

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La denominada curiosidad intelectual y la presencia de problemas claramente identificados en nuestro medio hace necesario profundizar en el contexto de estas situaciones en procura de respuestas que contribuyan a su solución. Es común detectar pelotones o grandes masas de vehículos en las vías de la ciudad de Tarija a distintas horas del día en diferentes días de la semana lo cual genera la llamada congestión vehicular. Es por ello que debe realizarse un diagnóstico actualizado del comportamiento vehicular y una proyección a futuro del mismo a través de las nuevas herramientas con las que se cuenta hoy en día, como es el caso del software “SIMCAR”, capaz de realizar una simulación precisa del flujo vehicular, como también de facilitar los parámetros de la capacidad vehicular de dichas vías, al igual que el nivel de servicio que ofrecen al usuario, como elemento de partida que contribuya a estudios posteriores de planeación e intervención de las vías que son parte de la ciudad de Tarija y del departamento.

Para hablar de congestión vehicular debemos definir primeramente qué es el tráfico o flujo vehicular, que conceptualmente es el fenómeno causado por el flujo de vehículos que transitan por un determinado tramo o una vía, calle o autopista; entonces la congestión vehicular es la condición de un flujo vehicular que se ve saturado debido al exceso de demanda en las vías, tal fenómeno se produce comúnmente en las horas pico y produce reducción de velocidades, incremento en los tiempos de viaje, molestia en los conductores y hasta consumo excesivo de combustible.

La congestión de tráfico ha ido aumentando en gran parte del mundo, como también en nuestro país, en nuestro departamento y nuestra ciudad no se ve alejada de esta realidad y todo indica que seguirá agravándose, constituyendo una molestia sobre la calidad de la vida urbana.

La congestión es causada principalmente por el uso intensivo del automóvil, cuya prioridad se ha masificado en los últimos años por lo general en todo el territorio nacional,

el automóvil posee ventajas en términos de facilitar la movilidad personal, otorgar sensación de seguridad y aún de estatus especialmente en países en vías de desarrollo.

La situación se ve agravada en las ciudades y regiones debido a la existencia de problemas de diseño y conservación en la vialidad de las mismas, estilos de conducción que no respetan a los demás, defectuosa información sobre las condiciones de tránsito y gestiones inapropiadas de las autoridades competentes.

Entre las señales de control de tráfico más importantes con las que se cuentan en esta ciudad de nuestro departamento son la señalización vertical, horizontal y los semáforos, que son dispositivos encargados de regular el tráfico y, por tanto, el tránsito peatonal; la falta de señales de tránsito, la mala ubicación de las mismas, su estado deficiente, y un mal programa de regulación de la semaforización, no solo conllevan a que incremente la congestión, sino también da lugar a accidentes, poniendo en peligro no solo a los conductores sino también a los peatones que circulan por esas intersecciones.

Para que se pueda evitar de una manera efectiva el congestionamiento de tráfico vehicular es necesario que se implementen señales de control en los puntos conflictivos de la ciudad. Entre los métodos más fiables y comunes para el descongestionamiento de tráfico se encuentran los semáforos, siempre que éstos se encuentren bien ubicados, estén estudiados y bien programados para que sean efectivos en su función; además de todas las señales horizontales y verticales correspondientes. Para ello, a través de los años y la evolución de la tecnología se han desarrollado diferentes herramientas para evaluar el comportamiento y la proyección del tránsito vehicular y de esta manera conseguir soluciones oportunas al sistema urbano y carretero de nuestras ciudades.

1.2 Situación problemática

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

Las principales causales de esta investigación y posterior aplicación son los problemas de tráfico presentes en la ciudad de Tarija, niveles de servicio que presentan calles embotelladas y congestionadas, donde el conductor no puede realizar maniobras con

libertad, falta de educación vial, falta de mantenimiento en las calles, avenidas y carreteras del departamento y del país, en la señalización horizontal y vertical, estrés en los peatones por presencia de la excesiva masa vehicular y otros factores que afectan el flujo vehicular en nuestra ciudad.

La simulación vehicular como también la determinación de la capacidad y nivel de servicio son fundamentales para la toma 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 el proceso de simulación.

El manipuleo de una gran cantidad de datos es un procedimiento que demora tiempo y muchas veces está sujeto a errores que se arrastran a lo largo del cálculo; el proceso de simulación como también la determinación de la capacidad vehicular y del nivel de servicio dependen del tipo y cantidad de vehículos que circulan por el tramo, de las características geométricas, tales como ser pendientes, radios de curvatura y otras. Frente a esta situación lo más común es rehacer los cálculos o en el caso de realizar muchos tramos realizar el mismo procedimiento de corrección una y otra vez y finalmente realizar una verificación, lo cual resulta en pérdida de tiempo y dinero, con la manipulación del software informático la variación de datos o manipuleo de los mismos ya no es un problema debido a que éstos pueden ser verificados y editados cuando sea necesario, para de esta manera optimizar el tiempo y obtener mejores resultados.

1.2.1 Problema

¿Nos permitirá la aplicación del software informático SIMCAR: Para la simulación del tráfico vehicular en vías de dos carriles y en vías multicarril, en la ciudad de Tarija, obtener resultados precisos con la celeridad necesaria para dar solución a los problemas de tráfico?

1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema

El aporte del presente estudio de aplicación brinda información fundamental acerca de nuevas herramientas en el campo de la ingeniería de tráfico y de la simulación vehicular como ser el uso y aplicación del software SIMCAR, cuyos resultados definen absolutamente una simulación con todos los parámetros reales obtenidos en campo de las vías urbanas de nuestra ciudad y el comportamiento de las intersecciones más críticas del

tramo estudiado; con este trabajo es mucho más eficiente y más sencilla la toma de decisiones, las medidas y acciones para solucionar y mejorar la calidad del tránsito y su relación con el peatón.

El proyecto de aplicación es factible desde todo punto de vista, el software proveniente de la universidad de Cauca, Colombia; está disponible en la plataforma Topo3 para su utilización de manera libre y gratuita. La información de campo cuyos parámetros fueron recopilados por el proyectista y el personal de apoyo tales como ser el aforo del tránsito vehicular, medición promedio de velocidad de los vehículos en la vía, y por ultimo las características geométricas del tramo como ser ancho de vía, radios de curvatura vertical, horizontal y pendientes obtenidos de la planimetría solicitada a la dirección de ordenamiento territorial (DOT) y del levantamiento topográfico realizado por el proyectista; tal información y parámetros en ningún momento pusieron en riesgo la factibilidad del proyecto.

