando la tecla F1, al ubicarse en el tramo deseado teclee “enter”, con lo que aparecerán los sectores para seleccionar.

Al seleccionar a una de las anteriores cuatro opciones el usuario podrá entrar a definir las bases de configuración de la Red Vial a cargo del Instituto Nacional de Vías, y se encontrará con una pantalla con la apariencia de la pantalla que se muestra en la figura 9.

FIGURA 9. Acceso a las bases de datos de configuración



En la parte inferior de la pantalla que se muestra en la figura 9 se presenta una lista con otras tareas adicionales a realizar:

Las tareas adicionales que se pueden realizar son:

- | | |
|----------------|--|
| F1- Listar | Permite apreciar por pantalla todos los registros de la base solicitada. |
| F2 - Crear | Permite crear un nuevo registro en la base. |
| F3 - Modificar | Permite modificar la información referente a un registro ya creado. |
| F4 - Borrar | Permite eliminar un registro ya creado. |
| F6 - Indexar | Permite indexar la base de datos solicitada. |

F - 10 - Esc Permite regresar al Menú Principal.

Secciones. Corresponde a los trechos de un sector. Se identifican mediante un código y el sector correspondiente. Se pueden listar todas las secciones existentes en la base de datos presionando la tecla F1, para cada sección aparece su descripción, al ubicarse en la deseada teclee “enter” y quedará seleccionada, para ver las características de la sección teclee doble “enter”. Cualquier actualización o corrección de la base de datos se puede realizar en esta pantalla. Presionando la tecla F6 se obtienen las Hojas de Trabajo y con la tecla F8 se aprecian sólo los resultados de capacidad, nivel de servicio y velocidad media. Tal como se aprecia en las figuras 10 y 11.

FIGURA 10 - Información requerida para calcular la capacidad y el nivel de servicio

```

CNS97
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS  UNIVERSIDAD DEL CAUCA  CNS 2
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO  02.10-0ct-1996
Red_Vial  Cálculos  Resultados  Salir

SECCIONES
Código Tramo : 1001  TUMACO-EL DIVISO
Sector : 01  TUMACO - AGUA CLARA  [ 0 - 11000m]
Sección : 01
Absc_Inicial (m) : 0  Longitud(km) : 11  Tipo Terreno (POMI) : P
Ancho Carril (m) : 6.5  Ancho Berma (m) : 1.1  Pendiente (x) : 3.99
Radio Curva más Cerrada (m) : 32.69  Deflexión (º) : 37

Estado Superficie de Rodadura [1..3] : 1  Valor Estado : 3.28
Volumen en Ambos Sentidos (veh/h) : 85
Distribución por Sentidos (% Ascenso) : 50
Zonas de No Rebasa (Z) : 20

Composición Vehicular = Estación de Conteo : 1135
xA : 71  xB : 5  xC : 24

Tipo Sección [C/I/O] : I  Fecha Evaluación [dma] : 27/09/96

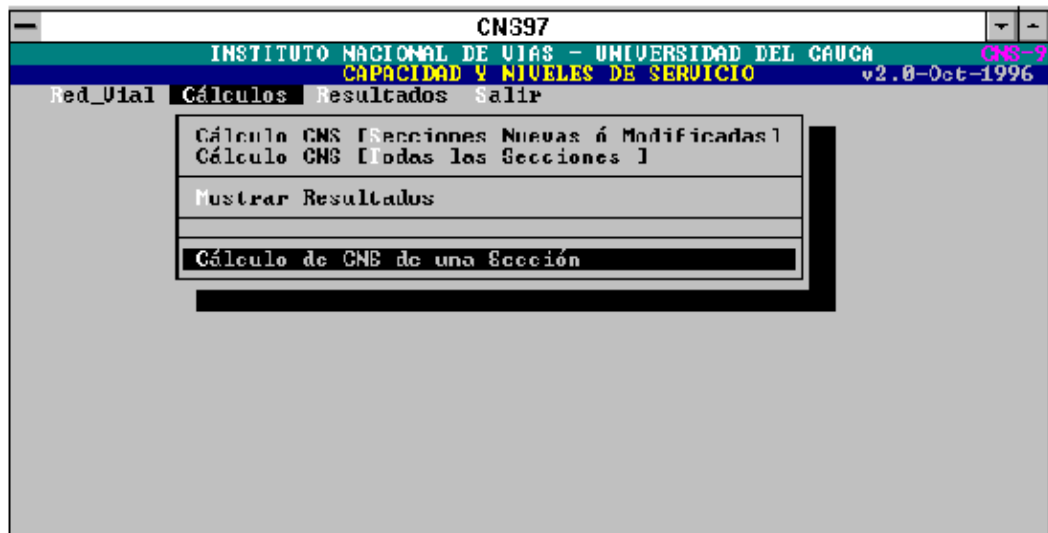
Hoja_Trabajo  CNS  Salir
  
```

FIGURA 11 - Resultados por sector de análisis



Cálculos. Este menú procesa la información bien sea de secciones de la Red Vial Nacional o nuevas, y el usuario dispondrá de una pantalla de trabajo como la que se muestra en la figura 12. Ofrece cuatro opciones:

FIGURA 12 – Opciones del menú de cálculo



- Cálculo CNS (secciones nuevas o modificadas).

- Cálculo CNS (todas la secciones).

- Mostrar resultados.

Cálculo CNS (secciones nuevas o modificadas). Recalcula los parámetros de capacidad y niveles de servicio correspondiente a sectores del INV que hayan sido modificados o creados en la sesión de trabajo.

Cálculo CNS (todas la secciones). Recalcula los parámetros de capacidad y niveles de servicio con la información de los sectores de la red carretera del INV.

Mostrar resultados. Presenta el listado de todas las secciones, con los resultados de capacidad, nivel de servicio, velocidad media y las características de los mismos.

Cálculo de CNS de una sección. Permite calcular los parámetros de capacidad y niveles de servicio para una sección aislada. Esta opción del programa es equivalente a su antecesor el paquete MANOLO. El sector se identifica mediante un código. Se pueden listar todas las secciones en la base de datos presionando la tecla F1, para cada sección aparece su descripción, al ubicarse en la deseada teclee “enter” y quedará seleccionada. Cualquier actualización o corrección de la base de datos se puede realizar en esta pantalla.

De lo contrario se digita un código nuevo y se introducen los datos de la nueva sección que se desea calcular. Presionando la tecla F6 se obtienen la Hojas de Trabajo y con la tecla F8 se aprecian sólo los resultados de capacidad, nivel de servicio y velocidad media.

Al entrar esta opción, se pregunta inicialmente por el código sección, al introducirlo, se solicita la información de entrada requerida para efectuar los cálculos. Lo anterior se efectúa atendiendo una pantalla como la que se muestra en la figura 13.

FIGURA 13. Efectuar cálculos en una sección aislada



Resultados. Este menú permite presentar y organizar los informes finales, bien sea de secciones de la Red Vial Nacional o nuevas, la pantalla de trabajo tiene la apariencia de la mostrada en la figura 14

FIGURA 14. Menú de informes



Ofrece tres opciones:

- Límites para informes.
- Informe resumido.
- Informe detallado.

Para entrar a uno cualquiera de estas opciones, el usuario previamente debe realizar los cálculos correspondientes.

Límites para informes. Hace relación a los parámetros específicos para estructurar el informe. Se identifica mediante un código, luego presionando la tecla “enter” aparece una pantalla que permite configurar los límites para informes, permite crear informes personalizados que contengan la información que desea el usuario. Las selecciones o peticiones que formule el usuario tendrán efecto directo sobre los informes de resultados.

En la figura 15 se presenta la pantalla de trabajo correspondiente a la formulación de las peticiones o límites para preparar los archivos de reporte. La presentación de resultados se puede realizar por pantalla o obtener una impresión del mismo. Además, se origina un archivo de texto, que puede ser leído por un procesador de texto.

FIGURA 15. Formulación de peticiones para informes



Informe resumido.- Permite obtener por pantalla o por impresora la información de las secciones seleccionadas con los parámetros de rastreo asignados para la

preparación del informe o reporte. En la figura 16 se presenta la apariencia de un informe resumido.

FIGURA 16. Modelo informe resumido

```

CNS97
1
UNIVERSIDAD DEL CAUCA ■ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

LISTADO DE SECCIONES

Código Límites : 0001
.....
Tramo-Sector-Scc      Nombre                Longitud  ***** CAPACIDAD - NS *****
                    (km)             C60      C5      Qc60      Qc5  NS13  Vel
.....
1001      02 01 AGUA CLARA - ESPRIELLA      29.0    2726   2634   0.03   0.03   C    69
1001      03 01 ESPRIELLA - LA GUAYACA     30.0    2636   2536   0.03   0.03   C    70
2103      04 01 Peaje Loricá                17.0    2678   2581   0.08   0.08   C    65
2504      08 01 C. DE PANDE-CALI            2.0     3010   2919   0.00   0.00   C    72
2505      05 01 CERRITO-GUACARI             13.0    2671   2574   0.27   0.28   C    62
2506      04 01 LA PAILA-ZARZAL             7.0     2630   2528   0.26   0.27   C    67
2506      05 01 ZARZAL-LA VICTORIA          17.0    2982   2893   0.00   0.00   C    71
2510      05 01 T. GIRAROTA - T. HATI        8.5     2471   2357   0.30   0.32   C    62
25C102    01 01 T BALBOA - LA VIRGINIA        4.0     2650   2550   0.12   0.13   C    63
25RSA     01 01 PASO POR LA VIRGINIA          6.7     2997   2908   0.00   0.00   C    71
3607      01 01 GRANADA-LA LUNA (Fuent        17.0    2472   2357   0.03   0.03   C    64
3609      01 01 CRUCE PUERTO RICO-PUER       34.0    2759   2671   0.00   0.00   C    69
4004      04 01 CHICORAL - CRUCE RUTA         9.0     2571   2464   0.31   0.32   C    69

```

Informe detallado. Permite obtener por pantalla o por impresora las Hojas de Trabajo para las secciones seleccionadas con los parámetros de rastreo asignados para la preparación del informe o reporte. En la figura 17 se presenta un modelo del informe detallado.

FIGURA 17. Modelo de informe detallado de lo que se muestra en la figura 18.

FIGURA 18. Menú salir al D.O.S

```

1
UNIVERSIDAD DEL CAUCA ■ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

HOJA DE CALCULO SECCION

DATOS INICIALES

Tramo : 1001      Sector : 02      Sección : 01
Nombre : AGUA CLARA - ESPRIELLA

Abscisa Inicial (m) : 11,000.0  Longitud (km) : 29.0
Ancho de Carril (m) : 3.5      Ancho de Berma (m) : 1.1
Tipo de Terreno : P (PLANO )  Pendiente (‰) : 0.07
Radio Curva mas Cerrada (m) : 44.2  Deflexión (°) : 27

Estado Superficie de Rodadura : IRI (m/km) = 3.41

Volumen en Ambos Sentidos (Veh/h) : 85.0
Distribución (%Ascenso) : 50.0
Zonas de No Rebase (‰) : 20.0

Composición Vehicular ≡ Estación de Conteo : 1135
                        %A : 71  %B : 5  %C : 24

```

Salir. Esta opción retorna el control al sistema operativo, para activarla sólo se necesita ubicarse en SALIR DOS y teclear “enter”. La opción de Salir se realiza en un pantalla con la apariencia



3.3.1.1 Capacidad Vial según el Manual del INVIAS

Para determinar la capacidad de una vía, se parte de una capacidad ideal de la misma (3200 automóviles por hora en ambos sentidos), la cual se ve reducida al ser multiplicada por varios factores de corrección que representan la medida aproximada en que la vía real se aleja de las condiciones ideales. El producto de multiplicar la capacidad ideal de la vía por los diferentes factores de corrección representa la

capacidad para las condiciones específicas de la vía en vehículos de todas las clases por hora.

$C_i = 3200$ automóviles/hora/ambos sentidos

$C_{60} = 3200 * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$

Donde:

C_{60} = Capacidad en vehículos mixtos por hora sin considerar variaciones aleatorias

F_{pe} = Factor de corrección a la capacidad por pendiente (Tabla 1)

F_d = Factor de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Tabla 2)

F_{cb} = Factor de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Tabla 3)

F_p = Factor de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Tabla 4)

Debido a que las condiciones de demanda no son uniformes, sino que existen variaciones aleatorias que generan situaciones indeseables en el flujo vehicular, se ha optado por reducir la capacidad mediante un factor de hora pico (FHP) que considera dichas variaciones aleatorias en un periodo de cinco minutos, de modo que se tiene:

$C_5 = C_{60} * FHP$

Donde:

C_5 = Capacidad en vehículos mixtos por hora considerando variaciones aleatorias.

A continuación se relacionan las tablas correspondientes a los diferentes factores de corrección.

Tabla 1. Factores de corrección a la capacidad por pendiente (Fpe)*

PEND. ASC. %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
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	0.90	0.90	0.90	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	0.83	0.84
9	0.94	0.89	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
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	0.90	0.81	0.76	0.73	0.72	0.71	0.70	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

*Inferidos de datos de campo colombianos

Tabla 2. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Fd)*

DISTRIBUCIÓN POR SENTIDOS A/D	PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE					
	0	20	40	60	80	100
50/50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
60/40	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.83
70/30	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.71
80/20	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63
90/10	0.69	0.66	0.64	0.61	0.58	0.56
100/100	0.64	0.61	0.58	0.56	0.53	0.50

* Tomados de un trabajo de grado de Arciniegas y Sepúlveda 1

1 *ARCINIEGAS RUEDA, Ismael Enrique y SEPÚLVEDA SÁNCHEZ, Daniel. Estudio sobre el efecto de la distribución por sentidos en la capacidad para carreteras de dos carriles. Santafé de Bogotá. 1994, 300 p : il. Trabajo de grado (ingeniero civil) Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería*

Tabla 3. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Fcb)*

ANCHO UTILIZABLE DE LA BERMA EN METROS	ANCHO DE CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.99	0.98	0.96	0.92
1.50	0.99	0.99	0.98	0.95	0.91
1.20	0.99	0.98	0.97	0.95	0.91
1.00	0.99	0.98	0.97	0.94	0.90
0.50	0.98	0.97	0.96	0.93	0.89
0.00	0.97	0.96	0.95	0.92	0.88

* Tomados del HCM2 y transformados en factores de capacidad

Tabla 4. Factores de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp)*

PENDIENTE ASCENDENTE EN PORCIENTO	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS PESADOS					
		10	20	30	40	50	
0	TODAS	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
1	0.5	0.95	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78
	1.0	0.94	0.89	0.86	0.83	0.80	0.77
	1.5	0.93	0.88	0.85	0.82	0.80	0.77
	2.0	0.92	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76
	3.0	0.91	0.87	0.84	0.82	0.79	0.76
	4.0	0.91	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75
	≥5.0	0.90	0.87	0.83	0.81	0.78	0.75
2	0.5	0.94	0.90	0.85	0.83	0.80	0.77
	1.0	0.93	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76
	1.5	0.92	0.88	0.84	0.81	0.79	0.76
	2.0	0.90	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75
	3.0	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73
	4.0	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.72
	≥5.0	0.86	0.83	0.80	0.77	0.74	0.72
3	0,5	0.94	0.89	0.84	0.81	0.78	0.75
	1.0	0.92	0.87	0.83	0.80	0.77	0.75
	1.5	0.89	0.85	0.81	0.78	0.75	0.73
	2.0	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	3.0	0.86	0.82	0.79	0.76	0.73	0.70
	4.0	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.70
	≥5.0	0.84	0.80	0.78	0.75	0.72	0.69

4	0.5	0.93	0.88	0.83	0.80	0.76	0.74
	1.0	0.89	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71
	1.5	0.84	0.81	0.77	0.74	0.72	0.69
	2.0	0.83	0.79	0.76	0.73	0.70	0.68
	3.0	0.82	0.78	0.75	0.71	0.68	0.66
	4.0	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68	0.65
	≥5.0	0.80	0.77	0.73	0.70	0.67	0.64
5	0.5	0.92	0.86	0.82	0.78	0.75	0.73
	1.0	0.85	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69
	1.5	0.82	0.78	0.75	0.71	0.69	0.65
	2.0	0.80	0.77	0.73	0.70	0.67	0.63
	3.0	0.79	0.75	0.72	0.69	0.66	0.63
	4.0	0.78	0.74	0.71	0.68	0.65	0.62
	≥5.0	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64	0.62
6	0.5	0.90	0.84	0.79	0.76	0.73	0.70
	1.0	0.81	0.77	0.73	0.70	0.67	0.65
	1.5	0.79	0.75	0.71	0.68	0.65	0.63
	2.0	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64	0.62
	3.0	0.76	0.72	0.69	0.66	0.63	0.61
	4.0	0.75	0.72	0.68	0.65	0.63	0.60
	≥5.0	0.75	0.71	0.67	0.64	0.62	0.59