1.2.3 Delimitación temporal y espacial de la investigación y aplicación

La aplicación del estudio comprende el tramo de la vía multicarril avenida Panamericana, que se inicia posterior a la rotonda de la zona del Aeropuerto, en la intersección con la calle Ana Alicia Oliva donde se encuentra el supermercado “Urkupiña” hasta la rotonda de acceso a la nueva terminal en la zona El Portillo cuya calle no tiene nombre; este tramo recorre 4.00 km de vía aproximadamente donde se realizó la intervención del proyectista y su colaboradores en 8 intersecciones críticas para el conteo vehicular y la obtención de datos.

El proceso de conteo vehicular se realizó bajo la normativa AASHTO, durante 15 días continuos solo en horarios pico 7:00-8:00, 11:00-12:00 y 15:00-16:00 cuya situación presenta estados críticos de tráfico obtenidos del histograma vehicular producto del aforo continuo de un día completo.

La información de la vía, sus características geométricas fueron obtenidas a través de una solicitud a la dirección de ordenamiento territorial, cuyas planimetrías asemejan el estudio lo más próximo y preciso a la vía multicarril, también se realizó el levantamiento topográfico con estación total con la colaboración del laboratorio de suelos y topografía de la UAJMS.

El trabajo de gabinete más extenso, cuyo mayor tiempo se tomó en el conteo de las planillas de aforo para su posterior proceso probabilístico y selección de datos con la confiabilidad requerida, por último el ingreso de todos los datos al software, la verificación y la obtención de los resultados.

1.3 Justificación del proyecto

Con la aparición de micrordenadores 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 vías de nuestro medio debido al gran aumento de usuarios de transporte tanto público como privado.

La excedencia de la capacidad vehicular y la mala educación vial por parte de los usuarios, conductores y peatones, provoca un tráfico vehicular desordenado y problemático con congestión y embotellamientos.

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 convivencia.

Para facilitar y mejorar la determinación del comportamiento del tráfico a través de la simulación en las carreteras y avenidas de nuestro medio se aplicará un software informático de simulación vehicular "SIMCAR", una herramienta tecnológica que nos ayudará a optimizar el tiempo y resultados para dar alternativas de solución a los problemas de tráfico.

La aplicación del software permitirá realizar una adaptación de éste 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 brindará aportes al proceso de investigación continua que lleva a cabo la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, como también aportará información acerca de su aplicabilidad a las diferentes instituciones destinadas al control de tráfico en el país.

El aporte académico de este estudio es principalmente la importancia de aplicabilidad de un software informático en el campo de la simulación vehicular, que nos sirve de base para poder dar solución a los problemas de tráfico que comúnmente se presentan en las vías de la ciudad de Tarija.

1.4 Objetivos del proyecto

1.4.1 Objetivo general

Aplicar el software informático para la simulación vehicular en la triple vía multicarril de la ciudad de Tarija, avenida Panamericana, de tal manera que facilite y optimice el análisis y proyección del comportamiento del tráfico.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar en campo la información de la vía y muestreo del tráfico para el desarrollo del objetivo del estudio.
- Establecer las características del manejo del software.
- Simular el comportamiento y las características del tráfico en la vía.
- Evaluar alternativas de solución en el tramo estudiado.
- Simular y definir soluciones factibles que mejoren el flujo vehicular en el tramo.
- Analizar los resultados obtenidos para comparar y valorar el uso del software informático.

1.5 Hipótesis

A través del estudio del tráfico y la adecuada aplicación del software informático SIMCAR para la simulación vehicular de nuestro tramo de estudio en la avenida multicarril Panamericana comprendido desde la zona Aeropuerto hasta la zona El Portillo, se plantea la herramienta informática como una alternativa más para los estudios de tráfico

en la ciudad de Tarija en busca de soluciones factibles que contribuyan al desarrollo tecnológico de la ingeniería en nuestro medio.

1.6 Operacionalización de variables

1.6.1 Variable independiente

Tabla N° 1: Variables independientes de la vía.

| Variable | Conceptualización | Dimensión | Indicador | Valor/acción |
|----------|---|---------------------|----------------|--|
| Vías | Son espacios en vía pública, destinados exclusivamente a vehículos, ya sean motorizados o no motorizados. | Geometría | m | Relación ancho de vía, número de carriles y el paso vehicular. |
| | | Topografía | msnm | Relación pendiente de vía, subida, bajadas y las velocidades de los vehículos. |
| | | Capacidad vehicular | vehículos/hora | Relación número máximo de vehículos que permite la vía en una hora. |
| | | Nivel de servicio | A, B, C, D O F | Relación calidad del flujo vehicular en estado crítico, horas pico. |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 2: Variables independientes de las señales de tránsito

| Variable | Conceptualización | Dimensión | Indicador | Valor/acción |
|---------------------|--|---------------|-----------|---|
| Señales de Tránsito | Son elementos que complementan la vía que regulan, advierten e informan las normas del tránsito y las características de diseño de la vía. | Semáforos | seg | Relación tiempos de rojo, amarillo y verde frente al tránsito vehicular de ambas vías de la intersección. |
| | | Rompe muelles | km/h | Relación cambio de velocidad y acumulación de vehículos en la vía. |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 3: Variables independientes de tráfico vehicular

| Variable | Conceptualización | Dimensión | Indicador | Valor/acción |
|-----------|--|--------------------------------------|----------------|--|
| Vehículos | Son elementos motorizados de transporte público y privado autorizados para el tránsito sobre la calzada de la vía. | Automóvil (Pequeño) | vehículos/hora | Relación número de vehículos por hora en situación crítica, hora pico. |
| | | Camión 2 ejes (Pequeño) | vehículos/hora | Relación número de vehículos por hora en situación crítica, hora pico. |
| | | Camión 2 ejes (Grande) | vehículos/hora | Relación número de vehículos por hora en situación crítica, hora pico. |
| | | Camión C3 y C4 (Grande) | vehículos/hora | Relación número de vehículos por hora en situación crítica, hora pico. |
| | | Tracto camión C3S2 (Remolque 2 ejes) | vehículos/hora | Relación número de vehículos por hora en situación crítica, hora pico. |
| | | Tracto camión C3S3 (Remolque 3 ejes) | vehículos/hora | Relación número de vehículos por hora en situación crítica, hora pico. |

FUENTE: Elaboración propia.

1.6.2 Variables dependientes

Tabla N° 4: Variables dependientes de la simulación vehicular

| Variable | Conceptualización | Dimensión | Indicador | Valor/acción |
|----------------------|--|--------------------|----------------|---|
| Simulación Vehicular | Acción de simular, recrear alguna acción común del tránsito vehicular en la vía lo más próxima o semejante a la realidad con el fin de facilitar la manipulación de datos y estudiar distintas alternativas de solución. | Vía | km, m | Relación característica de la vía y tránsito promedio diario TPD. |
| | | Señalización | km/h, seg | Relación Señalización de la vía y tránsito promedio diario. |
| | | Tránsito vehicular | vehículos/hora | Relación tránsito promedio diario TPD y vía en estudio. |

FUENTE: Elaboración propia.