7	0.5	0.89	0.82	0.78	0.74	0.71	0.68
	1.0	0.78	0.74	0.71	0.67	0.64	0.61
	1.5	0.76	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59
	2.0	0.74	0.70	0.67	0.63	0.60	0.57
	3.0	0.72	0.68	0.67	0.61	0.58	0.56
	4.0	0.71	0.67	0.64	0.60	0.57	0.55
	≥5.0	0.71	0.67	0.63	0.60	0.57	0.54
8	0.5	0.87	0.81	0.76	0.73	0.70	0.67
	1.0	0.76	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59
	1.5	0.73	0.69	0.65	0.62	0.59	0.56
	2.0	0.71	0.67	0.63	0.60	0.57	0.53
	3.0	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.53
	4.0	0.68	0.64	0.60	0.57	0.54	0.52
	≥5.0	0.67	0.63	0.60	0.56	0.53	0.51
9	0.5	0.86	0.79	0.74	0.71	0.68	0.65
	1.0	0.74	0.70	0.67	0.64	0.60	0.58
	1.5	0.71	0.67	0.64	0.60	0.57	0.55
	2.0	0.70	0.66	0.62	0.59	0.56	0.53
	3.0	0.68	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51
	4.0	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50
	≥5.0	0.66	0.62	0.58	0.55	0.52	0.50

10	0.5	0.83	0.76	0.72	0.68	0.65	0.59
	1.0	0.70	0.66	0.62	0.59	0.56	0.52
	1.5	0.68	0.64	0.61	0.58	0.55	0.50
	2.0	0.66	0.62	0.58	0.55	0.52	0.48
	3.0	0.65	0.61	0.57	0.54	0.51	0.47
	4.0	0.64	0.60	0.56	0.53	0.50	0.46
	≥ 5.0	0.63	0.59	0.55	0.52	0.49	0.45
11	0.5	0.79	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59
	1.0	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.52
	1.5	0.66	0.62	0.58	0.55	0.52	0.50
	2.0	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51	0.48
	3.0	0.63	0.59	0.55	0.52	0.49	0.47
	4.0	0.62	0.58	0.54	0.51	0.48	0.46
	≥ 5.0	0.61	0.57	0.53	0.50	0.47	0.45
12	0.5	0.77	0.69	0.65	0.62	0.59	0.56
	1.0	0.66	0.62	0.59	0.55	0.52	0.50
	1.5	0.64	0.60	0.56	0.53	0.50	0.48
	2.0	0.62	0.58	0.55	0.52	0.49	0.46
	3.0	0.61	0.57	0.53	0.50	0.48	0.45
	4.0	0.60	0.56	0.53	0.49	0.47	0.44
	≥ 5.0	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43

*Tomada del trabajo de investigación de Herrera 3

Tabla 5. Factores de pico horario basado 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)	FACTOR DE PICO HORARIO
100	0.68	1600	0.90
200	0.70	1800	0.92
300	0.72	2000	0.93
400	0.74	2200	0.95
600	0.78	2400	0.95

*Calculados usando las distribuciones de poisson y binomial y calibrados por la Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia (UTPC) - Tunja.

3 *HERRERA, Juan Carlos. Determinación de factores de equivalencia vehicular para carreteras de dos carriles en Colombia. Popayán: 1991. II: Tesis (Magíster en Ingeniería de Tránsito y Transporte). Universidad del Cauca. Instituto de Vías, p.82.*

3.3.1.2 Nivel de Servicio según el INVIAS

Se han definido seis niveles para Colombia que van desde el A al F, así (INVIAS 1996):

NIVEL DE SERVICIO A

Es aquél que por sus condiciones de circulación son de flujo libre, bajos volúmenes y altas velocidades hay poco o nada de limitación de maniobras por la presencia de otro vehículo, existiendo pocos o nulos retardos.

NIVEL DE SERVICIO B

Es aquél cuyas condiciones de circulación tiene un flujo estable en las que las velocidades empiezan a ser restringidas pero con cierta libertad para definir su

velocidad y su carril. Al existir un mayor volumen se hacen algo más restringidas las maniobras de los vehículos.

NIVEL DE SERVICIO C

Corresponde a las condiciones de circulación aun en un flujo estable pero con velocidades en maniobras que resultan más controladas por los mayores volúmenes, ya no existe libertad para elegir la velocidad, cambiar carriles o realizar acciones de rebase. Sin embargo se considera todavía en condiciones apropiadas de circulación y por ello se ha establecido que este nivel de servicio es el más adecuado y equilibrado para fines de diseño.

NIVEL DE SERVICIO D

Las condiciones de circulación se acercan a un flujo inestable, con velocidades de circulación bajas, las fluctuaciones de volúmenes son mayores y por tanto las restricciones de maniobras muy frecuentes.

NIVEL DE SERVICIO E

Las condiciones de tráfico prácticamente son inestables las velocidades de operación son bajas, los volúmenes ya están cerca de la capacidad de la carretera y calle y pueden existir demoras o paradas de duración pequeña.

NIVEL DE SERVICIO F

En este nivel las condiciones de circulación son de flujo forzado, velocidades bajas, detenciones frecuentes y mayores lapsos de tiempo considerándose a este nivel prácticamente de tráfico congestionado.

Para determinar el Nivel de Servicio de una vía de dos carriles con dos sentidos de circulación, se ha seleccionado como indicador de efectividad la velocidad media de recorrido de los vehículos que integran la corriente vehicular, comprendiendo tanto vehículos ligeros como pesados.

Para calcular el Nivel de Servicio se parte de una velocidad para condiciones casi ideales (excepto por pendiente), la cual se va multiplicando sucesivamente por factores de corrección hasta llegar a una velocidad representativa de las condiciones estudiadas.

La velocidad ideal de automóviles a flujo libre V_i se toma de la Tabla 6 (con los valores de inclinación de la pendiente ascendente y su longitud), obteniendo la velocidad media de automóviles en condiciones ideales excepto por pendiente.

El primer valor de factor de corrección corresponde al factor de utilización “ F_u ”, el cual se toma de la Tabla 7, conociendo la relación entre el volumen total en ambos sentidos y la capacidad ($Q/C60$).

Así, la velocidad a flujo restringido V_1 es el producto de la velocidad ideal de automóviles a flujo libre V_i por el factor de utilización F_u .

$$V_1 = V_i * F_u$$

Con el valor de la velocidad V_1 y el parámetro de estado de superficie de rodadura seleccionado, se determina el factor de corrección por el estado de la superficie de rodadura “ F_{sr} ” de la Tabla 8.

Existen tres criterios para evaluar el estado de la superficie de rodadura a saber:

El valor del IRI (Índice de Rugosidad Internacional).

El porcentaje de área afectada.

El Nivel Funcional.

Para efectos del presente documento, se ha considerado el porcentaje de área afectada.

Determinar igualmente el factor de corrección por ancho de carril y berma “ F_{cb} ” de la Tabla 9 con base en los datos del ancho utilizable de carril y de berma.

Al multiplicar la velocidad V_1 por los factores F_{sr} y F_{cb} simultáneamente, se obtiene la velocidad de automóviles a flujo restringido para las condiciones que se estudian y en tangente V_2 .

$$V_2 = V_1 * F_{sr} * F_{cb}$$

Luego se halla el factor de corrección por la presencia de vehículos pesados F_p , para lo cual debe hallarse primero el factor F_{p1} de la Tabla 10, con los datos de la longitud y la inclinación de la pendiente, así como con la velocidad V_2 . Debe tomarse igualmente el factor F_{p2} de la Tabla 11 conociendo el porcentaje total de vehículos pesados y el volumen total en ambos sentidos (Q).

Al multiplicar los factores F_{p1} y F_{p2} entre sí, se obtiene el factor F_p , de ser mayor a la unidad dicho producto, el valor de F_p se hace igual a uno.

Multiplicando la velocidad V_2 por el factor F_p , se obtiene la velocidad del tránsito mixto a flujo restringido, para las condiciones estudiadas y en tangente V_3 .

$$V_3 = V_2 * F_p$$

Conociendo el radio de curvatura de la curva más cerrada, se obtiene de la Tabla 12 la velocidad máxima permitida por la curva más cerrada en el sector en estudio V_c .

Se deben comparar los valores de V_3 y de V_c . Si V_c resulta ser menor que V_3 se debe entonces calcular la velocidad media de recorrido V con la Hoja de Trabajo número 2 que se presenta adelante. Si V_c resulta ser mayor o igual que V_3 , se toma el valor de V_3 como V .

La velocidad V representa la velocidad media del tránsito mixto a flujo restringido para las condiciones estudiadas, en todo el sector de análisis.

Con el valor de la velocidad media V se entra a la Tabla 13 y se determina el Nivel de Servicio.

A continuación se incluyen las tablas y las hojas de trabajo requeridas para calcular el Nivel de Servicio. La hoja de trabajo número 1 contiene además, lo pertinente al cálculo de la Capacidad.

Tabla 6. Velocidad media ideal de automóviles a flujo libre en pendientes ascendentes (V_i)*

PEND. A SC. %	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)											
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
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	85	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

* Valores inferiores de datos de campo colombianos

Tabla 7. 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
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	0.50

* Inferidos de la relación volumen/velocidad determinada con datos de campo colombiano

Tabla 8. Factores de corrección al nivel de servicio por el estado de la superficie de la rodadura (fsr)*

VELOCIDAD (km/h) V1	IRI > 6 mm/m	IRI 4 a 6 mm/m	IRI 2 a 4 mm/m
	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA	ÁREA AFECTADA
	Mayor del 30 %	Del 15 al 30 %	Menor del 15 %
	Nivel Funcional 2	Nivel Funcional 3	Nivel Funcional 4 ó 5
20	1.00	1.00	1.00
30	0.99	0.99	1.00
40	0.97	0.98	1.00
50	0.93	0.95	1.00
60	0.88	0.92	0.98
70	0.81	0.87	0.97
80	0.73	0.82	0.96
90	0.63	0.75	0.94

*** Valores inferidos de datos de campo colombiano**

Tabla 9. Factores de corrección al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril y berma (fcb)*

ANCHO UTILIZABLE DE LA BERMA (M)	ANCHO CARRIL (m)				
	3.65	3.50	3.30	3.00	2.70
1.80	1.00	0.97	0.93	0.85	0.73
1.50	0.98	0.95	0.91	0.83	0.71
1.20	0.96	0.93	0.89	0.81	0.70
1.00	0.95	0.92	0.88	0.80	0.69
0.50	0.91	0.88	0.84	0.76	0.66
0.00	0.88	0.85	0.81	0.73	0.63

* Interpolados de los valores del HCM 4

Nota. Se han realizado mediciones de velocidades altas en ancho de carril superiores a 3.65 , ó bermas incorporadas a la calzada superiores a 1.80 m y con pavimento en buen estado.

Tabla 10. Factores de corrección al nivel de servicio por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Fp1)*

PENDIENTE ASCENDENTE EN POR CIENTO	LONGITUD DE LA PENDIENTE (km)	VELOCIDAD MEDIA DE LOS AUTOMÓVILES EN km/h, (V2)					
		≥90	80	70	60	50	≤40
0	TODAS	0.85	0.88	0.92	0.97	1.00	1.00
1	0.5	0.84	0.88	0.91	0.96	1.00	1.00
	1.0	0.80	0.84	0.89	0.95	1.00	1.00
	1.5	0.76	0.82	0.88	0.95	1.00	1.00
	2.0	0.75	0.82	0.88	0.95	1.00	1.00
	2.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
	3.0	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
	≥3.5	0.75	0.81	0.88	0.95	1.00	1.00
2	0.5	x	0.00	0.91	0.95	1.00	1.00
	1.0	x	0.87	0.87	0.93	1.00	1.00
	1.5	x	0.82	0.85	0.92	0.99	1.00
	2.0	x	0.79	0.84	0.92	0.98	1.00
	2.5	x	0.79	0.84	0.92	0.98	1.00
	3.0	x	0.78	0.84	0.92	0.98	1.00
	≥3.5	x	0.77	0.84	0.92	0.98	1.00
3	0.5	x	0.84	0.88	0.92	0.98	1.00
	1.0	x	0.79	0.84	0.89	0.97	1.00
	1.5	x	0.75	0.80	0.87	0.95	1.00
	2.0	x	0.74	0.80	0.87	0.95	1.00
	2.5	x	0.73	0.79	0.87	0.95	1.00
	≥3.5	x	0.73	0.79	0.86	0.95	1.00
4	0.5	x	0.82	0.86	0.91	0.97	1.00
	1.0	x	0.77	0.81	0.87	0.95	1.00
	1.5	x	0.72	0.77	0.84	0.92	1.00
	2.0	x	0.72	0.77	0.83	0.92	1.00
	2.5	x	0.71	0.76	0.83	0.91	1.00
	3.0	x	0.71	0.75	0.82	0.91	1.00
	≥3.5	x	0.70	0.74	0.82	0.91	1.00

3.3.2 Programa HCM 2000

El HCM 2000 nos presenta un modelo computacional para el cálculo del nivel de servicio en 4 pasos.

Paso 1

Introducir con los datos generales de la carretera.

- Ancho de carril
- Ancho de la berma
- Longitud del sector
- Volumen horario total ambos sentidos (Q)
- Distribución por sentidos
- Porcentaje de zonas de no rebase
- Composición vehicular
- Porcentaje automóviles
- Porcentaje buses y camiones
- Puntos de acceso por kilometro
- PHF Factor de hora pico (0,88 para áreas rurales y 0,92 para áreas urbanas)
En nuestro estudio se utilizará un valor de 0,90 por tratarse de una zona sub-rural.

Paso 2

Calcular la velocidad promedio de viaje.

Paso 2.1 Determinar la tasa de demanda de flujo.

Tasa de flujo inicial= V/PHF

2.1.1 Determinar fG (Factor de ajuste por pendiente)

EXHIBIT 20-7. GRADE ADJUSTMENT FACTOR (f_G) TO DETERMINE SPEEDS ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0-600	0-300	1.00	0.71
> 600-1200	> 300-600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

Tabla 20-7. Factor de ajuste por pendiente f_G para determinar velocidad en vías de dos carriles y segmentos direccionales

2.1.2 Determinar fHV (Factor de ajuste por vehículos pesados).

$$fHV = 1/(1+PT(ET - 1)+PR(ER - 1))$$

Donde:

PT = Proporción de camiones en la corriente de tránsito, expresada como un decimal.

PR = Proporción de vehículos recreativos en la corriente de tránsito, expresada como un decimal.

ET y ER los sacamos de la tabla 20.9

EXHIBIT 20-9. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND RVs TO DETERMINE SPEEDS ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Vehicle Type	Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
			Level	Rolling
Trucks, E_T	0-600	0-300	1.7	2.5
	> 600-1,200	> 300-600	1.2	1.9
	> 1,200	> 600	1.1	1.5
RVs, E_R	0-600	0-300	1.0	1.1
	> 600-1,200	> 300-600	1.0	1.1
	> 1,200	> 600	1.0	1.1

Tabla 20-9. Equivalentes de carros de pasajeros para camiones y vehículos recreativos para determinar velocidad en vías de dos carriles

2.1.3 Debe calcularse la tasa de demanda de flujo en la dirección analizada, utilizando la siguiente ecuación:

$$vd = V / PHF * fG * fHV$$

Donde:

vd = Tasa de flujo de carros de pasajeros equivalentes en la dirección analizada (pc/hr)

V = Volumen de demanda para la mayor hora pico en la dirección analizada (veh/hr).

fG = Factor de ajuste por pendiente.

fHV = Factor de ajuste por vehículos pesados.

Paso 2.2 Verificar la capacidad

Tasa de demanda de flujo total menor a 3200 pc/hr (capacidad)

Tasa de demanda de flujo en un carril menor a 1700 pc/hr (capacidad)

Paso 2.3 Calcular la velocidad promedio de viaje

- Velocidad libre de circulación FFS (tomaremos el valor de la velocidad media de los aforos)
- Velocidad promedio de viaje ATS

$$ATSd = FFS - 0,0125(vd) - fnp$$

Donde:

ATSd = Velocidad promedio de viaje en la dirección de análisis (km/hr)

FFSd = Velocidad a flujo libre en la dirección de análisis (km/hr)

vd = Tasa de flujo en autos de pasajeros equivalentes para el pico de 15 minutos en la dirección de análisis (pc/h, por su sigla en inglés)

fnp = Ajuste debido al porcentaje de zonas de no rebase en la dirección de análisis. Ver Tabla 20-19.