1.7 Identificación del tipo de investigación

El proyecto de aplicación se identifica como un tipo de investigación descriptiva, el cual desea describir una realidad mediante la aplicación del software.

1.8 Unidades de estudio y decisión muestral

La unidad de estudio o unidad de análisis está referida al contexto, característica o variable que se desea investigar. Es así como la unidad puede estar dada por una persona, un grupo, un objeto u otro que contengan claramente los eventos a investigar.

Se debe resaltar que las unidades de estudio se deben definir de tal modo que a través de ellas se puedan dar una respuesta completa y no parcial a la interrogante de la investigación.

1.8.1 Unidades de estudio

Tabla N° 5: Unidades de estudio

| Problema | Unidad de estudio |
|---|--|
| ¿Son determinantes las características y condiciones de la vía en un estudio de tráfico vehicular? | La geometría de la vía en estudio. |
| ¿Existen diferencias influyentes entre un tipo de vehículo y otro que puedan afectar un correcto estudio de simulación? | Los tipos de vehículos que transitan por la vía. |
| ¿Es importante conocer el comportamiento común que realizan los conductores a la hora de tomar decisiones en la vía? | Las características de los conductores que transitan comúnmente por la vía. |
| ¿Conocer el tráfico de la vía en promedio durante un tiempo representativo puede considerarse como una muestra fundamental para un estudio de Simulación? | El tránsito promedio diario (TPD) y el porcentaje de distribución vehicular. |
| ¿Las normativas de tránsito son influyentes a la hora de transitar por las vías multicarril y/o carreteras de nuestra ciudad y/o departamento? | Los parámetros generales y las características de operación. |

FUENTE: Elaboración Propia.

1.8.2 Población estadística

Es el conjunto de elemento como ser; individuos, objetos, propiedades, medidas u otros que comparten alguna característica observable en un lugar y en momento dado, para contribuir a un evento o fenómeno.

Se pueden identificar dos tipos de poblaciones que son:

Población finita; se refiere a ese conjunto que tiene un número conocido de elementos.

Población infinita; no se conoce el número de elementos.

Se puede identificar claramente que nuestro estudio de aplicación corresponde a un tipo de población finita, donde se conoce el número total de elementos; estos elementos corresponden al número de vehículos que circulan por el tramo en estudio.

1.8.3 Muestra

Es una parte representativa que se toma de la población, a veces la población es demasiado grande para poder estudiarla en un 100% por lo que es necesario tomar un número reducido, considerando que la muestra nos brindará una representación característica de elementos a ser estudiados, en este caso los vehículos.

En algunos casos la muestra es la misma población, dependiendo de qué es lo que define el objeto de investigación, la muestra contiene las variables que serán medidas para que pueda evolucionar el proceso de investigación.

Para el proyecto la muestra fue tomada a través del aforo vehicular en 8 puntos o intersecciones del tramo en la vía estudiada, en los horarios establecidos a través de histograma vehicular, los cuales fueron 7:00-8:00, 11:00-12:00 y 15:00-16:00, representativos en los que la vía alcanza picos de capacidad según la bibliografía consultada.

1.8.4 Selección de técnicas de muestreo

Se refiere a la forma procedimental que se utiliza para reclutar a los elementos de la muestra, para ello existen dos métodos: el probabilístico y el no probabilístico, cuyo uso puede darse en cualquier tipo de investigación ya sea cualitativo o cuantitativo.

El proyecto se realizó bajo un procedimiento de muestreo probabilístico siguiendo las recomendaciones de la bibliografía consultada.

1.8.4.1 Muestreo probabilístico

Cuando se usa el término probabilístico, significa que todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. Para ello, los elementos deben ser sometidos a

procedimientos que define el investigador, de acuerdo a la técnica que ha seleccionado en la definición de su muestra.

Es un trabajo netamente de gabinete, en el cual se realizó la depuración de los datos obtenidos en campo, que se encuentren fuera de rango, mismo que fue previamente establecido con una desviación estándar determinada y una media calculadas con la muestra.

1.9 Métodos y técnicas empleadas

1.9.1 Definición

Investigación semiexperimental

Son parecidas a los diseños experimentales; buscan establecer una relación causa y efecto. Pero en este tipo de estudios una variable independiente se identifica y no se manipula por el investigador.

En este caso se trata de medir los efectos de la variable independiente en la variable dependiente.

El investigador no asigna grupos aleatoriamente y debe usar grupos que se forman naturalmente o que ya existen.

Los grupos control identificados que se exponen al tratamiento son estudiados y comparados con los que no pasan por esto.

1.9.2 Técnicas de muestreo

En el presente proyecto de aplicación la trabajamos bajo un muestreo probabilístico, para contar con datos armónicos entre sí y evitar datos extraordinarios, dispersos y fuera de rango que alteren los resultados del estudio de aplicación.

1.9.3 Descripción de los instrumentos

El trabajo de campo para la obtención de datos estuvo clasificado y dividido bajo diferentes tipos de mediciones e instrumentos que se mencionan a continuación:

Para la geometría de la vía:

Los parámetros técnicos, geometría y características físicas de la vía fueron obtenidos de la planimetría realizada por la dirección de ordenamiento territorial (DOT), y los datos de la superficie a través de un levantamiento topográfico, el cual nos proporcionó datos precisos de las condiciones geométricas de la vía en el tramo estudiado.

Figura N° 1: Instrumentos utilizados para el levantamiento topográfico



FUENTE: Elaboración propia.

También se procedió a la medición manual de la sección transversal del tramo en diferentes puntos para lo cual utilizamos como instrumento un flexómetro y una cinta métrica.

Figura N° 2: Instrumentos utilizados para la geometría de las vías




FUENTE: Elaboración propia.

Para clasificar los tipos de vehículos y tránsito promedio diario (aforo vehicular)

El aforo vehicular se realizó de forma manual, para lo cual se dispuso de planillas impresas que nos sirvieron de apoyo para clasificar el tipo de vehículos, la dirección en la que transita y la cantidad de vehículos que transitan por determinado punto de control en los horarios definidos.

Figura N° 3: Planilla de aforo modelo para conteo vehicular



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEI SARACHO
"El presente lo escribieron juntos"

FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

INTERSECCION:


FECHA:








HORA:

PLANILLA DE AFORO VEHICULAR

DATOS DE VELOCIDAD
L=

| VEHICULO | TIEMPO |
|----------|--------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |



| PUNTO | TIPO DE VEHICULO | | | | | | |
|-------|--|---|--|---|---|--|--|
| |  AUTOMOVIL (PEQUEÑO) |  MICROBUS |  CAMION 2 EJES (PEQUEÑO) |  CAMION 2 EJES (GRANDE) |  CAMION C3 Y C4 (3 Y 4 EJES) |  TRACTO-CAMION C3 S2 (REMOLQUE 2 EJES) |  TRACTO-CAMION C3 S3 (REMOLQUE 3 EJES) |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

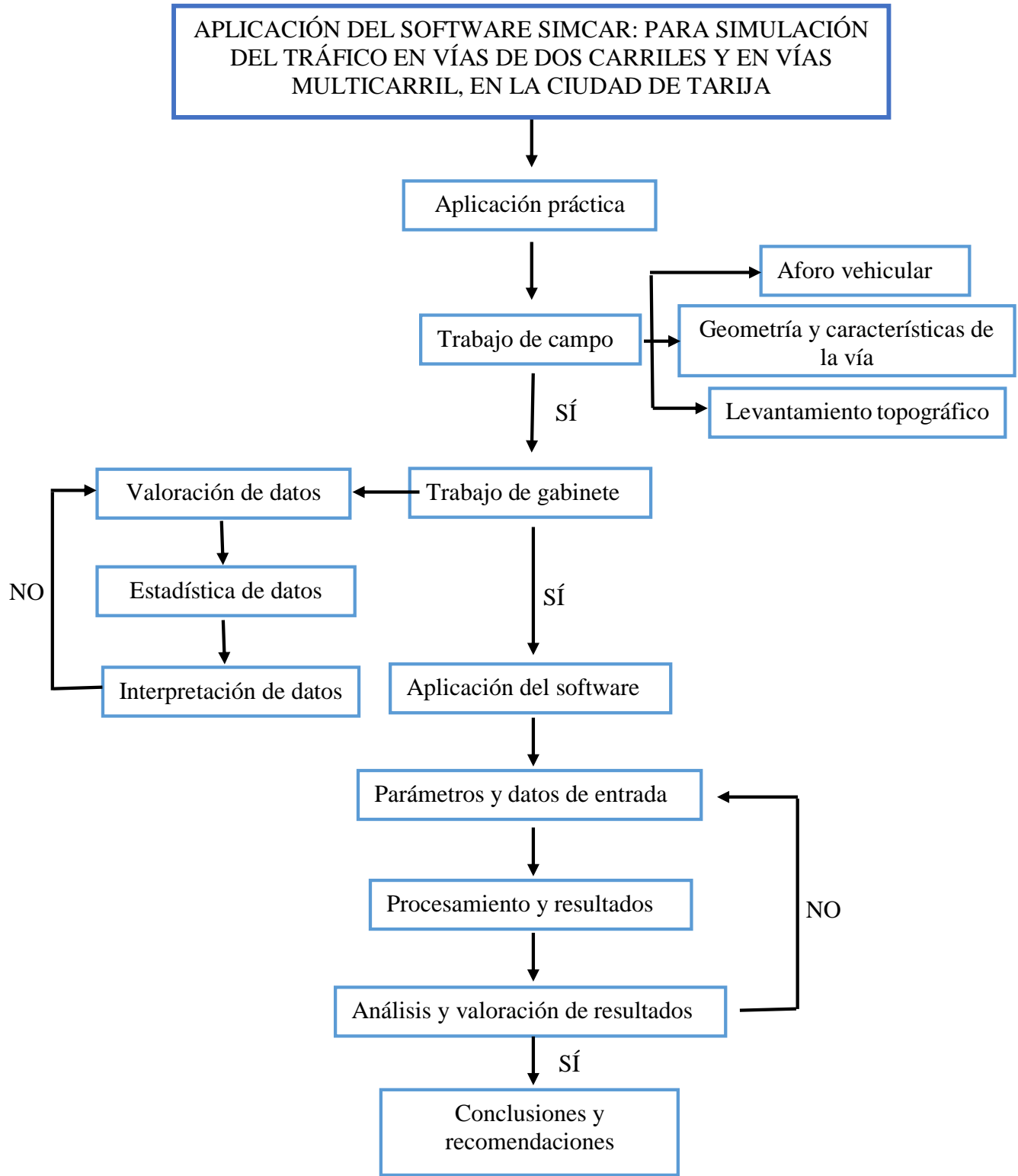
FUENTE: Elaboración propia.

Para las características de los conductores

Este trabajo fue realizado bajo criterio del proyectista, tomando en cuenta los parámetros existentes por defecto en el software, en caso de haberse realizado alguna modificación con debida justificación.

El trabajo de campo se realizó bajo un cronograma y tiempo establecido acordes a la metodología de aforo seleccionada y a la disponibilidad del equipo de apoyo.

1.9.3.1 Procedimiento de aplicación



1.9.3.2 Metodología utilizada en la aplicación

La aplicación práctica del proyecto se llevó a cabo en campo, en la vía o tramo en estudio, para lo cual, se tomó un determinado tiempo dedicado al aforo vehicular manual con el uso de planillas que fueron llenadas manualmente por el proyectista y por el personal de apoyo que fue necesario; una vez completados los datos de los aforos que cumplen como una muestra representativa en el tiempo establecido, se realizó la medición de la geometría y los parámetros de la vía con cinta métrica y flexómetro registrando la información en una planilla para esta actividad, también lo realizó el proyectista con el personal de apoyo y finalmente se hizo el levantamiento topográfico para conocer las características del tramo con mayor precisión.

El trabajo de gabinete con todos los datos obtenidos en campo, se inicia con la valoración y validación de los datos aforados, y un proceso de depuración de datos que se encontraron fuera de rango a través de la estadística, una vez depurados los datos se validó y se clasificaron listos para ingresar al software.

Luego de ingresados todos los parámetros al software de manera correcta y precisa, se llevó a cabo la simulación, obteniendo de manera inmediata los resultados y gráficos los cuales requieren de una valoración; en caso de observar errores se repitió el proceso desde el ingreso de los datos al software; una vez que se verificó que no se cometieron errores, el proceso fue validado conjuntamente los resultados; se repitió el proceso para verificar que no se hayan cometido errores y finalmente poder contribuir con las conclusiones y recomendaciones de la aplicación.

1.9.4 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.

1.9.4.1 Análisis estadístico.

Para la obtención de los datos depurados y confiables, que se requieren demostrar en la aplicación, utilizamos las siguientes fórmulas estadísticas como:

1.9.4.1.1 Media aritmética

Que, en un conjunto finito de números, es el valor característico de una serie de datos cuantitativos que son objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, es decir: es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

Donde:

\bar{X} = Valor de la media aritmética

X_1, X_2, X_3 = Valores de muestras obtenidas.

N = Número de muestras.