EXHIBIT 20-19. ADJUSTMENT (f_{np}) TO AVERAGE TRAVEL SPEED FOR PERCENTAGE OF NO-PASSING ZONES IN DIRECTIONAL SEGMENTS

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	No-Passing Zones (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS = 110 km/h					
≤ 100	1.7	3.5	4.5	4.8	5.0
200	3.5	5.3	6.2	6.5	6.8
400	2.6	3.7	4.4	4.5	4.7
600	2.2	2.4	2.8	3.1	3.3
800	1.1	1.6	2.0	2.2	2.4
1000	1.0	1.3	1.7	1.8	1.9
1200	0.9	1.3	1.5	1.6	1.7
1400	0.9	1.2	1.4	1.4	1.5
≥ 1600	0.9	1.1	1.2	1.2	1.3
FFS = 100 km/h					
≤ 100	1.2	2.7	4.0	4.5	4.7
200	3.0	4.6	5.9	6.4	6.7
400	2.3	3.3	4.1	4.4	4.6
600	1.8	2.1	2.6	3.0	3.2
800	0.9	1.4	1.8	2.1	2.3
1000	0.9	1.1	1.5	1.7	1.9
1200	0.8	1.1	1.4	1.5	1.7
1400	0.8	1.0	1.3	1.3	1.4
≥ 1600	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2
FFS = 90 km/h					
≤ 100	0.8	1.9	3.6	4.2	4.4
200	2.4	3.9	5.6	6.3	6.6
400	2.1	3.0	3.8	4.3	4.5
600	1.4	1.8	2.5	2.9	3.1
800	0.8	1.1	1.7	2.0	2.2
1000	0.8	0.9	1.3	1.5	1.8
1200	0.8	0.9	1.2	1.4	1.6
1400	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4
≥ 1600	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1
FFS = 80 km/h					
≤ 100	0.3	1.1	3.1	3.9	4.1
200	1.9	3.2	5.3	6.2	6.5
400	1.8	2.6	3.5	4.2	4.4
600	1.0	1.5	2.3	2.8	3.0
800	0.6	0.9	1.5	1.9	2.1
1000	0.6	0.7	1.1	1.4	1.8
1200	0.6	0.7	1.1	1.3	1.6
1400	0.6	0.7	1.0	1.1	1.3
≥ 1600	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0
FFS = 70 km/h					
≤ 100	0.1	0.6	2.7	3.6	3.8
200	1.5	2.6	5.0	6.1	6.4
400	1.5	0.8	3.2	4.1	4.3
600	0.7	0.5	2.1	2.7	2.9
800	0.5	0.5	1.3	1.8	2.0
1000	0.5	0.5	1.0	1.3	1.8
1200	0.5	0.5	1.0	1.2	1.6
1400	0.5	0.5	1.0	1.0	1.2
≥ 1600	0.5	0.5	0.7	0.7	0.9

Paso 3**Calcular el porcentaje de tiempo de retraso.****Paso 3.1** Determinar la tasa de demanda de flujo.

- Tasa de flujo inicial= V/PHF
Determinar f_G (Factor de ajuste por pendiente)

EXHIBIT 20-8. GRADE ADJUSTMENT FACTOR (f_G) TO DETERMINE PERCENT TIME-SPENT-FOLLOWING ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0-600	0-300	1.00	0.77
> 600-1200	> 300-600	1.00	0.94
> 1200	> 600	1.00	1.00

Tabla 20-8. Factor de ajuste por pendiente f_G para determinar el porcentaje de tiempo de retraso en vías de dos carriles y segmentos direccionales

Determinar f_{HV} (Factor de ajuste por vehículos pesados).

$$f_{HV} = 1/(1+PT(ET - 1)+PR(ER - 1))$$

Donde:

PT = Proporción de camiones en la corriente de tránsito, expresada como un decimal.

PR = Proporción de vehículos recreativos en la corriente de tránsito, expresada como un decimal.

ET y ER los sacamos de la tabla 20.10

Vehicle Type	Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
			Level	Rolling
Trucks, E_T	0-600	0-300	1.1	1.8
	> 600-1,200	> 300-600	1.1	1.5
	> 1,200	> 600	1.0	1.0
RVs, E_R	0-600	0-300	1.0	1.0
	> 600-1,200	> 300-600	1.0	1.0
	> 1,200	> 600	1.0	1.0

Tabla 20-10. Equivalentes de carros de pasajeros para camiones y vehículos recreativos para determinar el porcentaje de tiempo de retraso en vías de dos carriles y segmentos direccionales

Debe calcularse la tasa de demanda de flujo en la dirección analizada, utilizando la siguiente ecuación:

$$vd = V / PHF * fG * fHV$$

Donde:

vd = Tasa de flujo de carros de pasajeros equivalentes en la dirección analizada (pc/hr)

V = Volumen de demanda para la mayor hora pico en la dirección analizada (veh/hr).

fG = Factor de ajuste por pendiente.

fHV = Factor de ajuste por vehículos pesados.

Paso 3.2 Verificar la capacidad

Tasa de demanda de flujo total (vd) menor a 3200 pc/hr (capacidad)

Tasa de demanda de flujo en un carril menor a 1700 pc/hr (capacidad)

Paso 3.3 Calcular porcentaje de tiempo de retraso

El porcentaje de tiempo de retraso para las condiciones de base bajo el volumen de tránsito actual en la dirección analizada, puede estimarse con la expresión:

$$\text{BPTSF} = 100(1 - e^{-0.000879vd})$$

- Calcular el tiempo de retraso PTSF

$$\text{PTSFd} = \text{BPTSFd} + \text{fnp}$$

Donde:

PTSFd = Porcentaje de tiempo de retraso en la dirección analizada

BPTSFd = Porcentaje de tiempo de retraso de base en la dirección analizada.

fnp = Ajuste debido al porcentaje de zonas de no rebase en la dirección de análisis. Ver Tabla 20-20.

EXHIBIT 20-20. ADJUSTMENT (f_{np}) TO PERCENT TIME-SPENT-FOLLOWING FOR PERCENTAGE OF NO-PASSING ZONES IN DIRECTIONAL SEGMENTS

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	No-Passing Zones (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS = 110 km/h					
≤ 100	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
200	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
400	9.0	12.3	14.1	14.4	15.4
600	5.3	7.7	9.2	9.7	10.4
800	3.0	4.6	5.7	6.2	6.7
1000	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
1200	1.3	2.0	2.6	2.9	3.1
1400	0.9	1.4	1.7	1.9	2.1
≥ 1600	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
FFS = 100 km/h					
≤ 100	8.4	14.9	20.9	22.8	26.6
200	11.5	18.2	24.1	26.2	29.7
400	8.6	12.1	14.8	15.9	18.1
600	5.1	7.5	9.6	10.6	12.1
800	2.8	4.5	5.9	6.7	7.7
1000	1.6	2.8	3.7	4.3	4.9
1200	1.2	1.9	2.6	3.0	3.4
1400	0.8	1.3	1.7	2.0	2.3
≥ 1600	0.6	0.9	1.1	1.2	1.5
FFS = 90 km/h					
≤ 100	6.7	12.7	21.7	24.5	31.3
200	10.5	17.5	25.4	28.6	34.7
400	8.3	11.8	15.5	17.5	20.7
600	4.9	7.3	10.0	11.5	13.9
800	2.7	4.3	6.1	7.2	8.8
1000	1.5	2.7	3.8	4.5	5.4
1200	1.0	1.8	2.6	3.1	3.8
1400	0.7	1.2	1.7	2.0	2.4
≥ 1600	0.6	0.9	1.2	1.3	1.5
FFS = 80 km/h					
≤ 100	5.0	10.4	22.4	26.3	36.1
200	9.6	16.7	26.8	31.0	39.6
400	7.9	11.6	16.2	19.0	23.4
600	4.7	7.1	10.4	12.4	15.6
800	2.5	4.2	6.3	7.7	9.8
1000	1.3	2.6	3.8	4.7	5.9
1200	0.9	1.7	2.6	3.2	4.1
1400	0.6	1.1	1.7	2.1	2.6
≥ 1600	0.5	0.9	1.2	1.3	1.6
FFS = 70 km/h					
≤ 100	3.7	8.5	23.2	28.2	41.6
200	8.7	16.0	28.2	33.6	45.2
400	7.5	11.4	16.9	20.7	26.4
600	4.5	6.9	10.8	13.4	17.6
800	2.3	4.1	6.5	8.2	11.0
1000	1.2	2.5	3.8	4.9	6.4
1200	0.8	1.6	2.6	3.3	4.5
1400	0.5	1.0	1.7	2.2	2.8
≥ 1600	0.4	0.9	1.2	1.3	1.7

Paso 4

Determinar el Nivel de Servicio. (TABLA 20.3)

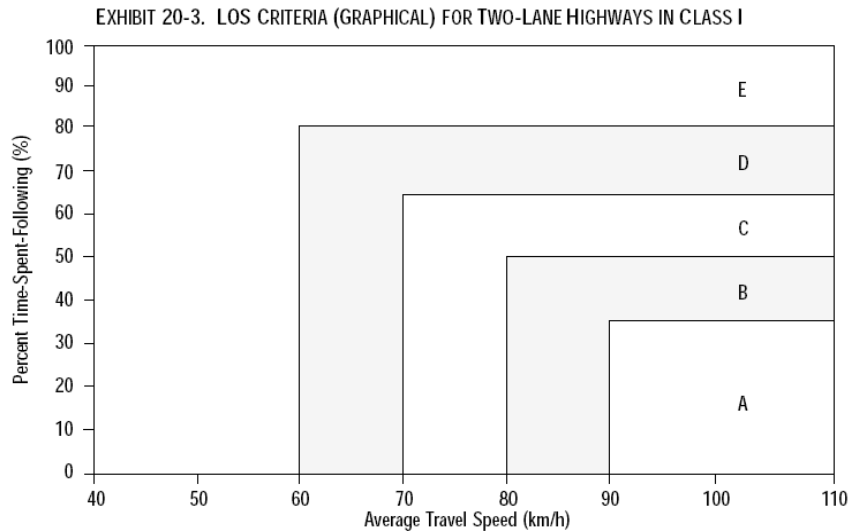


Tabla 20-3. Criterio gráfico para Niveles de Servicio para carreteras de dos Carriles – Clase I

3.3.2.1 Capacidad y Nivel de Servicio según el HCM 2000

El Manual de capacidad de carreteras americano considera una capacidad de base (3200 veh/hr) para una vía de dos carriles en ambos sentidos de circulación del tránsito. Sin embargo, esta capacidad o “Tasa de flujo” se ve afectada principalmente por tres factores, como son la composición del tránsito, referida a la presencia de vehículos pesados, el tipo de terreno (referido al porcentaje de la pendiente), y un factor de hora pico que considera los mayores volúmenes que se pueden presentar dentro de la hora de mayor tránsito, muy similar a lo expuesto en la metodología INVIAS.

Segmentos direccionales

Una gran parte de la metodología está diseñada para obtener datos en la totalidad de las vías (en ambos sentidos), lo cual debido al alcance de este trabajo no es indispensable. El apartado denominado “Segmentos Direccionales” considera apenas las medidas de Capacidad y Nivel de Servicio para una dirección de viaje a la vez, aunque resulta imprescindible considerar en el proceso el volumen de tránsito del carril opuesto que limita las oportunidades de adelantamiento, principalmente.

Dentro del análisis de segmentos direccionales se incluye todo lo referente a carreteras con pendientes en terreno plano (hasta del 2%), en terreno ondulado (hasta del 3%) o montañosas, cuyas pendientes son superiores al 3%, bien sea en ascenso (upgrade) o en descenso (downgrade), cuyo tratamiento aparece de manera muy específica y detallada.

Por otra parte, las carreteras de dos carriles se clasifican en dos tipos (HCM 2000):

Carretera clase I: Es aquella en la que los motoristas esperan viajar a relativas altas velocidades, por ello, el tiempo perdido por espera en un pelotón es importante para determinar el Nivel de Servicio de esta clase de carreteras.

Carretera clase II: Es aquella en la cual los motoristas no necesariamente esperan viajar a altas velocidades, por ejemplo, en parajes de gran belleza paisajística natural. En estas carreteras, no importa mucho el tiempo utilizado para el recorrido, por lo que no es un criterio que se tenga en cuenta para determinar su Nivel de Servicio.

En este documento en particular, se consideran todas las vías de dos carriles, como carreteras clase I, y por tanto, los criterios para determinar el Nivel de Servicio de las mismas, son la velocidad promedio de viaje y el porcentaje de tiempo de retraso.

Condiciones Ideales:

Para calcular tanto la Capacidad como el Nivel de Servicio de las carreteras clase I, se parte de las siguientes condiciones de base o ideales de la vía:

- * Velocidad del proyecto igual o mayor a 96 km/h.
- * Ancho de carriles mayor o igual a 3,6 m.
- * Bermas con visibilidad en un ancho mayor o igual a 1,8 m.
- * Inexistencia de zonas de no rebase.
- * Todos los carros son vehículos livianos de pasajeros.
- * No existen limitaciones al flujo vehicular como controles de tránsito o retorno de vehículos.
- * La distribución del flujo vehicular debe considerarse porcentualmente de 50/50, sin embargo, en análisis de segmentos direccionales, la distribución direccional no es considerada como condición de base.
- * El terreno es plano.

Lo primero que debe hacerse para hallar la Capacidad y el Nivel de Servicio de las vías consideradas, es determinar la Velocidad a Flujo Libre (FFS) mediante cualquiera de los métodos existentes para tal fin, o bien, mediante mediciones en campo. En este caso se mide en campo.

Luego debe calcularse la tasa de demanda de flujo para un periodo pico de 15 minutos en la dirección analizada, utilizando la siguiente ecuación:

$$vd = V / PHF * fG * fHV$$

Donde:

v_d = Tasa de flujo de carros de pasajeros equivalentes para el periodo pico de 15 minutos en la dirección analizada (pc/hr)

V = Volumen de demanda para la mayor hora pico en la dirección analizada (veh/hr).

f_G = Factor de ajuste por pendiente.

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados.

En los segmentos direccionales como se ha mencionado, es necesario considerar la tasa de demanda de flujo en la dirección opuesta:

$$v_o = V_o / PHF * f_G * f_{HV}$$

Donde:

v_o = Tasa de flujo de carros de pasajeros equivalentes para el periodo pico de 15 minutos en la dirección opuesta de viaje.

V_o = Volumen de demanda para la mayor hora pico en la dirección opuesta de viaje.

Los valores de PHF (Factor de hora pico, por su sigla en inglés) y de f_{HV} son los mismos utilizados en la dirección de viaje.

En un análisis direccional, tanto los valores de v_d como de v_o son usados para estimar la velocidad promedio de viaje y el porcentaje de tiempo de retraso.

De ser posible, el PHF debe determinarse a partir de datos locales en campo, pero de no ser posible, pueden utilizarse los valores sugeridos en el capítulo 12 del HCM 2000 (0,88 para áreas rurales y 0,92 para áreas urbanas). Debido a la proximidad

con la ciudad, las vías tratadas como acceso a Manizales, se consideran sub-rurales y se les asigna un PHF de 0,90.

Es muy importante observar que en lo que al Manual “HCM 2000” se refiere, los volúmenes de demanda para una hora, deben ser convertidos en tasas de flujo para el pico de 15 minutos dentro de la hora de máxima demanda.

Ajustes por pendiente y vehículos pesados

Los ajustes por la presencia de vehículos pesados en segmentos direccionales significan principalmente, que debe buscarse una equivalencia en automóviles de pasajeros (autos ligeros) para los camiones y los vehículos recreativos (ET y ER) respectivamente por sus siglas en inglés). Es importante resaltar que para poder asumir los valores de autos equivalentes para camiones y recreativos, debe primero conocerse la pendiente del terreno, ya que la metodología varía para pendientes en terreno ascendente por encima del 3% (upgrades) o para pendientes descendentes con pendientes igualmente superiores al 3% (downgrades).

En el caso de pendientes ascendentes en terreno montañoso, los valores del factor de ajuste por pendiente “fG” usados para estimar la velocidad promedio de viaje, se muestran en la Tabla 20-13. Este mismo factor, usado para estimar el porcentaje de tiempo de retraso, se muestra en la Tabla 20-14. El factor de ajuste incluye el efecto de la pendiente en la velocidad promedio de viaje y en el porcentaje de tiempo de retraso en una corriente de tránsito compuesta completamente por autos de pasajeros. Los valores equivalentes de autos para camiones usados para estimar tanto la velocidad promedio de viaje como el porcentaje de tiempo de retraso, se muestran en las Tablas 20-15 y 20-16 respectivamente. Estos factores incluyen el efecto de los camiones en la velocidad promedio de viaje y en el porcentaje de tiempo de retraso, sobre y además del efecto de la pendiente en los autos de pasajeros.

Los vehículos recreativos no son considerados en este trabajo como un porcentaje importante dentro de las corrientes de tránsito analizadas, por tanto, no se incluyen ajustes debido a los mismos.

Para el caso de las pendientes descendentes en terreno montañoso, el valor del factor de ajuste por pendiente es 1 generalmente, y el factor de ajuste por vehículos pesados “fHV” está determinado a partir de las equivalencias en autos de pasajeros dadas en las Tablas 20-9 y 20-10.

$$fHV = 1/1+PT(ET - 1)+PR(ER - 1)$$

Donde:

PT = Proporción de camiones en la corriente de tránsito, expresada como un decimal.

PR = Proporción de vehículos recreativos en la corriente de tránsito, expresada como un decimal.

El paso siguiente consiste en realizar Iteraciones para encontrar valores apropiados de v_d y v_o . Esto se debe a que los factores de ajuste por pendiente y los equivalentes en autos de pasajeros para camiones y recreativos están definidos a partir de tasas de flujo expresadas en autos de pasajeros por hora. Sin embargo, hasta que la ecuación para hallar v_d sea aplicada, dicha tasa de flujo en autos de pasajeros por hora es desconocida. Entonces, debe aplicarse una aproximación por iteraciones para determinar la tasa de flujo equivalente para autos de pasajeros y desde allí, la velocidad promedio de viaje y el porcentaje de tiempo de retraso.

Primero, se debe determinar la tasa de flujo en veh/hr como V/PHF . Después, seleccionar valores de fG y ET (no se consideran los recreativos según se dijo) apropiados para esa tasa de flujo, a partir de las tablas, luego, se determina el valor de v_d aplicando la ecuación dada para dicho valor. Si el valor computado de v_d a partir de la ecuación es menor que el límite superior del rango de la tasa de flujo

seleccionada para la cual los valores de fG y ET fueron seleccionados, entonces el valor computado de vd puede ser usado. Pero si el valor de vd es mayor que el límite superior del rango de la tasa de flujo seleccionada, se debe repetir el proceso para rangos sucesivamente mayores hasta que se encuentre un valor aceptable de vd.

Se puede ahora determinar la Velocidad Promedio de Viaje, con los datos obtenidos de algunos cálculos y otros provenientes de campo:

$$\mathbf{ATSd = FFSd - 0,0125(vd + vo) - fnp}$$

Donde:

ATSd = Velocidad promedio de viaje en la dirección de análisis (km/hr).

FFSd = Velocidad a flujo libre en la dirección de análisis (km/hr).

vd = Tasa de flujo en autos de pasajeros equivalentes para el pico de 15 minutos en la dirección de análisis (pc/h, por su sigla en inglés).

vo = Tasa de flujo en autos de pasajeros equivalentes para el pico de 15 minutos en la dirección opuesta (pc/h, por su sigla en inglés).

fnp = Ajuste debido al porcentaje de zonas de no rebase en la dirección de análisis. Ver Tabla 20-19.

El Porcentaje de tiempo de retraso, puede determinarse igualmente, mediante la expresión:

$$\mathbf{PTSFd = BPTSFd + fnp}$$

Donde:

PTSFd = Porcentaje de tiempo de retraso en la dirección analizada.

BPTSFd = Porcentaje de tiempo de retraso de base en la dirección analizada.

fnp = Ajuste debido al porcentaje de zonas de no rebase en la dirección de análisis. Ver Tabla 20-20.

El porcentaje de tiempo de retraso para las condiciones de base bajo el volumen de tránsito actual en la dirección analizada, puede estimarse con la expresión:

$$BPTSF_d = 100 \left(1 - e^{-av_d^b} \right)$$

En la cual los coeficientes a y b están determinados a partir de la tasa de flujo en dirección opuesta a la de viaje, como se muestra en la Tabla 20-21.

Por último, queda determinar el Nivel de Servicio, para lo cual, debe compararse la tasa de flujo en autos de pasajeros equivalentes v_d con la capacidad de la vía de 1700 pc/h, para determinar si la vía está o no sobresaturada, es decir, si $v_d > 1700$ pc/h. En este caso, el Nivel de Servicio es F, el porcentaje de tiempo de retraso es cercano al 100%, la velocidad es altamente variable y difícil de estimar.

Para un segmento de carretera clase I con una demanda de tránsito menor a la Capacidad, el Nivel de Servicio está determinado por la localización del punto correspondiente al porcentaje de tiempo de retraso estimado y la velocidad promedio de viaje, en la Tabla 20-3.

Los Niveles de Servicio definidos en el manual HCM 2000, consideran situaciones muy similares a las del manual INVIAS, toda vez que este último deriva gran parte de su contenido del primero. Por ello, no se especifican los niveles del HCM 2000 que de manera análoga van desde el A hasta el F. Los pasos utilizados para llegar a determinar el Nivel de Servicio, referidos anteriormente sin embargo, corresponden a carreteras en terreno de montaña, bien sea con pendientes ascendentes, así como descendentes. Es necesario considerar una vía en terreno llano, cuya pendiente es apenas del 2% y darle un tratamiento diferente en cuanto a los valores extractados de algunas tablas, aunque bien siguiendo el mismo proceso descrito para las carreteras montañosas. Esta vía es la que va desde

el municipio de Villamaría hasta Manizales, una vía demasiado corta por demás, pero cuyo análisis es importante, debido a que es la de mayor flujo vehicular de las seis consideradas.

Las carreteras en terreno plano y ondulado, en el caso del análisis direccional, se denominan “extended directional segments” o segmentos direccionales planos. Para hallar el valor de fHV se seleccionan los valores de ET en la Tabla 20-9 y en la Tabla 20-10. El valor de fG aparece en la Tabla 20-7 y en la Tabla 20-8, según se trate de correcciones a la velocidad o al porcentaje de tiempo de retraso en ambos casos. Para todo lo demás, los lineamientos de proceso en segmentos direccionales es idéntico.

A continuación se relacionan las tablas y hojas de trabajo relacionadas con los cálculos de Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles del Manual HCM 2000, conservando como referencia para el lector, la nomenclatura original de cada tabla.

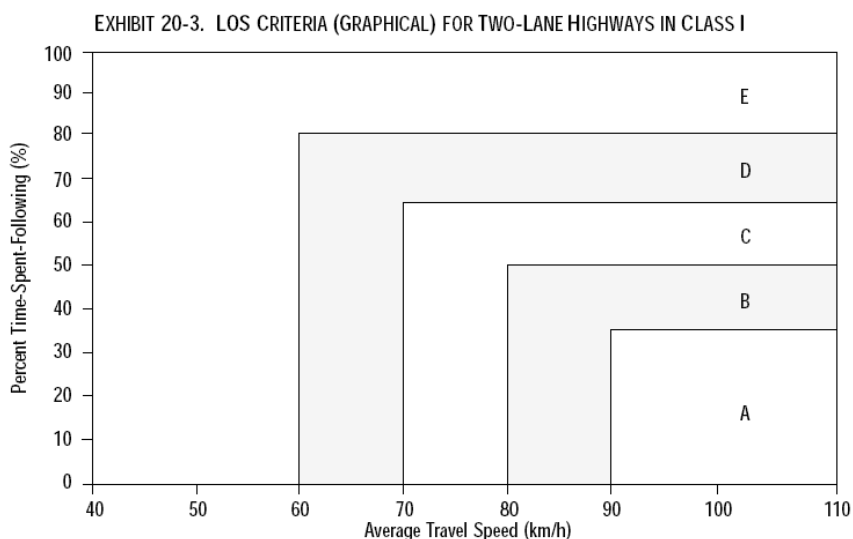


Tabla 20-4 Criterio gráfico para Niveles de Servicio para carreteras de dos Carriles – Clase II

Exhibit 20-5

EXHIBIT 20-5. ADJUSTMENT (f_{LS}) FOR LANE WIDTH AND SHOULDER WIDTH

Lane Width (m)	Reduction in FFS (km/h)			
	Shoulder Width (m)			
	$\geq 0.0 < 0.6$	$\geq 0.6 < 1.2$	$\geq 1.2 < 1.8$	≥ 1.8
$2.7 < 3.0$	10.3	7.7	5.6	3.5
$\geq 3.0 < 3.3$	8.5	5.9	3.8	1.7
$\geq 3.3 < 3.6$	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

Tabla 20-5 Factor de ajuste por ancho de carril y berma

Exhibit 20-6

EXHIBIT 20-6. ADJUSTMENT (f_A) FOR ACCESS-POINT DENSITY

Access Points per km	Reduction in FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

Tabla 20-6 Factor de ajuste por Densidad de Puntos de acceso

EXHIBIT 20-7. GRADE ADJUSTMENT FACTOR (f_G) TO DETERMINE SPEEDS ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0-600	0-300	1.00	0.71
> 600-1200	> 300-600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

Tabla 20-7. Factor de ajuste por pendiente f_G para determinar velocidad en vías de dos carriles y segmentos direccionales

EXHIBIT 20-8. GRADE ADJUSTMENT FACTOR (f_G) TO DETERMINE PERCENT TIME-SPENT-FOLLOWING ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0-600	0-300	1.00	0.77
> 600-1200	> 300-600	1.00	0.94
> 1200	> 600	1.00	1.00

Tabla 20-8. Factor de ajuste por pendiente f_G para determinar el porcentaje de tiempo de retraso en vías de dos carriles y segmentos direccionales

EXHIBIT 20-9. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND RVs TO DETERMINE SPEEDS ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Vehicle Type	Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
			Level	Rolling
Trucks, E_T	0-600	0-300	1.7	2.5
	> 600-1,200	> 300-600	1.2	1.9
	> 1,200	> 600	1.1	1.5
RVs, E_R	0-600	0-300	1.0	1.1
	> 600-1,200	> 300-600	1.0	1.1
	> 1,200	> 600	1.0	1.1

Tabla 20-9. Equivalentes de carros de pasajeros para camiones y vehículos recreativos para determinar velocidad en vías de dos carriles

EXHIBIT 20-10. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND RVs TO DETERMINE PERCENT TIME-SPENT-FOLLOWING ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Vehicle Type	Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
			Level	Rolling
Trucks, E_T	0-600	0-300	1.1	1.8
	> 600-1,200	> 300-600	1.1	1.5
	> 1,200	> 600	1.0	1.0
RVs, E_R	0-600	0-300	1.0	1.0
	> 600-1,200	> 300-600	1.0	1.0
	> 1,200	> 600	1.0	1.0

Tabla 20-10. Equivalentes de carros de pasajeros para camiones y vehículos recreativos para determinar el porcentaje de tiempo de retraso en vías de dos carriles y segmentos direccionales

EXHIBIT 20-13. GRADE ADJUSTMENT FACTOR (f_G) FOR ESTIMATING AVERAGE TRAVEL SPEED ON SPECIFIC UPGRADES

Grade (%)	Length of Grade (km)	Grade Adjustment Factor, f_G		
		Range of Directional Flow Rates v_d (pc/h)		
		0–300	> 300–600	> 600
≥ 3.0 < 3.5	0.4	0.81	1.00	1.00
	0.8	0.79	1.00	1.00
	1.2	0.77	1.00	1.00
	1.6	0.76	1.00	1.00
	2.4	0.75	0.99	1.00
	3.2	0.75	0.97	1.00
	4.8	0.75	0.95	0.97
	≥ 6.4	0.75	0.94	0.95
≥ 3.5 < 4.5	0.4	0.79	1.00	1.00
	0.8	0.76	1.00	1.00
	1.2	0.72	1.00	1.00
	1.6	0.69	0.93	1.00
	2.4	0.68	0.92	1.00
	3.2	0.66	0.91	1.00
	4.8	0.65	0.91	0.96
	≥ 6.4	0.65	0.90	0.96
≥ 4.5 < 5.5	0.4	0.75	1.00	1.00
	0.8	0.65	0.93	1.00
	1.2	0.60	0.89	1.00
	1.6	0.59	0.89	1.00
	2.4	0.57	0.86	0.99
	3.2	0.56	0.85	0.98
	4.8	0.56	0.84	0.97
	≥ 6.4	0.55	0.82	0.93
≥ 5.5 < 6.5	0.4	0.63	0.91	1.00
	0.8	0.57	0.85	0.99
	1.2	0.52	0.83	0.97
	1.6	0.51	0.79	0.97
	2.4	0.49	0.78	0.95
	3.2	0.48	0.78	0.94
	4.8	0.46	0.76	0.93
	≥ 6.4	0.45	0.76	0.93
≥ 6.5	0.4	0.59	0.86	0.98
	0.8	0.48	0.76	0.94
	1.2	0.44	0.74	0.91
	1.6	0.41	0.70	0.91
	2.4	0.40	0.67	0.91
	3.2	0.39	0.67	0.89
	4.8	0.39	0.66	0.88
	≥ 6.4	0.38	0.66	0.87

Tabla 20-13. Factor de ajuste por pendiente (f_G) para estimar la velocidad promedio de viaje en pendientes ascendentes específica

EXHIBIT 20-21. VALUES OF COEFFICIENTS USED IN ESTIMATING PERCENT TIME-SPENT-FOLLOWING FOR DIRECTIONAL SEGMENTS

Opposing Demand Flow Rate, v_o (pc/h)	a	b
≤ 200	-0.013	0.668
400	-0.057	0.479
600	-0.100	0.413
800	-0.173	0.349
1000	-0.320	0.276
1200	-0.430	0.242
1400	-0.522	0.225
≥ 1600	-0.665	0.199

Tabla 20-21. Valores de coeficientes usados para estimar el porcentaje de tiempo de retraso en segmentos direccionales

3.4 Procesos Metodológicos

De forma análoga a la presentada en el marco teórico acerca del cálculo de la Capacidad y el Nivel de Servicio de las diferentes vías, se explica en este apartado la manera como se obtuvieron los valores para trabajar con las metodologías del Manual de Capacidad colombiano y del Manual de Capacidad americano por separado.

3.4.1 Programa INVIAS

3.4.1.1 Variables relativas al tránsito

Uno de los aspectos más importantes relacionados con el tránsito lo constituyen los volúmenes de tránsito, cuyos valores se calcularon para cada estación de conteo asociada a las diferentes vías, mediante modelos matemáticos de regresiones basados en los datos históricos proporcionados por las cartillas publicadas anualmente por el INVIAS, denominadas “Volúmenes de tránsito”. Luego de hallar los valores de volúmenes para el año 2008, expresados en TPDs, se

determinaron los volúmenes equivalentes para la hora pico, aplicando para ello la ecuación recomendada por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte de 1995, según se ilustra en las Tablas 16 y 17. La columna de la derecha para cada estación en la Tabla 16, representa el porcentaje de vehículos (autos, buses y camiones en su orden) hallado con el promedio de la serie histórica, por considerar que éste valor se ajusta mejor a las condiciones reales del tránsito. Otro factor a considerar pertinente al tránsito, lo constituye la distribución direccional del tránsito.

En cuanto a la presencia de vehículos pesados, la metodología del INVIAS recomienda sumar los datos de buses y camiones para hallar el total de dichos vehículos, lo cual se ha incluido en los cálculos.

3.4.1.2 Variables relativas a la vía

En el Anexo 1 aparecen los datos medidos y/o calculados a partir de mediciones en campo correspondientes a las diferentes vías.

Ancho de carril y ancho de berma: Ante la imposibilidad de obtener datos actualizados a través de fuentes de información confiables, estos valores fueron obtenidos a partir de su medición en campo.



Ancho de carril y ancho de berma

Radio de la curva más cerrada: Estos datos también fueron calculados a partir de mediciones en campo, utilizando métodos sencillos de topografía con cinta y jalón.



Radio de la curva más cerrada

Tipo de terreno: Esta clasificación se hizo con base en los datos medidos en campo de la pendiente longitudinal de la vía, utilizando para ello un nivel Abney.



Nivel Abney

Estado de la superficie de rodadura: Como ya se manifestó anteriormente, se ha optado por utilizar el criterio del porcentaje de área afectada, valorando la longitud de la vía que debe ser intervenida por carril al momento de rehabilitar la vía y multiplicando dicha longitud por el ancho del carril. Para este estudio en particular,

no se hace una valoración demasiado detallada del estado de la superficie de rodadura debido a los rangos tan amplios para los que operan los factores de corrección.



Estado de la superficie de rodadura

Porcentaje de zonas de no rebase: Medida en campo a partir de la observación de la demarcación en la vía, con pequeños ajustes a criterio del autor en los casos donde no existe demarcación, así como apoyado en la parte III del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles, del INVIAS.