1.9.4.1.2 Desviación estándar

También se utilizó la desviación estándar que es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución. De hecho, específicamente, el cuadrado de la desviación estándar es “el promedio del cuadrado de la distancia de cada punto respecto del promedio”

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

x_i = Valor de cada muestra de observación

\bar{x} = Valor de la media aritmética

n = Número de muestras

1.9.4.1.3 Rango

El rango se aplicó a cada uno de los datos obtenidos en cada lectura de aforo, este valor es la media más y menos la desviación estándar; los datos que se encuentran dentro de este rango se consideraron como válidos, los datos que se encuentran fuera de rango fueron considerados como no válidos y fueron depurados.

1.9.5 Alcance del estudio de aplicación

El alcance que tuvo el proyecto está referido principalmente a la ingeniería de tráfico, el cual servirá como guía para estudios y evaluaciones de las vías de la ciudad, el departamento y el país; como también para futuras investigaciones y trabajos de aplicación.

Se estudiaron todos los conceptos y parámetros básicos de la ingeniería de tráfico, metodologías de trabajo en campo, recopilación de datos y clasificación de datos recomendadas por la bibliografía consultada.

El trabajo realizado consiste en el uso y aplicación del software para la simulación del flujo y comportamiento del tráfico vehicular en vías multicarril de la ciudad de Tarija, esta simulación asemeja de manera precisa las condiciones del tramo por el ingreso de datos de una planimetría de la vía, el volumen vehicular, el tránsito promedio diario (TPD), la tipología de los vehículos producto del aforo vehicular en el tramo estudiado y finalmente el comportamiento del flujo por las características de los conductores.

Se realizó la presentación e ingreso de todos los parámetros paso a paso al software, siguiendo la lógica de simulación propuesta por el fabricante para finalmente obtener los resultados que posteriormente fueron valorados por el proyectista.

Así también se analizó y valoró los resultados obtenidos de la simulación mediante parámetros y muestras precedentes con lo cual se pudo definir entre diferentes alternativas una solución factible para el tramo, la cual mejora las condiciones del flujo vehicular y proyecta un tránsito vehicular regular en el tiempo.

Finalmente, se realizó la simulación con las nuevas condiciones del tramo donde se pudo comparar los resultados y el cambio de las características del flujo vehicular, a su vez se brinda un aporte con criterio personal y bibliográfico del cual se definen las conclusiones del estudio de aplicación y las recomendaciones pertinentes identificadas a lo largo del proyecto.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA

INGENIERÍA DE TRÁFICO Y LA

SIMULACIÓN

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO Y LA SIMULACIÓN

2.1 Aspectos generales de la ingeniería de tráfico¹

En la información teórica, es importante conocer las bases del trabajo realizado, una parte de su historia y el porqué a través de los años se ha convertido en una necesidad, la búsqueda de alternativas que puedan ser parte de una solución en los problemas viales.

2.1.1 Nacimiento de la ingeniería de tráfico

Después de la aparición del vehículo automóvil, las carreteras se proyectaban teniendo en cuenta únicamente el movimiento de vehículos aislados, debido a que circulaba un número muy bajo de ellos para entonces y bastaba que cada uno pudiera moverse a una velocidad razonable y segura para que la carretera cumpliera con todos sus objetivos. Pero ya hacia 1920 el número de vehículos en circulación era lo suficientemente elevado como para establecer medidas de regulación que evitasen las dificultades de circulación.

El objetivo principal de las medidas fue mejorar la seguridad basándose en su comienzo con la práctica de la policía, pronto fue necesario adoptar medidas más eficientes por lo que en 1920 y 1930 en los Estados Unidos nace la ingeniería de tráfico con el fin de mejorar la explotación de las redes viarias existentes; pocos años después la ingeniería de tráfico se introdujo también en el proyecto de nuevos caminos.

Actualmente el incremento en número y velocidad del tráfico motorizado contribuye a satisfacer los deseos y las necesidades de los habitantes de las ciudades, sin detenerse a analizar que ese es también el causante de uno de los aspectos más conflictivos del sistema urbano en función a su sostenibilidad: la contaminación ambiental en sus diferentes formas, la ocupación extensiva del suelo y la seguridad del tráfico.

Se hace necesaria entonces la planeación integral del transporte: integración del transporte y los usos del suelo, la cual debe abordar la relación entre movilidad/accesibilidad y los

¹ Universidad Mayor de San Simón (2006), **Apoyo Didáctico Para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Ingeniería de Tráfico: Definiciones**, Cochabamba Bolivia.

modelos de crecimiento urbano. Por tanto se ve la necesidad de la realización de estudios, procedimientos de aplicación de las diferentes metodologías y desarrollos en este campo cuyo modelo de crecimiento urbano, se manifiesta en la congestión del tráfico vehicular.

2.1.2 Definiciones

Para entender el concepto tanto técnico como científico de la ingeniería de tráfico y transporte tenemos las siguientes definiciones:

Transportar: Llevar una cosa de un lugar a otro. Llevar de una parte a otra por el porte o precio convenido.

Transporte o transportación: Acción o efecto de transportar o transportarse.

Transitar: Ir o pasar de un punto a otro por vías, calles o parajes públicos.

Tránsito: Acción de transitar. Sitio por donde se pasa de un lugar a otro.

Tráfico: Tránsito de personas y circulación de vehículos por calles, carreteras, caminos, etc.

Ingeniería de tráfico: Se define como la rama de la ingeniería que trata del planeamiento, el proyecto geométrico y explotación de las redes viarias, instalaciones auxiliares (aparcamientos, terminales, etc.) y zonas de influencia, así como de su relación con otros medios de transporte.

2.1.3 Objetivos y alcance de la ingeniería de tráfico

El objetivo principal de la ingeniería de tráfico es conseguir que la circulación de personas y mercancías sea segura, rápida y económica.

La ingeniería de tránsito analiza lo siguiente:

2.1.3.1 Características del tránsito

Se utilizan diversas magnitudes que reúnen las características de los vehículos y usuarios.

Estas magnitudes son: la velocidad, el volumen, la densidad, la separación entre vehículos sucesivos, intervalos entre vehículos, tiempos de recorrido y demoras, origen y destino del movimiento, la capacidad de las calles y carreteras, se analizan los accidentes, el funcionamiento de pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas, etc. Por otro

lado, se estudia al usuario todas las reacciones para maniobrar el vehículo como ser: rapidez de reacción para frenar, para acelerar, su resistencia al cansancio, etc.

2.1.3.2 Reglamentación del tránsito

Se debe establecer los reglamentos del tránsito, como ser: la responsabilidad y licencias de los conductores, peso y dimensiones de los vehículos, control de accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y de señalamiento.

También se debe tomar en cuenta la prioridad de paso, tránsito en un sentido, tiempo de estacionamiento, el control policiaco en intersecciones, sanciones relacionadas con accidentes, etc.