TIPO DE TERRENO	PORCENTAJE DE ZONAS DE NO REBASE %
Plano	0-20
Ondulado	20-40
Montañoso Escarpado	40-100

Tabla 18. Porcentaje de zonas de no rebase según tipo de terreno



Zonas de no rebase

3.4.2 Programa HCM 2000

3.4.2.1 Capacidad y Nivel de Servicio para carreteras de dos carriles

Debido a que muchos de los datos requeridos por la metodología propuesta en el HCM 2000 corresponden a los obtenidos en mediciones de campo, se procede a su utilización, toda vez que los datos de campo son más representativos de una realidad particular que datos de otras vialidades o de tablas ponderadas.

Entre los datos que ya se tienen a disposición, se cuentan los anchos de carril y berma, el tipo de terreno, la longitud y el porcentaje de la pendiente, los volúmenes y la composición del tránsito, el porcentaje de zonas de no rebase, al igual que la velocidad a flujo libre.

Los datos adicionales no representan datos de entrada para los cálculos, sino precisamente datos obtenidos de tablas y/o de operaciones matemáticas, por lo que sus valores aparecen en las hojas de trabajo correspondientes.

Es importante resaltar el hecho de no realizar muchos de los ajustes presentados en el Manual HCM 2000 para la velocidad a flujo libre (FFS), gracias a que el mismo no considera pertinente hacerlo cuando el dato de esta velocidad ha sido obtenido en campo, ya que las mediciones “In situ” reflejan todas las condiciones geométricas y ambientales reales que inciden en el comportamiento de los conductores al

momento de maniobrar en la vía. La velocidad a flujo libre ha sido medida según aforos, sin embargo, el HCM 2000 valida cualquier método de ingeniería de tránsito utilizado para tal fin.

La manera de calcular la Capacidad y el Nivel de Servicio ya ha sido detallada en el Marco Teórico, por lo que se procede en adelante a su estimación.

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1 Ubicación del área de estudio

Los tramos que son objeto del presente trabajo se encuentran ubicados en dos puntos de la ciudad de Tarija.

- La Carretera Tarija - San Lorenzo
- La Carretera Tarija - Puerta al Chaco

4.2 Descripción de las rutas de estudio

La Carretera a San Lorenzo se encuentra a continuación de la doble vía Tomatitas, con dirección noroeste de la ciudad de Tarija, esta carretera es una carretera de dos carriles, con un carril por sentido, ubicada hacia el Norte de la ciudad de Tarija



La Carretera Puerta al Chaco está sobre la Ruta 11 se encuentra a continuación de la tranca, pasando el Portillo hasta la Puerta al Chaco a 24 km de la ciudad, ubicada hacia el Este de la ciudad de Tarija, fue diseñada y construida como carretera de una sola vía, con dos carriles, uno por cada sentido.



4.3 Proceso de Estudio

4.3.1 Características de las rutas de estudio

Las zonas de estudio comprenden carreteras de dos carriles, ambas en zonas de acceso a la ciudad de Tarija.

La Carretera a San Lorenzo es una carretera de una calzada de dos carriles, (un carril por sentido).

La Carretera a San Lorenzo consta de varios tramos diferenciados por tener diferentes pendientes longitudinales, siendo objeto del presente estudio los sub tramos o sectores: Tomatitas - Cruce Santa Bárbara y Cruce Santa Bárbara - San Lorenzo, analizando sus diferentes condiciones (pendientes, curvas y volumen horario).

La Carretera Puerta al Chaco es una carretera de dos carriles, con un carril para cada sentido, observándose en dicha carretera diferentes pendientes, analizando por sectores con pendientes medias y curvas.

4.3.2 Proceso de obtención de datos

El proceso de obtención de datos es una de las fases más importantes en la determinación de la capacidad y el nivel de servicio de las carreteras de dos carriles, los datos obtenidos fueron: volúmenes y características físicas de las vías en estudio, las mismas que se determinaron en campo de forma manual, para este proceso se hizo un estudio previo a las vías, ya que para determinar la capacidad de un sistema vial no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones de operación sujetas a los dispositivos de control y al medio circundante.

La Carretera a San Lorenzo presenta diferentes pendientes longitudinales por lo que se vio por conveniente calcular una pendiente media por sector de análisis, para el aforo volumétrico se ubicó dos puntos ubicado el primero en Rancho Sud y el segundo en Rancho Norte para realizar este trabajo debido a que en el cruce Santa Bárbara y el cruce Falda de La Queñua podemos observar una gran salida de vehículos del tramo en estudio, lo cual nos da como resultado dos volúmenes medios, uno para cada sector respectivamente (Tarija - Santa Bárbara; Santa Bárbara - San Lorenzo).

La Carretera Puerta al Chaco se observa cuatro sectores o sub tramos con diferentes pendientes longitudinales, para este estudio de capacidad vehicular se vio conveniente analizar cuatro secciones cada una con una pendiente media, para analizar cuál es la capacidad y nivel de servicio en cada sección o Sub-tramo del tramo Tarija - Puerta del Chacho. El caudal medio para todos los sectores es el mismo; debido a que es una vía ininterrumpida donde no hay variación de volúmenes por sector.

4.3.3 Determinación de las propiedades físicas y geométricas de las vías

La determinación de las propiedades de las Carreteras a San Lorenzo y Puerta al Chaco se determinó en campo, corroborando mediante planos obtenidos de la Honorable Alcaldía de Tarija, teniendo las siguientes características geométricas de cada vía.

Carretera a San Lorenzo

Tabla 4.1 Propiedades físicas y geométricas Carretera a San Lorenzo

Características Generales de la vía

Ancho de carril	: 3.60 m
Ancho de berma	: 1.50 m
Tipo de terreno y pendiente promedio	: Plano
Estado de la superficie de rodadura	: IRI = 2.0 mm/m

Carretera puerta al Chaco

Tabla 4.2 Propiedades físicas y geométricas Carretera Puerta al Chaco

Características Generales de la vía

Ancho de carril	: 3.50 m
Ancho de berma	: 1.50 m
Tipo de terreno y pendiente promedio	: Plano
Estado de la superficie de rodadura	: IRI = 2.0 mm/m

4.3.4 Aforo de volúmenes de tráfico

El estudio sobre volúmenes de tránsito se realizó con el propósito de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos, sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial de carreteras o calle. Dichos datos se expresan con relación al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de metodologías que permiten estimar de manera razonable, la calidad del servicio que el sistema presta a los usuarios.

Los aforos a vehículos se realizaron para obtener estimaciones de: Volumen, Tasa de flujo, Demanda y Capacidad.

Los aforos volumétricos fueron determinados de forma manual debido a que en nuestro medio no se cuenta con equipos automáticos.

La ventaja en la realización de los aforos manuales estuvo en que se pudo establecer una mejor información es decir que además del número de vehículos se puede obtener información sobre el tipo de vehículos, características, sentido de circulación y otros.

La desventaja de utilizar este método estuvo en la cantidad de personas que se requiere para realizar un buen trabajo y la garantía de que se realice una medición a la perfección.

El aforo volumétrico se realizó con el llenado de una respectiva planilla, en la cual se tiene los datos de la fecha y hora del aforo, del tipo de vehículo, de la cantidad y del sentido.

El tiempo de realización de estos aforos manuales fue de tres veces a la semana durante un mes, los mismos que se realizaron en las horas pico del día.

Para los aforos vehiculares se siguió la siguiente clasificación que normalmente se usa:

- vehículos livianos
- vehículos medianos
- vehículos pesados

4.4 Fase de gabinete

4.4.1 Recopilación de datos

La metodología a utilizar en el plan de aforos es por muestreo y consiste en deducir de algunos aforos con observaciones horarias (horas pico del día) mediante aforos manuales.

Los puntos de aforo vehicular fueron sobre la carretera a San Lorenzo se procedió a tomar un punto de aforo dentro de esta zona de estudio; sobre la carretera Puerta al Chaco se analizó un punto intermedio de la carretera.

Tabla 4.3 Ubicación de las estaciones de aforos

Nombre de la Estación	N° Estación	Ubicación	Actividad realizada	Fecha de obtención de los datos
CARRETERA A SAN LORENZO	1	Rancho Sud; antes del cruce a Santa Bárbara	Aforos volumétricos	A partir del 25 de Noviembre del 2013
	2	Rancho Norte; después del cruce a Santa Bárbara	Aforos volumétricos	A partir del 25 de Noviembre del 2013
CARRETERA PUERTA AL CHACO	3	Portillo	Aforos volumétricos	A partir del 19 de Marzo del 2013

4.4.2 Datos de Transito

A continuación se presenta un resumen de los datos de tránsito necesarios para los cálculos en ambos programas.

Carretera a San Lorenzo

Cruce Santa Bárbara - San Lorenzo		
Punto de Aforo Rancho Norte		
Día	Volumen (vehículos/hora)	
	sentido 1	sentido 2
Media	102	109
distribución	48%	52%
vehículos livianos	94%	
vehículos medianos	0.5%	
vehículos pesados	5,5%	
Volumen Total	211	

Tomatitas - Cruce Santa Bárbara		
Punto de Aforo Rancho Sud		
Día	Volumen (vehículos/hora)	
	sentido 1	sentido 2
Media	164	163
distribución	50%	50%
vehículos livianos	89%	
vehículos medianos	2%	
vehículos pesados	9%	
Volumen Total	326	

Carretera Puerta del Chaco

Tomatitas - Cruce Santa Bárbara		
Punto de Aforo Rancho Sud		
Día	Volumen (vehículos/hora)	
	sentido 1	sentido 2
Media	164	163
distribución	50%	50%
vehículos livianos	89%	
vehículos medianos	2%	
vehículos pesados	9%	
Volumen Total	326	

*Las tablas de Aforos volumétricos se muestran en los ANEXOS.

4.5 Diagnóstico de Datos

4.5.1 Programa INVIAS

Datos de entrada:

Ancho de carril; es un dato medido en campo, con cinta métrica. (Metros).

Ancho de berma; es un dato medido en campo, con cinta métrica. (Metros).

IRI Estado de la superficie de rodadura; este dato está en función a las condiciones de la carretera, por ejemplo para carreteras con un asfalto en buenas condiciones es de 2mm/m o 2 m/km. Este valor es más grande cuando la superficie de la carretera se encuentra en peor estado.

Longitud del sector; es un parámetro obtenido de los planos de la carretera. Se mide en Km.

Tipo de terreno y pendiente promedio; es un parámetro obtenido de los planos de la carretera. Se mide en %.

Radio de la curva más cerrada; es un parámetro obtenido geoméricamente de los planos de la carretera. Se mide en metros.

Deflexión de la curva; Al igual que el radio de la curva se lo obtiene de los planos de la carretera medido en grados.

Volumen horario total ambos sentidos (Q); es el resultado de un estudio de volúmenes (aforos volumétricos), medido en cantidad de vehículos que circulan en una sección por hora, (veh/h).

Distribución por sentidos, Composición vehicular (% Livianos, % Medianos, % Pesadosos), estos datos son resultado del estudio de volúmenes. La distribución por sentidos se refiere a qué porcentaje de vehículos va en un sentido y qué porcentaje va en el sentido contrario.

Porcentaje de zonas de no rebase; es una limitación de la carretera para la libre circulación del vehículo, está en función de las características geométricas de la vía.

Datos de Salida

En el programa INVIAS luego de procesados los datos de entrada, obtenemos los siguientes datos de salida o resultados:

C60; La Capacidad Vehicular (vehículos por hora).

C5; La Capacidad Vehicular en los 5 minutos de la hora pico (vehículos por hora).

La velocidad Media.

Nivel de servicio.

Estos Datos no pueden ser editados; son el resultado de procesar los datos de entrada. No obstante se puede analizar los mismos, para verificar su coherencia, si los resultados obtenidos no están dentro del marco lógico, debemos verificar y analizar los datos de entrada introducidos.

4.5.2 Programa HCM2000

Datos de entrada:

Ancho de carril; es un dato medido en campo, con cinta métrica. (Metros)

Ancho de berma; es un dato medido en campo, con cinta métrica. (Metros)

Tipo de terreno y pendiente promedio; es un parámetro obtenido de los planos de la carretera. Se mide en %. Para este programa sólo es necesario definir entre terreno plano, o terreno no plano.

Volumen horario total ambos sentidos (Q); es el resultado de un estudio de volúmenes (aforos volumétricos) medido en cantidad de vehículos que circulan en una sección por hora. (veh/h).

Distribución por sentidos, composición vehicular (% Livianos, %PR Medianos, %PT Pesados) estos datos son resultado del estudio de volúmenes. La distribución por sentidos se refiere a que porcentaje de vehículos va en un sentido y qué porcentaje va en el sentido contrario.

Porcentaje de zonas de no rebase; es una limitación de la carretera para la libre circulación del vehículo, está en función de las características geométricas de la vía.

PHF; factor de hora punta, varía de 0,88 para zonas urbanas y 0,92 zonas rurales. En el estudio se tomó un valor de 0,90 debido a que ambas carreteras pertenecen a zonas sub-rurales.

Velocidad de Diseño BFFS; es la velocidad de Diseño del Proyecto.

Datos de Salida

En el programa HCM2000 luego de procesados los datos de entrada, obtenemos los siguientes datos de salida o resultados:

ATSd; es la velocidad Promedio de viaje en km/h.

PTSFd; es el porcentaje de tiempo de retraso %.

LOS; nivel de servicio el cual depende de los parámetros ATSD y PTSFd.

Estos Datos no pueden ser editados; son el resultado de procesar los datos de entrada. No obstante se puede analizar los mismos, para verificar su coherencia, si los resultados obtenidos no están dentro del marco lógico, debemos verificar y analizar los datos de entrada introducidos.

4.6 Procesamiento con Software

4.6.1 Programa INVIAS

CÁLCULO CON EL SOFTWARE PARA LA CARRETERA A SAN LORENZO

Datos:

Características Generales de la vía

Ancho de carril	: 3.60 m
Ancho de berma	: 1.50 m
Estado de la superficie de rodadura	: IRI = 2.0 mm/m

Sub-Tramo Tomatitas –Cruce Santa Bárbara “Sector 1”

Longitud del sector	: 6,2 km
Tipo de terreno y pendiente promedio	: Plano 0,8%
Radio de la curva más cerrada	: 139 m
Deflexión de la curva	: 54 °

Características del tránsito

Distribución por sentidos	: 50/50
Porcentaje de zonas de no rebase	: 20%
Composición vehicular	
% Livianos	: 89
% Medianos	: 2
% Pesados	: 9
Volumen horario total ambos sentidos (Q)	: 326 veh/h

*Introduccion de Datos:

```

CNS97.EXE
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - UNIVERSIDAD DEL CAUCA
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO v2.0-Oct-1996
Red Vial Cálculos Resultados Salir
=====
Codigo Sección : [0101]
=====
Absc_Inicial (m) : 0 Longitud(km) : 6.2 Tipo Terreno [POME] : P
Ancho Carril (m) : 3.6 Ancho Berma (m) : 1.5 Pendiente (%) : 0.8
Radio Curva más Cerrada (m) : 139 Deflexión (°) : 54

Estado Superficie de Rodadura [1..3] : 1 Valor Estado : 2
Volumen en Ambos Sentidos (veh/h) : 326 IRI (m/km)
Distribución por Sentidos (% Ascenso) : 50
Zonas de No Rebase (%) : 20

Composición Vehicular - Estación de Conteo :
%A : 89 %B : 2 %C : 9

Tipo Sección [C/T/O] : [ ] Fecha Evaluación [dma] : 01/12/13
=====
Listado_Tipos_de_Secciones Hoja_Trabajo CNS Salir
  
```

*F6: Hojas de trabajo

```

CNS97.EXE
UNIVERSIDAD DEL CAUCA ■ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO
HOJA DE CALCULO SECCION
DATOS INICIALES
Tramo : Sector : Sección :
Nombre :
Abscisa Inicial (m) : 0.0 Longitud (km) : 6.2
Ancho de Carril (m) : 3.6 Ancho de Berma (m) : 1.5
Tipo de Terreno : P <PLANO > Pendiente (%) : 0.80
Radio Curva mas Cerrada (m) : 139.0 Deflexión (°) : 54
Estado Superficie de Rodadura : IRI (m/km) = 2.00
Volumen en Ambos Sentidos (Ueh/h) : 326
Distribución (%Ascenso) : 50.0
Zonas de No Rebase (%) : 20.0
Composición Vehicular - Estación de Conteo :
%A : 89 %B : 2 %C : 9
Fecha de Evaluación : 01/12/13

CALCULO DE LA CAPACIDAD
Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci (veh/h) = C60 (veh/h)
0.984 1.000 0.990 0.907 3200 2,826
C60 * FPH_[5] = C5 (Ueh/h)
2,826 0.970 2,741
-----
Q(Ueh/h) Q/C60 Q/C5
-----
326 0.12 0.12
  
```

La Capacidad Vehicular es de 2826 vehículos por hora.