2.1.3.3 Señalamiento y dispositivos de control

Su función principal es la de determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales.

2.1.3.4 Planificación vial

Es necesario analizar y realizar investigaciones para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito, y de esta manera conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias del aumento en el número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra. Se debe establecer claramente los objetivos concretos y operacionales que se quiere alcanzar.

2.1.3.5 Administración

Para tener buenos resultados se debe considerar varios aspectos tales como: económicos, políticos, fiscales, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

2.1.4 Solución al problema de tránsito

Las soluciones se plantean a partir de un análisis de factores que intervienen en el problema del tránsito. Enunciaremos a continuación los factores principales que inciden en el planteamiento de soluciones a los problemas del tránsito:

Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad

Diferentes dimensiones, velocidades y características de aceleración.

Superposición del tránsito motorizado en facilidades viales

Pocos cambios en trazo urbano, carreteras que no han evolucionado.

Falta de planificación en el tránsito

Construcción de vías con especificaciones antiguas.

El automóvil no considerado como una necesidad pública

Falta de apreciación de las autoridades y público en general a la importancia del vehículo automotor.

Falta de asimilación por parte del gobierno y del usuario

Legislación y reglamentos no acordes a la evolución del transporte, falta de educación vial.

Descritos los factores que intervienen en el problema del tránsito, se plantean a continuación los tres tipos de solución que se pueden dar al problema del tránsito:

2.1.4.1 Solución integral

Dadas las características del vehículo moderno se plantea construir nuevos tipos de vialidades que sirvan a este vehículo, es decir, que se busca el equilibrio de la oferta y la demanda; este tipo de solución es casi imposible de aplicar en las ciudades actuales porque equivaldría a destruir todo lo existente y construir las vialidades con especificaciones modernas.

2.1.4.2 Solución parcial de alto costo

Esta solución consiste en realizar cambios necesarios en las vialidades aprovechando al máximo lo que se tiene, cuyos cambios requerirán fuertes inversiones económicas, por ejemplo: ensanchamiento de calles, modificaciones de intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc.

2.1.4.3 Solución parcial de bajo costo

Consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes, con cambios que requieran poca inversión. En este tipo de solución tiene una gran importancia y

participación la reglamentación del tránsito, así como la disciplina y educación de parte del usuario.

2.2 Elementos de tránsito²

Existen 3 elementos básicos que componen la ingeniería de tráfico que son:

El usuario.

El vehículo.

La vía o vialidad.

2.2.1 El usuario

Es muy importante tener en cuenta el comportamiento del usuario para la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor.

El usuario está relacionado con los peatones y conductores, que son los elementos principales a ser estudiados para mantener el orden y seguridad de las calles y carreteras.

2.2.1.1 El peatón

Peatón es considerado a toda la población en general, son todas aquellas personas desde un año hasta cien años de edad.

En la mayoría de los casos las calles y carreteras son compartidos por los peatones y vehículos, excepto en las autopistas donde el tráfico de los peatones es prohibido. Los accidentes sufridos por peatones se deben a que no respetan las zonas destinadas a ellos, ya sea por falta de conocimiento u otro factor. Por lo tanto, se deberá estudiar al peatón no solamente por ser víctima, sino porque también es una de las causas, para la cual es necesario conocer las características del movimiento de los peatones y la influencia que tienen ciertas características como ser la edad, sexo, motivo de recorrido, etc.

² Universidad Mayor de San Simón (2006), **Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico: Elementos de tránsito**, Cochabamba Bolivia.

2.2.1.2 El conductor

El conductor constituye el elemento de tránsito más importante, ya que el movimiento y calidad de circulación de los vehículos dependerá fundamentalmente de ellos para adaptarse a las características de la carretera y de la circulación.

Para el estudio de los conductores es necesario conocer el comportamiento o factores que influyen en sus condiciones físicas y psíquicas, sus conocimientos, su estado de ánimo, etc.

Se ha encontrado para el conductor un tiempo mínimo de reacción para actuar que se detallará a continuación:

Para un vehículo sin movimiento un tiempo promedio de 0.25 seg. , por ejemplo el tiempo de reacción para arrancar el vehículo cuando el semáforo cambia de rojo a verde.

Para un vehículo sin movimiento en semáforos aislados un tiempo de 0.25 seg.

Para un vehículo en movimiento en semáforos aislados un tiempo de 0.83 seg.

En algunos casos podría llegar hasta 2 ó 3 seg.

2.2.1.2.1 Factores que pueden modificar las facultades del individuo en el tiempo de reacción

La fatiga.

Las enfermedades o deficiencias físicas.

El alcohol y las drogas.

Su estado emocional.

El clima.

La época del año.

Las condiciones del tiempo.

La altura sobre el nivel del mar.

El cambio del día a la noche y viceversa.

2.2.1.2.2 Características del conductor

Las decisiones y acciones de un conductor dependen principalmente de la información que transmiten los sentidos, que llega al conductor a través de los ojos, oídos y terminales nerviosas. A continuación citaremos las características más importantes del conductor:

Cono de agudeza visual, se refiere a la visión más nítida de una persona que está concentrada dentro de un cono con un ángulo central de alrededor de 3 grados respecto a la horizontal. La agudeza visual es razonablemente nítida dentro de un ángulo cónico de hasta 10 grados aproximadamente.

Visión periférica, se refiere a que una persona puede percibir objetos periféricos dentro de un cono con ángulo central de hasta 160 grados.

Información visual, se refiere a que el conductor mediante movimientos de la cabeza y los ojos aumenta la cantidad de información visual recibida.

Encandilamiento, se refiere a la visión del conductor en condiciones de encandilamiento.

Sensibilidad visual a la luz y al color (daltonismo).

La altura del ojo del conductor respecto a la superficie será de 1.14 metros.

Percepción del espacio, es decir, que al divisar un obstáculo u objeto a velocidades altas la distancia de frenado será mayor.

2.2.2 El vehículo

En ciertos países, la incorporación de mayor cantidad de vehículos no solo ha mejorado el transporte, ya que también ha elevado el nivel económico general del país, por lo que se puede afirmar que la relación de habitantes por vehículo es un indicador para apreciar el progreso de un determinado territorio.

Por lo tanto, es indispensable que cada país mejore las condiciones del transporte para su progreso y de esta manera poder transportar los bienes de consumo desde las fuentes de producción hasta los mercados y de allí comercializarlo a la población.

Actualmente, es inevitable que aumente el número de vehículos cada año, lo que es deseable y conveniente, logrando así reducir más la actual relación de habitantes por vehículo.

Por lo tanto, el segundo elemento componente del tránsito, el vehículo, irremediablemente va en aumento.

2.2.2.1 Clasificación y características del vehículo de proyecto

Vehículo de proyecto es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tal que estas puedan acomodar vehículos de este tipo.