La Capacidad Vehicular en los 5 minutos de la hora pico es de 2741 vehículos por hora.

```
C:\> CNS97.EXE

CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

  Ui [6] * fu [7] = U1(km/h) * fsr [8] * fcb [9] = U2(km/h)
    86.0   0.988   85.01   0.950   0.970   78.33

  fp1 [10] * fp2 [11] = fp * U2(km/h) = U3(km/h) <=> Uc(km/h) [12]
    0.835   1.063   0.888   78.33   69.53   60.90

      Longitud de la Curva [Lc = Radio*Deflexión] = 131.0 m
      Longitud Acelerando y Decelerando [Lda = 130 + Lc] = 261.0 m
      Recorrido con Velocidad U3 [L3 = 1000*L - Lda] = 5939.0 m
      Tiempo de Recorrido con Velocidad U3 [T3 = 3.6*L3/U3] = 307.5 s
Tiempo Decelerando y Acelerando      Td1      Td2      Ta      Tda
      14.3 + 7.7 + 6.5 = 28.5 s
      Tiempo Total de Recorrido [T = T3+Tda] = 336.0 s
      Velocidad Media [U = 3600*L/T] = 66.4 km/h

      VELOCIDAD MEDIA : 66.4 km/h
      NIVEL DE SERVICIO : C
♀
```

La velocidad Media es 64,4 Km/h que corresponden a un Nivel de servicio C.

Sub-Tramo Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo “Sector 2”

- Longitud del sector : 2,2 km
- Tipo de terreno y pendiente promedio : Plano 1%
- Radio de la curva más cerrada : No hay curvas (utilizamos un valor 500 m)
- Deflexión de la curva : 0 °

Características del tránsito

- Distribución por sentidos : 48/52
- Porcentaje de zonas de no rebase : 20%
- Composición vehicular

% Livianos : 94

% Medianos : 0,5

% Pesados : 6

Volumen horario total ambos sentidos (Q) : 211 veh/h

*Introduccion de Datos:



*F6: Hojas de trabajo



```

C:\> CNS97.EXE

CALCULO DE LA CAPACIDAD

Fpe_[11] * Fd_[21] * Fcb_[31] * Fp_[41] * Ci (veh/h) = C60 (veh/h)
0.986      1.000      0.990      0.913      3200      2,853

          C60 * FPH_[51] = C5 (Ueh/h)
          2,853      0.970      2,767

          -----
          Q(Ueh/h)      Q/C60      Q/C5
          -----
          211      0.07      0.08

CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

Ui_[61] * fu_[71] = U1(km/h) * fsr_[81] * fcb_[91] = U2(km/h)
85.6      0.990      84.74      0.951      0.970      78.13

fp1_[101] * fp2_[111] = fp * U2(km/h) = U3(km/h) <=> Uc(km/h)_[121]
0.828      1.066      0.883      78.13      68.96      77.00

VELOCIDAD MEDIA : 69.0 km/h
NIVEL DE SERVICIO : C

```

La Capacidad Vehicular es de 2853 vehículos por hora.

La Capacidad Vehicular en los 5 minutos de la hora pico es de 2767 vehículos por hora.

La velocidad Media es 69 Km/h que corresponden a un Nivel de servicio C.

CÁLCULO CON EL SOFTWARE PARA LA CARRETERA PUERTA AL CHACO

Datos:

Características Generales de la vía

- Ancho de carril : 3.50 m
- Ancho de berma : 1.50 m
- Estado de la superficie de rodadura : IRI = 2.0 mm/m

Sub-Tramo Tarija – El Portillo “Sector 1”

- Longitud del sector : 3,28 km

Tipo de terreno y pendiente promedio : Plano 0,7%

Radio de la curva más cerrada : No hay curvas (utilizamos un valor 500 m)

Deflexión de la curva : 0°

Características del tránsito

Distribución por sentidos : 50/50

Porcentaje de zonas de no rebase : 20%

Composición vehicular

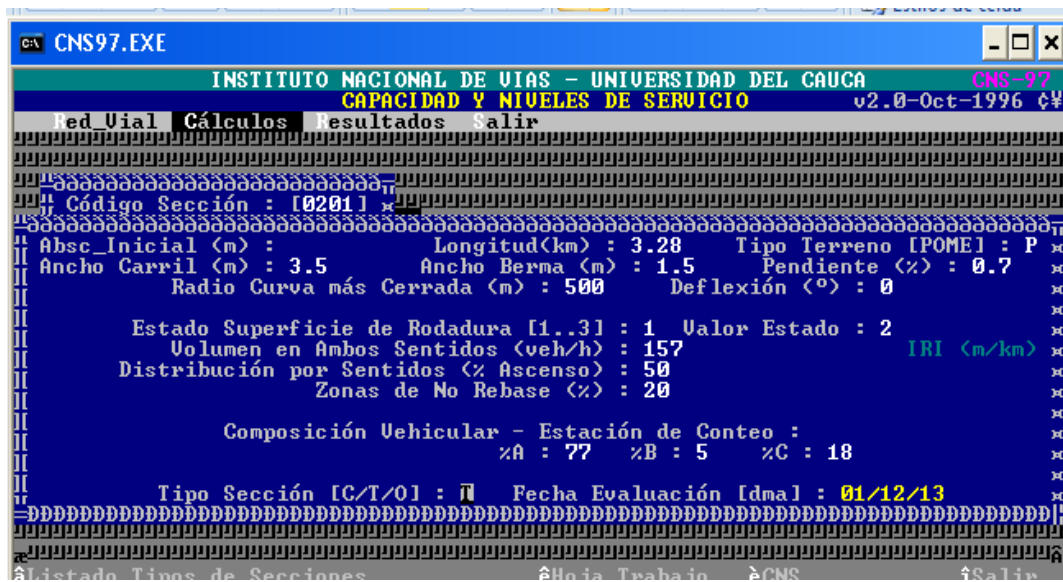
% Livianos : 77

% Medianos : 5

% Pesados : 18

Volumen horario total ambos sentidos (Q) : 157 veh/h

*Introducción de Datos:



*F6: Hojas de trabajo

```

C:\> CNS97.EXE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA ■ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

HOJA DE CALCULO SECCION

DATOS INICIALES

Tramo :                               Sector :           Sección :
Nombre :

Abscisa Inicial (m) :                0.0   Longitud (km) :                3.3
Ancho de Carril (m) :                3.5   Ancho de Berma (m) :            1.5
Tipo de Terreno : P (PLANO)          Pendiente (%):                0.70
Radio Curva mas Cerrada (m) :        500.0   Deflexión (°) :                0

Estado Superficie de Rodadura : IRI (m/km) = 2.00

Volumen en Ambos Sentidos (Veh/h) : 157
Distribución (%Ascenso) :           50.0
Zonas de No Rebase (%):              20.0

Composición Vehicular - Estación de Conteo :
%A : 77   %B : 5   %C : 18

Fecha de Evaluación : 01/12/13
  
```

```

C:\> CNS97.EXE

CALCULO DE LA CAPACIDAD

Fpe_[11] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci (veh/h) = C60 (veh/h)
0.986   1.000   0.990   0.870   3200   2,718

      C60 * FPH_[5] = C5 (Ueh/h)
      2,718   0.966   2,625

-----

      Q(Ueh/h)      Q/C60      Q/C5
      157           0.06       0.06
      -----

CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

Ui_[6] * fu_[7] = U1(km/h) * fsr_[8] * fcb_[9] = U2(km/h)
86.5   0.990   85.64   0.949   0.950   77.18

fp1_[10] * fp2_[11] = fp * U2(km/h) = U3(km/h) <=> Uc(km/h)_[12]
0.848   1.025   0.870   77.18   67.12   77.00

VELOCIDAD MEDIA : 67.1 km/h
NIVEL DE SERVICIO : C
  
```

La Capacidad Vehicular es de 2718 vehículos por hora.

La Capacidad Vehicular en los 5 minutos de la hora pico es de 2625 vehículos por hora.

La velocidad Media es 67,1 Km/h que corresponden a un Nivel de servicio C.

Sub-Tramo Portillo – Cruce Ruta del Vino “Sector 2”

Longitud del sector : 3,28 km
Tipo de terreno y pendiente promedio : Plano 1,2%
Radio de la curva más cerrada : No hay curvas (utilizamos un valor 500 m)
Deflexión de la curva : 0°

Características del tránsito

Distribución por sentidos : 50/50
Porcentaje de zonas de no rebase : 20%
Composición vehicular
% Livianos : 77
% Medianos : 5
% Pesados : 18
Volumen horario total ambos sentidos (Q) : 157 veh/h

*Introducción de Datos:

```
C:\> CNS97.EXE
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - UNIVERSIDAD DEL CAUCA
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO
v2.0-Oct-1996
Red Vial Cálculos Resultados Salir
=====
Código Sección : [0202]
Absc_Inicial (m) : Longitud(km) : 5.22 Tipo Terreno [POME] : P
Ancho Carril (m) : 3.5 Ancho Berma (m) : 1.5 Pendiente (%): 1.2
Radio Curva más Cerrada (m) : 500 Deflexión (°) : 0
Estado Superficie de Rodadura [1..3] : 1 Valor Estado : 2
Volumen en Ambos Sentidos (veh/h) : 157 IRI (m/km)
Distribución por Sentidos (% Ascenso) : 50
Zonas de No Rebase (%): 20
Composición Vehicular - Estación de Conteo :
%A : 77 %B : 5 %C : 18
Tipo Sección [C/T/O] : I Fecha Evaluación [dma] : 01/12/13
-----
Alistado Tipos de Secciones Hoja Trabajo CNS Salir
```

```

C:\ CNS97.EXE
UNIVERSIDAD DEL CAUCA ■ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

HOJA DE CALCULO SECCION

DATOS INICIALES

Tramo :                               Sector :           Sección :
Nombre :

Abscisa Inicial (m) :                0.0   Longitud (km) :                5.2
Ancho de Carril (m) :                 3.5   Ancho de Berma (m) :           1.5
Tipo de Terreno : P (PLANO )         Pendiente (%):                 1.20
Radio Curva mas Cerrada (m) : 500.0   Deflexión (°) :                0

Estado Superficie de Rodadura : IRI (m/km) = 2.00

Volumen en Ambos Sentidos (Veh/h) : 157
Distribución (%Ascenso) :            50.0
Zonas de No Rebase (%):              20.0

Composición Vehicular - Estación de Conteo :
%A : 77   %B : 5   %C : 18

Fecha de Evaluación : 01/12/13

```

```

C:\ CNS97.EXE
_CALCULO DE LA CAPACIDAD

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fch_[3] * Fp_[4] * Ci (veh/h) = C60 (veh/h)
0.978   1.000   0.990   0.851   3200   2.635

          C60 * FPH_[5] = C5 (Veh/h)
          2,635   0.962   2,535

          Q(Veh/h)      Q/C60      Q/C5
          -----      -----      -----
          157           0.06       0.06

_CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

Ui_[6] * fu_[7] = U1(km/h) * fsp_[8] * fch_[9] = U2(km/h)
84.0   0.990   83.16   0.954   0.950   75.34

fp1_[10] * fp2_[11] = fp * U2(km/h) = U3(km/h) <=> Uc(km/h)_[12]
0.835   1.025   0.856   75.34   64.47   77.00

VELOCIDAD MEDIA : 64.5 km/h
NIVEL DE SERVICIO : C

```

La Capacidad Vehicular es de 2635 vehículos por hora.

La Capacidad Vehicular en los 5 minutos de la hora pico es de 2535 vehículos por hora.

La velocidad Media es 64,5 Km/h que corresponden a un Nivel de servicio C.

Sub-Tramo Cruce Ruta del Vino – Cruce Represa Yesera “Sector 3”

Longitud del sector	: 4,2 km
Tipo de terreno y pendiente promedio	: Plano 1,2%
Radio de la curva más cerrada	: 120 m
Deflexión de la curva	: 60 °

Características del tránsito

Distribución por sentidos	: 50/50
Porcentaje de zonas de no rebase	: 20%
Composición vehicular	
% Livianos	: 77
% Medianos	: 5
% Pesados	: 18
Volumen horario total ambos sentidos (Q)	: 157 veh/h

*Introducción de Datos:

```
C:\ CNS97.EXE
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - UNIVERSIDAD DEL CAUCA
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO v2.0-Oct-1996
Ped_Uial Cálculos Resultados Salir
=====
Codigo Sección : [0203]
Absc_Inicial (m) : Longitud(km) : 4.2 Tipo Terreno [POME] : P
Ancho Carril (m) : 3.5 Ancho Berma (m) : 1.5 Pendiente (%): 1.2
Radio Curva más Cerrada (m) : 120 Deflexión (°) : 60
Estado Superficie de Rodadura [1..3] : 1 Ualor Estado : 2
Volumen en Ambos Sentidos (veh/h) : 157 IRI (m/km)
Distribución por Sentidos (% Ascenso) : 50
Zonas de No Rebase (%) : 20
Composición Vehicular - Estación de Conteo :
%A : 77 %B : 5 %C : 18
Tipo Sección [C/T/O] : T Fecha Evaluación [dma] : 01/12/13
=====
Hoja_Trabajo CNS Salir
```

*F6: Hojas de trabajo

```
C:\ CNS97.EXE
UNIVERSIDAD DEL CAUCA ■ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO
HOJA DE CALCULO SECCION
DATOS INICIALES
Tramo : Sector : Sección :
Nombre :
Abscisa Inicial (m) : 0.0 Longitud (km) : 4.2
Ancho de Carril (m) : 3.5 Ancho de Berma (m) : 1.5
Tipo de Terreno : P (PLANO) Pendiente (%): 1.20
Radio Curva mas Cerrada (m) : 120.0 Deflexión (°) : 60
Estado Superficie de Rodadura : IRI (m/km) = 2.00
Volumen en Ambos Sentidos (Ueh/h) : 157
Distribución (%Ascenso) : 50.0
Zonas de No Rebase (%) : 20.0
Composición Vehicular - Estación de Conteo :
%A : 77 %B : 5 %C : 18
Fecha de Evaluación : 01/12/13
```

```

C:\ CNS97.EXE
Fecha de Evaluación : 01/12/13

CALCULO DE LA CAPACIDAD

Fpe_[1] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci <veh/h> = C60 <veh/h>
0.978      1.000      0.990      0.854      3200      2.646

          C60 * FPH_[5] = C5 <Ueh/h>
          2.646      0.962      2.547
          -----
          Q<Ueh/h>      Q/C60      Q/C5
          157      0.06      0.06
          -----

```

```

C:\ CNS97.EXE

CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

Ui_[6] * fu_[7] = U1<km/h> * fsr_[8] * fcb_[9] = U2<km/h>
84.0      0.990      83.16      0.954      0.950      75.34

fp1_[10] * fp2_[11] = fp * U2<km/h> = U3<km/h> <=> Uc<km/h>_[12]
0.835      1.025      0.856      75.34      64.47      59.00

Longitud de la Curva [Lc = Radio*Deflexión] = 125.7 m
Longitud Acelerando y Decelerando [Lda = 130 + Lc] = 255.7 m
Recorrido con Velocidad U3 [L3 = 1000*L - Lda] = 3944.3 m
Tiempo de Recorrido con Velocidad U3 [T3 = 3.6*L3/U3] = 220.2 s
Tiempo Decelerando y Acelerando      Td1      Td2      Ta      Tda
          15.5 + 8.0 + 6.8 = 30.3 s
Tiempo Total de Recorrido [T = T3+Tda] = 250.5 s
Velocidad Media [U = 3600*L/T] = 60.4 km/h

VELOCIDAD MEDIA : 60.4 km/h
NIVEL DE SERVICIO : D
♀

```

La Capacidad Vehicular es de 2646 vehículos por hora.

La Capacidad Vehicular en los 5 minutos de la hora pico es de 2547 vehículos por hora.

La velocidad Media es 60,4 Km/h que corresponden a un Nivel de servicio D.