Los vehículos se clasifican en 2:

Vehículos ligeros o livianos.

Vehículos pesados (Camiones y autobuses).

2.2.2.2 Vehículos ligeros de proyecto

Los vehículos ligeros de proyecto pueden ser utilizados en:

Intersecciones menores en zonas residenciales donde el número de vehículos que realizan vueltas no es significativo.

Intersecciones mayores que dispongan de carriles de estacionamiento y cruces peatonales demarcados, que obliguen el uso de radios pequeños en las esquinas aun aceptables.

Áreas urbanas con intersecciones a nivel sobre calles arteriales, siempre que se disponga de carriles de cambio de velocidad y que las vueltas de camiones sea ocasional.

2.2.2.3 Vehículos pesados de proyecto

Los vehículos pesados de proyecto pueden ser utilizados en:

Terminales de pasajeros y de cargas.

Autopistas y arterias rápidas, siempre y cuando sea grande el número de movimientos de vueltas.

2.2.2.4 Clasificación de vehículos según norma de diseño

Según el servicio nacional de caminos (S.N.C.) los vehículos del país se clasifican en 4 grandes grupos detalladas en la tabla.

Tabla N° 6: Clasificación de vehículos según normas de diseño

| Grupo de clasificación | Características del vehículo | Ancho total (m) | Largo total (m) | Radio mínimo de la rueda externa delantera (m) | Radio mínimo de la rueda interna trasera (m) | Detalles |
|------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|--|--|---|
| VP | Automóviles | 2.1 | 5.8 | 7.3 | 4.7 | Vehículo livianos como automóviles, camionetas, vagonetas, minibuses, etc. |
| CO | Autobuses y camiones | 2.6 | 9.1 | 12.8 | 8.7 | Vehículos comerciales de dos ejes, comprenden a camiones y autobuses comerciales, normalmente de dos ejes y 6 ruedas. |
| O | Autobuses interurbanos | 2.6 | 12.2 | 12.8 | 7.1 | Automóviles y camiones de mayores dimensiones. Los autobuses empleados generalmente para viajes de larga distancia y turismo. Estos vehículos son de mayor longitud que la CO y pueden contar 3 ejes. |
| SR | Camión semirremolque | 2.6 | 16.8 | 13.7 | 6 | Vehículo comercial articulado, compuesto normalmente de una unidad tractora y un semirremolque de 2 ejes o más. |

FUENTE: Universidad Mayor de San Simón (2006), Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico: Características del tránsito, Cochabamba Bolivia.

2.2.3 La vialidad o vía

El tercer elemento fundamental del tráfico es la vialidad o la vía por la que se mueven los vehículos.

La vía es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad. El elevado nivel de vida de un país se relaciona con un excelente sistema vial o viceversa.

2.2.3.1 Clasificación de las vías

Las vías se clasifican desde diferentes puntos de estudio, los cuales hacen referencia a continuación:

2.2.3.1.1 Según su competencia

Carreteras nacionales, son aquellas a cargo del servicio nacional de caminos.

Carreteras departamentales, son aquellas de propiedad de los departamentos y forman la red secundaria de carreteras.

Carreteras veredales o vecinales, son aquellas vías a cargo del servicio de caminos vecinales y forman la red terciaria de carreteras.

Carreteras distritales y municipales, son aquellas vías urbanas y/o suburbanas y rurales a cargo del distrito o municipio.

2.2.3.1.2 Según sus características

Autopistas, son vías de calzadas separadas cada una con dos o más carriles, con control total de accesos. Las entradas y salidas de las autopistas se realizan únicamente a través de intersecciones a desnivel comúnmente llamados distribuidores.

Carreteras multicarriles, son carreteras divididas o no, con dos o más carriles por sentido, con control parcial de accesos. Las entradas y salidas se realizan a través de intersecciones a desnivel y a nivel.

Carreteras de dos carriles, constan de una sola calzada de dos carriles, uno por cada sentido de circulación, con intersecciones a nivel y acceso directo desde sus márgenes.

2.2.3.1.3 Según el tipo de terreno

Carreteras en terreno plano, es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.

Carreteras en terreno ondulado, es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de la de los vehículos livianos, sin ocasionar que aquellos operen a velocidades sostenidas en pendiente por un intervalo de tiempo largo.

Carreteras en terreno montañoso, es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en pendiente a lo largo de distancias considerables o durante intervalos frecuentes.

Carreteras en terreno escarpado, es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en pendiente que aquellas que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes.

2.2.3.1.4 Según su función

Carreteras principales o de primer orden, son aquellas vías troncales, transversales y de accesos a capitales de departamento, que cumplen la función básica de integrar las principales zonas de producción y de consumo del país y de éste con los demás países.

Carreteras secundarias o de segundo orden, son aquellas vías que unen cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una principal.

Carreteras terciarias o de tercer orden, son aquellas vías de acceso que unen cabeceras municipales con sus veredas entre sí.

2.2.3.1.5 Según la velocidad de diseño

La velocidad de diseño o velocidad de proyecto se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo determinado de una vía, cuando las condiciones son tan favorables y que las características geométricas de la vía gobiernan

la circulación. La velocidad de diseño define las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de control y seguridad.

En la siguiente tabla se establecen los rangos de las velocidades de diseño que se debe utilizar en función del tipo de carretera según la definición legal y el tipo de terreno.

Tabla N° 7: Clasificación de carreteras según la velocidad de diseño.

| Tipo de carretera | Tipo de terreno | Velocidad de diseño (km/h) | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| | | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| Carretera principal de dos calzadas | Plano | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Ondulado | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Montañoso | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | Escarpado | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Carretera principal de una calzada | Plano | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | Ondulado | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| | Montañoso | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | Escarpado | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| Carretera Secundaria | Plano | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| | Ondulado | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| | Montañoso | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| | Escarpado | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| Carretera Terciaria | Plano | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | Ondulado | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | Montañoso | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | Escarpado | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |

FUENTE: Universidad Mayor de San Simón (2006), Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico: Características del tránsito, Cochabamba Bolivia.

2.2.3.2 Partes integrantes de una vía

Calzada o superficie de rodamiento: Es aquella faja acondicionada especialmente para el tránsito de los vehículos.

Carril: Es aquella parte de la calzada o superficie de rodamiento, de ancho suficiente para la circulación de una sola fila de vehículos.

Acotamientos o bermas: Son fajas laterales que sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodamiento y que eventualmente puede usarse como estacionamiento provisional para alojar vehículos en caso de emergencia.

Corona: Es la superficie terminada de una carretera, comprendida entre los hombros, por lo que incluye la calzada más los acotamientos.

Hombro: Es el punto de intersección de las líneas definidas por el talud del terraplén o el talud interior de la cuneta con la corona.