Sub-Tramo Cruce Represa Yesera – Puerta del Chaco “Sector 4”

Longitud del sector : 4,2 km
Tipo de terreno y pendiente promedio : Plano 1,2%
Radio de la curva más cerrada : 120 m
Deflexión de la curva : 60 °

Características del tránsito

Distribución por sentidos : 50/50
Porcentaje de zonas de no rebase : 20%
Composición vehicular
% Livianos : 77
% Medianos : 5
% Pesados : 18
Volumen horario total ambos sentidos (Q) : 157 veh/h

*Introducción de Datos:

```
C:\> CNS97.EXE
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - UNIVERSIDAD DEL CAUCA          CNS-97
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO                             v2.0-Oct-1996
Ped Vial  Cálculos  Resultados  Salir
-----
Codigo Sección : [0204]
-----
Absc_Inicial (m) :                               Longitud(km) : 3.8      Tipo Terreno [POME] : 0
Ancho Carril (m) : 3.5                           Ancho Berma (m) : 1.5  Pendiente (%): 5
Radio Curva más Cerrada (m) : 300                 Deflexión (°) : 30
-----
Estado Superficie de Rodadura [1..3] : 1  Uvalor Estado : 2
Volumen en Ambos Sentidos (veh/h) : 157      IRI (m/km)
Distribución por Sentidos (% Ascenso) : 50
Zonas de No Rebase (%) : 20
-----
Composición Vehicular - Estación de Conteo :
%A : 77  %B : 5  %C : 18
-----
Tipo Sección [C/T/O] : T  Fecha Evaluación [dma] : 01/12/13
-----
Hoja_Trabajo  CNS  Salir
```

*F6: Hojas de trabajo

```

C:\ CNS97.EXE
UNIVERSIDAD DEL CAUCA ■ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

HOJA DE CALCULO SECCION

DATOS INICIALES

Tramo :          Sector :          Sección :
Nombre :

Abscisa Inicial (m) :      0.0   Longitud (km) :      3.8
Ancho de Carril (m) :      3.5   Ancho de Berma (m) :  1.5
Tipo de Terreno : 0 (ONDULADO)  Pendiente (%):  5.00
Radio Curva mas Cerrada (m) : 300.0  Deflexión (°) :  30

Estado Superficie de Rodadura : IRI (m/km) =  2.00

Volumen en Ambos Sentidos (Ueh/h) :      157
Distribución (%Ascenso) :      50.0
Zonas de No Rebase (%):      20.0

Composición Vehicular - Estación de conteo :
% A : 77   % B : 5   % C : 18

Fecha de Evaluación : 01/12/13
  
```

```

C:\ CNS97.EXE
CALCULO DE LA CAPACIDAD

Fpe_[11] * Fd_[2] * Fcb_[3] * Fp_[4] * Ci (veh/h) = C60 (veh/h)
0.920   1.000   0.990   0.733   3200   2,136

          C60 * FPH_[5] = C5 (Ueh/h)
          2,136   0.944   2,016

          Q(Ueh/h)      Q/C60      Q/C5
          -----      -----      -----
          157           0.07       0.08

CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

Ui_[6] * fu_[7] = U1(km/h) * fsr_[8] * fcb_[9] = U2(km/h)
65.0   0.990   64.35   0.976   0.950   59.64

fp1_[10] * fp2_[11] = fp * U2(km/h) = U3(km/h) <=> Uc(km/h)_[12]
0.763   1.025   0.783   59.64   46.67   71.00

VELOCIDAD MEDIA : 46.7 km/h
NIVEL DE SERVICIO : D
  
```

La Capacidad Vehicular es de 2136 vehículos por hora.

La Capacidad Vehicular en los 5 minutos de la hora pico es de 2086 vehículos por hora.

La velocidad Media es 46,7 Km/h que corresponden a un Nivel de servicio D.

4.6.2 Programa HCM 2000

CALCULO PARA LA CARRETERA A SAN LORENZO

Tramo Tarija – San Lorenzo

Paso 1

Introducir con los datos generales de la carretera.

Datos:

Características de la vía

Ancho de carril : 3.60 m

Ancho de berma : 1.50 m

Longitud del sector : 8,4 km

Características del tránsito

Volumen horario total ambos sentidos (Q) : 326 veh/h

Distribución por sentidos : 50/50

Porcentaje de zonas de no rebase : 20%

Composición vehicular

% automóviles : 89

% buses PR : 2

% camiones PT : 9

PHF : 0,90

Velocidad de Diseño BFFS : 80 km/h

Paso 2

Calcular la velocidad promedio de viaje.

Paso 2.1 Determinar la tasa de demanda de flujo.

- Tasa de flujo inicial = $V/PHF = (326 \text{ pc/hr})/0,90 = 362 \text{ pc/hr}$

Determinar $fG = 1$ (tabla 20.7)

Determinar fHV

$$fHV = 1/(1+PT(ET - 1)+PR(ER - 1))$$

$$PT = 9\%$$

$$PR = 2\%$$

$$ET = 1,7$$

$$ER = 1 \text{ (tabla 20.9)}$$

$$fHV = 1/(1+0,09(1,7 - 1)+0,02(1 - 1))$$

$$fHV = 0,94$$

Debe calcularse la tasa de demanda de flujo en la dirección analizada, utilizando la siguiente ecuación:

$$vd = V/ PHF*fG*fHV$$

$$V = 326 \text{ pc/h}$$

$$PHF = 0,90$$

$$fG = 1$$

$$fHV = 0,94$$

$$vd = (326 \text{ pc/h}) / (0,90*1*0,94)$$

$$vd = 385 \text{ pc/h}$$

Para un solo carril = $385 \text{ pc/h} * 0,50 = 193 \text{ pc/h}$

Paso 2.2 Verificar la capacidad

385 pc/h menor a 3200 pc/hr (capacidad)

193 pc/h menor a 1700 pc/hr (capacidad por carril)

Paso 2.3 Calcular la velocidad promedio de viaje

- Velocidad libre de circulación $FFS = BFFS - f_l - f_A$

$$F_l = 2,1 \text{ km/h}$$

$$F_A = 0,66 \text{ km/h}$$

$$FFS = 80 - 2,1 - 0,66$$

$$FFS = 77,34 \text{ km/h}$$

- Velocidad promedio de viaje ATS

$$ATSd = FFS - 0,0125(vd) - fnp$$

$$FFSd = 77,34 \text{ km/hr}$$

$$vd = 385 \text{ pc/hr}$$

$$fnp = 1,8 \text{ (tabla 20.19)}$$

$$ATSd = 77,34 \text{ km/hr} - 0,0125(385 \text{ pc/hr}) - 1,8$$

$$ATSd = 70,865 \text{ km/hr}$$

Paso 3

Calcular el porcentaje de tiempo de retraso.

Paso 3.1 Determinar la tasa de demanda de flujo.

- $V/PHF = 326 \text{ pc/hr}$

$$fG = 1 \text{ (tabla 20.8)}$$

Determinar fHV (Factor de ajuste por vehículos pesados).

$$fHV = 1/(1+PT(ET - 1)+PR(ER - 1))$$

Donde:

$$PT = 9\%$$

$$PR = 2\%$$

$$ET = 1,1 \text{ (tabla 20.10)}$$

$$ER = 1,0 \text{ (tabla 20.10)}$$

$$fHV = 1/(1+0,09(1,1 - 1)+0,02(1 - 1))$$

$$fHV = 0,991$$

Debe calcularse la tasa de demanda de flujo en la dirección analizada, utilizando la siguiente ecuación:

$$vd = V / PHF * fG * fHV$$

$$V = 326 \text{ pc/hr}$$

$$fG = 1$$

$$fHV = 0,991$$

$$vd = (326 \text{ pc/hr}) / (0,90 * 1 * 0,991)$$

$$vd = 365 \text{ pc/hr}$$

$$Vo = 365 \text{ pc/h} * 0,50 = 183 \text{ pc/hr}$$

Paso 3.2 Verificar la capacidad

365 pc/hr menor a 3200 pc/hr (capacidad)

183 pc/hr menor a 1700 pc/hr (capacidad por carril)

Paso 3.3 Calcular porcentaje de tiempo de retraso

- Calcular el Porcentaje de tiempo de retraso de base

$$\text{BPTSf} = 100(1 - e^{-0.000879vd})$$

$$\text{BTSf} = 27,32 \%$$

- Calcular el porcentaje de tiempo de retraso PTSF

$$\text{PTSfd} = \text{BPTSfd} + \text{fnp}$$

$$\text{BPTSfd} = 27,32 \%$$

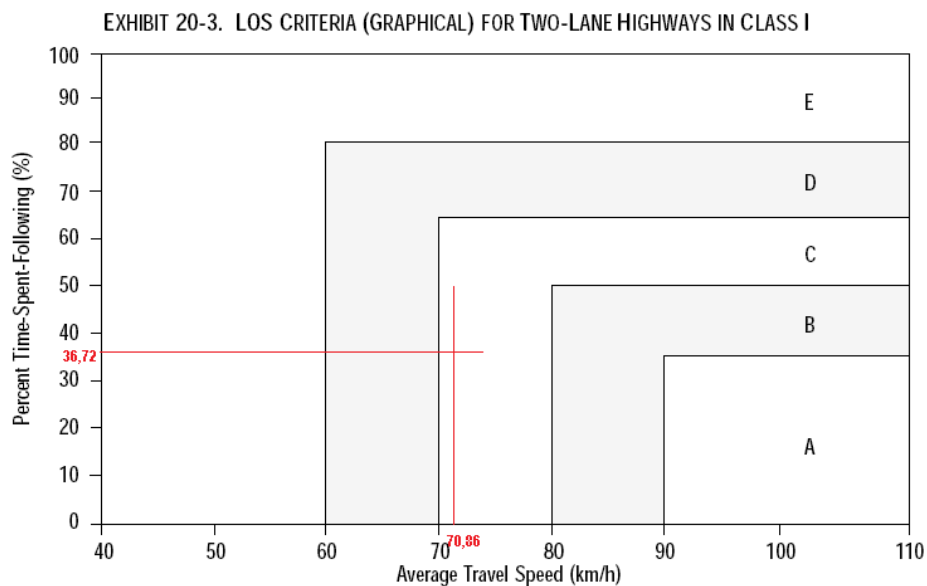
fnp = 9,40 (extrapolado de Tabla 20.20)

$$\text{PTSfd} = 27,32 + 9,40$$

$$\text{PTSfd} = 36,72 \%$$

Paso 4

Determinar el Nivel de Servicio. (TABLA 20-3)



Determinamos con la gráfica un nivel de servicio C

CÁLCULO PARA LA CARRETERA PUERTA AL CHACO

Sector: Tarija – el Portillo – Cruce Ruta del Vino – pasando Cruce Represa Yesera

(Analizamos todo el sector cuya pendiente media es menor al 2%; es decir Terreno plano)

Paso 1

Introducir con los datos generales de la carretera.

Datos:

Características de la vía

Ancho de carril	: 3.50 m
Ancho de berma	: 1.50 m
Tipo de terreno y pendiente promedio	: Plano
Longitud del sector	: 12,7 km

Características del tránsito

Distribución por sentidos	: 50/50
Porcentaje de zonas de no rebase	: 20%

Composición vehicular

% automóviles	: 77%
% buses	: 5 %
% camiones	: 18 %

Volumen horario total ambos sentidos (Q) : 157 pc/hr

PHF : 0,90

Paso 2

Calcular la velocidad promedio de viaje.

Paso 2.1 Determinar la tasa de demanda de flujo.

- Tasa de flujo inicial = $V/PHF = (157 \text{ pc/hr})/0,90 = 174 \text{ pc/hr}$

Determinar $fG = 1$ (tabla 20.7) 0,71

Determinar fHV

$$fHV = 1/(1+PT(ET - 1)+PR(ER - 1))$$

PT = 18%

PR = 5%

ET = 1,7 (tabla 20.9) 2,5

ER = 1 (tabla 20.9) 1,1

$$fHV = 1/(1+0,18(1,7 - 1)+0,05(1 - 1))$$

$$fHV = 0,89$$

Debe calcularse la tasa de demanda de flujo en la dirección analizada, utilizando la siguiente ecuación:

$$vd = V/ PHF*fG*fHV$$

V = 157 pc/h

PHF = 0,90

fG = 1

fHV = 0,89

$$vd = (157 \text{ pc/h}) / (0,90 * 1 * 0,89)$$

$$vd = 196 \text{ pc/h}$$

$$Vo = \text{pc/h} * 0,50 = 98 \text{ pc/h}$$

Paso 2.2 Verificar la capacidad

196 pc/h menor a 3200 pc/hr (capacidad)

98 pc/h menor a 1700 pc/hr (capacidad por carril)

Paso 2.3 Calcular la velocidad promedio de viaje

- Velocidad libre de circulación FFS = BFFS - fl_s - f_A

$$Fl_s = 2,8 \text{ km/h (tabla 20.5)}$$

$$Fl_A = 0,66 \text{ km/h (tabla 20.6)}$$

$$FFS = 80 - 2,8 - 0,66$$

$$FFS = 76,54 \text{ km/h}$$

- Velocidad libre de circulación FFS = 76,54 km/hr
- Velocidad promedio de viaje ATS

$$ATSd = FFS - 0,0125(vd) - fnp$$

$$FFS = 76,54 \text{ km/hr}$$

$$vd = 196 \text{ pc/hr}$$

$$fnp = 0,2 \text{ (tabla 20.19)}$$

$$ATSd = 76,64 \text{ km/hr} - 0,0125(196 \text{ pc/hr}) - 0,2$$

$$ATSd = 73,99 \text{ km/hr}$$

Paso 3

Calcular el porcentaje de tiempo de retraso.

Paso 3.1 Determinar la tasa de demanda de flujo.

- $V/PHF = 174 \text{ pc/hr}$

$$fG = 1 \text{ (tabla 20.8)}$$

Determinar fHV (Factor de ajuste por vehículos pesados).

$$fHV = 1/(1+PT(ET - 1)+PR(ER - 1))$$

Donde:

$$PT = 18\%$$

$$PR = 5\%$$

$$ET = 1,1 \text{ (tabla 20.10) } 1,8$$

$$ER = 1,0 \text{ (tabla 20.10) } 1$$

$$fHV = 1/(1+0,18(1,1 - 1)+0,05(1 - 1))$$

$$fHV = 0,982$$

Debe calcularse la tasa de demanda de flujo en la dirección analizada, utilizando la siguiente ecuación:

$$vd = V/ PHF*fG*fHV$$

$$V = 157 \text{ pc/hr}$$

$$fG = 1$$

$$fHV = 0,982$$

$$vd = (157 \text{ pc/hr})/ (0,90*1*0,982)$$

$$vd = 178 \text{ pc/hr}$$

$$V_o = 178 \text{ pc/h} * 0,50 = 89 \text{ pc/hr}$$

Paso 3.2 Verificar la capacidad

178 pc/hr menor a 3200 pc/hr (capacidad)

89 pc/hr menor a 1700 pc/hr (capacidad por carril)

Paso 3.3 Calcular porcentaje de tiempo de retraso

- Calcular el Porcentaje de tiempo de retraso de base

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879vd})$$

$$BTSF = 14,48 \%$$

- Calcular el porcentaje de tiempo de retraso PTSF

$$PTSFd = BPTSFd + fnp$$

$$BPTSFd = 14,48 \%$$

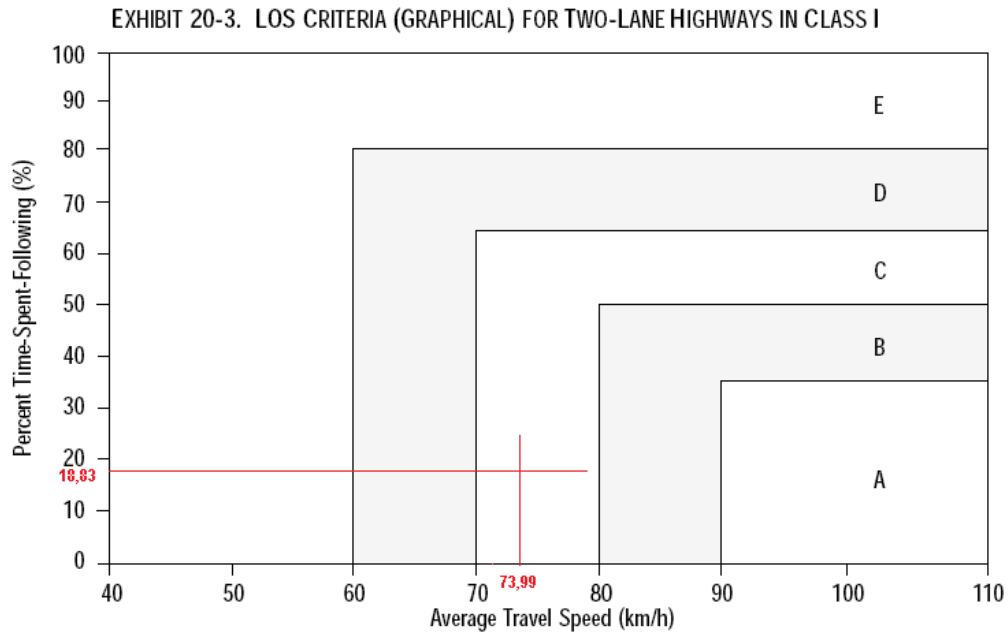
$$fnp = 4,35 \text{ (Tabla 20.20)}$$

$$PTSFd = 14,48 + 4,35$$

$$PTSFd = 18,83 \%$$

Paso 4

Determinar el Nivel de Servicio. (TABLA 20.3)



Determinamos con la gráfica un nivel de servicio C

Sector: pasando Cruce Represa Yesera – Puerta el Chaco (3,8 km)

(Analizamos todo el sector cuya pendiente media es 5%)

Paso 1

Introducir con los datos generales de la carretera.

Datos:

Características de la vía

Ancho de carril : 3.50 m

Ancho de berma : 1.50 m
Tipo de terreno y pendiente promedio : Ondulado 5%
Longitud del sector : 3,8 km

Características del tránsito

Distribución por sentidos : 50/50
Porcentaje de zonas de no rebase : 40%

Composición vehicular

% automóviles : 77%
% buses : 5 %
% camiones : 18 %
Volumen horario total ambos sentidos (Q) : 157 pc/hr
PHF : 0,90
Velocidad de Diseño del Proyecto 70 km/h

Paso 2

Calcular la velocidad promedio de viaje.

Paso 2.1 Determinar la tasa de demanda de flujo.

- Tasa de flujo inicial= $V/PHF = (157 \text{ pc/hr})/0,90 = 174 \text{ pc/hr}$

Determinar $fG = 0,71$ (tabla 20.7)

Determinar fHV

$$fHV = 1/(1+PT(ET - 1)+PR(ER - 1))$$

$PT = 18\%$

$PR = 5\%$

ET = 2,5 (tabla 20.9)

ER = 1,1 (tabla 20.9)

$$fHV = 1/(1+0.18(2,5 - 1)+0,05(1,1 - 1))$$

$$fHV = 0,784$$

Debe calcularse la tasa de demanda de flujo en la dirección analizada, utilizando la siguiente ecuación:

$$vd = V / PHF * fG * fHV$$

$$V = 157 \text{ pc/h}$$

$$PHF = 0,90$$

$$fG = 0,71$$

$$fHV = 0,89$$

$$vd = (157 \text{ pc/h}) / (0,90 * 0,71 * 0,89)$$

$$vd = 276 \text{ pc/h}$$

$$Vo = \text{pc/h} * 0,50 = 138 \text{ pc/h}$$

Paso 2.2 Verificar la capacidad

276 pc/h menor a 3200 pc/hr (capacidad)

138 pc/h menor a 1700 pc/hr (capacidad por carril)

Paso 2.3 Calcular la velocidad promedio de viaje

- Velocidad libre de circulación FFS = BFFS - f_l - f_A

BFFS = Velocidad de diseño 70 km/h

f_l = 2,8 km/h (tabla 20-5)

$Fl_A = 0,66 \text{ km/h}$ (tabla 20-6)

$$FFS = 70 - 2,8 - 0,66$$

$$FFS = 66,54 \text{ km/h}$$

- Velocidad libre de circulación FFS = 66,54 km/hr
- Velocidad promedio de viaje ATS

$$ATSd = FFS - 0,0125(vd) - fnp$$

$$FFS = 66,54 \text{ km/hr}$$

$$vd = 276 \text{ pc/hr}$$

$$fnp = 2 \text{ (extrapolado tabla 20.19)}$$

$$ATSd = 66,54 \text{ km/hr} - 0,0125(276 \text{ pc/hr}) - 2$$

$$ATSd = 61,19 \text{ km/hr}$$

Paso 3

Calcular el porcentaje de tiempo de retraso.

Paso 3.1 Determinar la tasa de demanda de flujo.

- $V/PHF = 174 \text{ pc/hr}$

$$fG = 0,77 \text{ (tabla 20-8)}$$

Determinar fHV (Factor de ajuste por vehículos pesados).

$$fHV = 1/(1+PT(ET - 1)+PR(ER - 1))$$

Donde:

$$PT = 18\%$$

$$PR = 5\%$$

$$ET = 1,8 \text{ (tabla 20.10)}$$

$$ER = 1 \text{ (tabla 20.10)}$$

$$fHV = 1/(1+0,18(1,8 - 1)+0,05(1 - 1))$$

$$fHV = 0,87$$

Debe calcularse la tasa de demanda de flujo en la dirección analizada, utilizando la siguiente ecuación:

$$vd = V/ PHF*fG*fHV$$

$$V = 157 \text{ pc/hr}$$

$$fG = 0,77$$

$$fHV = 0,87$$

$$vd = (157 \text{ pc/hr})/ (0,90*0,77*0,87)$$

$$vd = 260 \text{ pc/hr}$$

$$Vo = 260 \text{ pc/h}*0,50 = 130 \text{ pc/hr}$$

Paso 3.2 Verificar la capacidad

260 pc/hr menor a 3200 pc/hr (capacidad)

130 pc/hr menor a 1700 pc/hr (capacidad por carril)

Paso 3.3 Calcular porcentaje de tiempo de retraso

- Calcular el Porcentaje de tiempo de retraso de base

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879vd})$$

$$BTSF = 20,43 \%$$

- Calcular el porcentaje de tiempo de retraso PTSF

$$PTSFd = BPTSFd + fnp$$

BPTSFd = 20,43 %

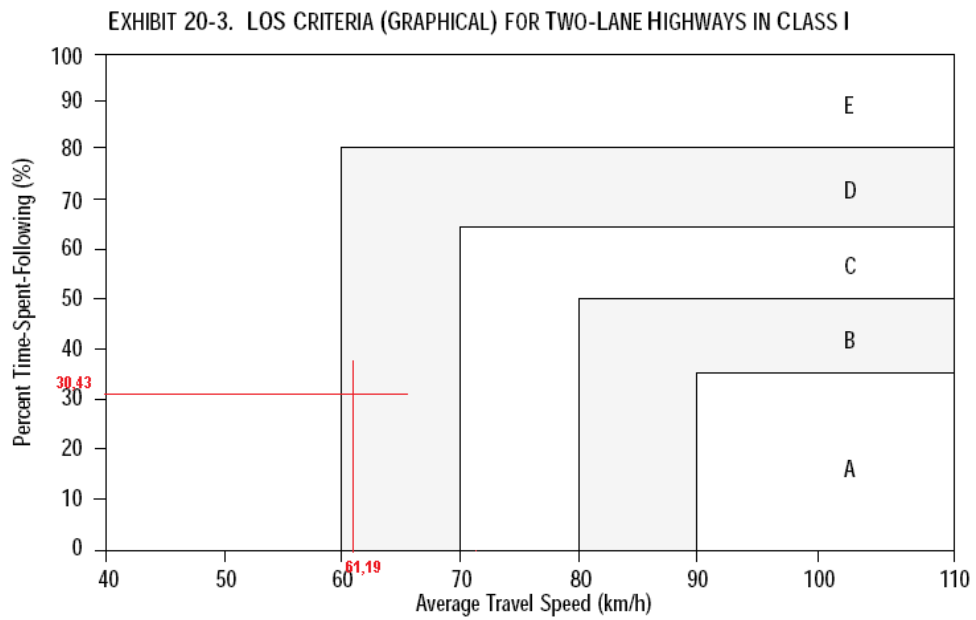
fnp = 12 (extrapolado Tabla 20.20)

PTSFd = 20,43 + 10

PTSFd = 30,43 %

Paso 4

Determinar el Nivel de Servicio. (TABLA 20-3)



Determinamos con la gráfica un nivel de servicio D

4.7 Resultados

4.7.1 Procedimiento con el manual INVIAS

La Tabla 4.7.1 ilustra un resumen de los datos obtenidos luego de realizar todos los cálculos utilizando el Manual INVIAS.

Tabla 4.7.1. Tabla de resultados según metodología INVIAS

VÍA	ÍTEM	C6	C5	V	Nivel de
Carretera a San Lorenzo	“Sector 1”	2826	2741	66,4	C
	“Sector 2”	2853	2764	69	C
Carretera Puerta al Chaco	“Sector 1”	2718	2625	67,1	C
	“Sector 2”	2635	2535	64,5	C
	“Sector 3”	2646	2547	60,9	D
	“Sector 4”	2136	2016	46,7	D

4.7.2 Procedimiento con el manual HCM 2000

La Tabla 4.7.2 ilustra un resumen de los datos obtenidos luego de realizar todos los cálculos utilizando el Manual HCM 2000.

Tabla 4.7.2. Tabla de resultados según metodología HCM 2000

VÍA	ÍTEM	ATSd	PTSFd	LOS
Carretera San Lorenzo	“Sector 1”	70,86	36,72	C
Carretera Puerta al Chaco	“Sector 1”	73,99	18,83	C
	“Sector 4”	61,19	30,43	D

ATSd = Velocidad promedio de viaje

(km/h) $PTSF_d$ = Porcentaje de tiempo de retraso

(%) LOS = Nivel de servicio

4.8 Valoración de resultados

4.8.1 Metodología INVIAS

Carretera Tarija – San Lorenzo

Sector 1 Sub-tramo Tarija – Cruce Santa Bárbara

La Capacidad ideal en este sector de la vía se ve reducida en un 12% por los factores de corrección aplicados.

La velocidad promedio de viaje es de 66,4 km/h, la cual es un 5% menor a la velocidad en el sub-tramo Tarija – Santa Bárbara debido al efecto de la curva más cerrada, y al volumen vehicular que es mayor en este sub-tramo.

El Nivel de Servicio es C, es moderado aunque el volumen de tránsito es relativamente bajo, lo que muestra la preponderancia de los factores relacionados con la vía como ser pendiente y curva, sobre los del tránsito.

Sector 2 Sub-tramo Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo

La Capacidad ideal en este sector de la vía se ve reducida en un 11% por los factores de corrección aplicados.

La velocidad promedio de viaje es de 69 km/h.

El Nivel de Servicio es C, es moderado aunque el volumen de tránsito es relativamente bajo, lo que muestra la preponderancia de los factores relacionados con la vía como ser pendiente y curva, sobre los del tránsito.

Carretera Tarija – Puerta del Chaco

Sector 1 Tarija – El Portillo

La Capacidad ideal en este sector de la vía se ve reducida en un 16% por los factores de corrección aplicados, correspondientes a las características de la vía.

La velocidad promedio de viaje es de 67,1 km/h.

El Nivel de Servicio es C, es moderado aunque el volumen de tránsito es relativamente bajo, lo que muestra la preponderancia de los factores relacionados con la vía, sobre los del tránsito.

Sector 2

La Capacidad ideal en este sector de la vía se ve reducida en un 18% por los factores de corrección aplicados.

La velocidad promedio de viaje es de 64,5 km/h, misma velocidad que se ve reducida debido al incremento de pendiente de 0,5% con respecto al sector anterior.

El Nivel de Servicio es C, es moderado aunque el volumen de tránsito es relativamente bajo, lo que muestra la preponderancia de los factores relacionados con la vía como ser pendiente y curva, sobre los del tránsito.

Sector 3

La Capacidad ideal en este sector de la vía se ve reducida en un 20% por los factores de corrección aplicados debido a las características del sector.

La velocidad promedio de viaje es de 60,9 km/h, la cual es un 10% menor a la velocidad en el sub-tramo Tarija – el Portillo debido al efecto de la curva más cerrada y a su pendiente 0,5 % más pronunciada que en el sector 1.

El Nivel de Servicio es D, es bajo con respecto al volumen de tránsito que no varía a lo largo del tramo en estudio, lo que muestra la preponderancia de los factores relacionados con la vía como ser pendiente y curva, sobre los factores del tránsito.

Sector 4

La Capacidad ideal en este sector de la vía se ve reducida en un 35% por los factores de corrección aplicados, correspondientes a las características de la vía.

La velocidad promedio de viaje es de 46,7 km/h. Debido a la pendiente que se observa en este sector. (5%)

El Nivel de Servicio es D, es bajo para el volumen de tránsito que se mantiene estable, lo que muestra que la pendiente es un factor que tiene gran influencia en la velocidad promedio de viaje y al mismo tiempo en el nivel de servicio.

4.8.2 Metodología HCM 2000

Carretera Tarija – San Lorenzo

Para el cálculo con el manual Americano se trabajó todo el tramo Tarija – San Lorenzo debido a que todo el tramo corresponde a un terreno plano. Se adoptó el dato del mayor volumen entre los dos sectores.

La velocidad promedio de viaje corresponde a 70,86 km/h.

El porcentaje de tiempo de retraso es cercano al 37%. Lo que corresponde a una vía aun estable en operación y Servicio.

El Nivel de Servicio es C correspondiente a la velocidad promedio de viaje y al tiempo de retraso.

Carretera Tarija – Puerta del Chaco

Para el cálculo con el manual Americano se trabajó en dos sub-tramos en el tramo Tarija – Puerta del Chaco, el primer sub-tramo que corresponde a los sectores 1, 2 y 3; y el segundo sub-tramo el sector 4; debido a la presencia de dos tipos de pendiente

de variación apreciable; la primera corresponde a terreno plano y la segunda a Ondulado.

Sub-tramo 1 (Sector 1,2,3)

La velocidad promedio de viaje corresponde a 73,99 km/h.

El porcentaje de tiempo de retraso es cercano al 18,83%.

El Nivel de Servicio es C correspondiente a la velocidad promedio de viaje y al tiempo de retraso obtenidos de los cálculos.

Sub-tramo 2 (Sector 4)

La velocidad promedio de viaje corresponde a 61,19 km/h un 15 % menor a la velocidad en el sub-tramo 1.

El porcentaje de tiempo de retraso es cercano al 30,43%, debido al incremento de pendiente y a la vez de zonas de no rebase.

El Nivel de Servicio es D correspondiente a la velocidad promedio de viaje y al tiempo de retraso obtenidos de los cálculos. Observamos que éste es el sector más crítico del tramo en estudio.

Carretera	Sector	Velocidad Promedio de viaje (m/s)		Nivel de Servicio	
		INVIAS	HCM 2000	INVIAS	HCM 2000
Carretera San Lorenzo	Sector 1	66,4	70,86	C	C
	Sector 2	69	70,86	C	C
Carretera Puerta al Chaco	Sector 1	67,1	73,99	C	C
	Sector 2	64,5	73,99	C	C
	Sector 3	60,9	73,99	D	C
	Sector 4	46,7	61,19	D	D

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los modelos computacionales son herramientas de mucha utilidad para la determinación de Capacidad Vehicular y el Nivel de Servicio.

El estudio de la Capacidad de una vía y de su Nivel de Servicio, constituye un paso preliminar para el diseño y la planeación de posibles intervenciones tendientes a su mejoramiento. En este sentido, se espera que el presente documento contribuya como punto de partida para otros investigadores.

Según el Programa INVIAS la Carretera a San Lorenzo tiene un Nivel de Servicio “C” a lo largo de todo el tramo y un incremento de velocidad del 5 % en el Sub-tramo Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo y una velocidad promedio de viaje de 66,4 km/h a 69 km/h.

La carretera Tarija – San Lorenzo tiene un Nivel de Servicio “C” según el Manual HCM2000. Con una Velocidad de operación mayor a 70 km/h.

La velocidad promedio de viaje en la Carretera Tarija – Puerta del Chaco según el INVIAS es de 67,1 km/h en el primer sector y va disminuyendo a 64,5 km/h en el segundo sector, 60,9 km/h en el sector 3; hasta bajar a 46,7 km/h en el sector crítico. El Nivel de Servicio es C se mantiene estable hasta entrar al sector crítico donde se tiene un Nivel de Servicio D.

En cuanto al Manual Americano la velocidad promedio de viaje en Carretera Tarija – Puerta del Chaco se mantiene estable en 73,99 km/h en un Nivel de Servicio C; hasta entrar al sector crítico donde disminuye un 20 % hasta 61 km/h; correspondiente a un Nivel de Servicio D, según el HCM2000.

Todas las variables que intervienen en la determinación de la Capacidad y el Nivel de Servicio a partir de la metodología del INVIAS, se encuentran clara y objetivamente definidas bien sea por mediciones de campo o por datos consignados en el Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles.

En algunos casos no se ha dispuesto de información suficiente para la aplicación de la metodología del Manual de Capacidad Vial “HCM 2000” por lo que se ha debido recurrir a la extrapolación de datos o a la presunción de otros de ellos con criterio

ingenieril. Este hecho debe resaltarse porque puede tener incidencia en los resultados últimos del proceso, no obstante, este documento representa una aproximación académica juiciosa a la implementación de una metodología diseñada para condiciones específicas de la realidad norteamericana.

5.2 Recomendaciones

Debido a que la mayoría de los parámetros mostrados en el manual de Capacidad Americano HCM2000 no corresponden a nuestro medio se recomienda usar nuestro criterio en base a los parámetros obtenidos de nuestras vías en análisis.

Se debe tener cuidado con la introducción de datos en ambos programas, y realizar una verificación minuciosa de los resultados obtenidos, para analizar la coherencia de los mismos.