Cunetas: Van paralelamente a los acotamientos, destinadas a facilitar el drenaje superficie longitudinal de la carretera.

Contra cunetas o zanjas de coronamiento: Puede existir en aquellos tramos donde se prevea la necesidad de desviar las corrientes de agua y evitar que invadan la carretera o sobrecarguen la cuneta.

Taludes: Son las superficies laterales inclinadas, comprendidas entre las cunetas y el terreno natural.

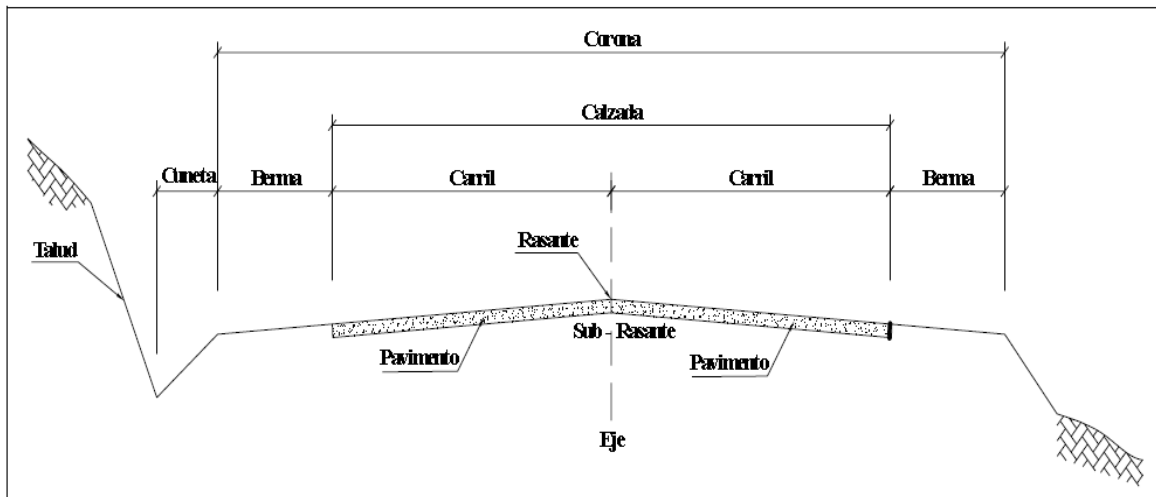
Drenaje transversal: Está formado por las alcantarillas y estructuras mayores, por ejemplo los puentes, que permitan que el agua cruce de un lado a otro de la carretera sin invadir su superficie.

Rasante: Como eje, es la proyección vertical del desarrollo del eje real de la superficie de rodamiento de la carretera.

Subrasante: Es la superficie de terreno especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento

Pavimento: Es la superficie especialmente tratada con materiales perdurables y que permitan un tránsito rápido, eficiente y sin polvo.

Figura N° 4: Partes integrantes de una vía



FUENTE: Universidad Mayor de San Simón (2006), Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico: Características del tránsito, Cochabamba Bolivia.

2.3 Características del tránsito³

El ingeniero vial debe conocer las características del tránsito, ya que esto le será útil durante el desarrollo de proyectos viales y planes de transporte, en el análisis del comportamiento económico, en el establecimiento de criterios de diseño, en la selección e implantación de medidas de control de tránsito y en la evaluación del desempeño de las instalaciones de transporte.

2.3.1 Velocidad

Desde la invención de los medios de transporte, la velocidad se ha convertido en el indicador principal para medir la calidad de la operación a través de un sistema de transporte. En un sistema vial la velocidad es considerada como un parámetro de cálculo para la mayoría de los elementos del proyecto.

Haciendo un análisis de la evolución de los vehículos actuales en lo que respecta a velocidades alcanzadas por los mismos, se hace necesario el estudio de la velocidad para

³ Universidad Mayor de San Simón (2006), Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico: Características del tránsito, Cochabamba Bolivia.

mantener así un equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía en busca de mayor seguridad.

Se define la velocidad como el espacio recorrido en un determinado tiempo. Cuando la velocidad es constante, queda definida como una función lineal de la distancia y el tiempo, siendo su fórmula:

$$v = \frac{d}{t}$$

Donde:

v = Velocidad constante (km/h)

d = Distancia recorrida (km)

t = Tiempo de recorrido (h)

2.3.1.1 Velocidad de punto

Conocida también como velocidad instantánea, es la velocidad de un vehículo a su paso por un punto específico de una vía. Se presentan dificultades prácticas para la medición de la velocidad de punto ya que la misma por definición se presenta en un tramo de recorrido bastante corto; en la actualidad existen dispositivos de medición de tipo electrónicos y electromecánicos que facilitan su medición, como ser: tubos neumáticos transversales, radares Doppler, enescopios.

2.3.1.2 Velocidad media temporal

La velocidad media temporal o velocidad media-tiempo, es la media aritmética de la velocidad de todos los vehículos que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo seleccionado.

Para datos de velocidades de punto no agrupados, la velocidad media temporal se define como:

$$\bar{v}_i = \frac{\sum_{i=1}^m (f_i v_i)}{n}$$

$$n = \sum_{i=1}^m f_i$$

Donde:

m = Número de grupos de velocidad

f_i = Número de vehículos en el grupo de velocidad i

v_i = Velocidad de punto del grupo “ i ”

2.3.1.3 Velocidad media espacial

La velocidad media espacial o velocidad media-espacio, es la media aritmética de las velocidades de los vehículos que en un instante dado ocupan un tramo de una vía.

En un espacio o distancia dados, la velocidad media espacial se calcula dividiendo la distancia entre el promedio de los tiempos empleados por los vehículos en recorrerlo. Su fórmula matemática es:

$$\bar{v}_e = \frac{d}{\bar{t}}$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$

Donde:

\bar{v}_e = Velocidad media espacial

d = Distancia dada o recorrida

\bar{t} = Tiempo promedio de recorrido

n = Número total de vehículos observados o tamaño de la muestra

También se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{v}_e = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1.0}{v_i}\right)}$$

Donde:

v_i = Velocidad del vehículo “i”

La velocidad media espacial y la velocidad media temporal no son iguales.

J.C. Wardrop demostró que:

$$\bar{v}_t = \bar{v}_e + \frac{S_e^2}{\bar{v}_e}$$
$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v}_e)^2}{n}$$

Donde:

S_e^2 = Varianza de la distribución de velocidades en el espacio

En la práctica se hace necesario transformar velocidades medias temporales a velocidades medias espaciales, se obtiene entonces de manera aproximada que:

$$\bar{v}_e = \bar{v}_t - \frac{S_t^2}{\bar{v}_t}$$
$$S_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^m f_i (v_i - \bar{v}_t)^2}{n}$$

Donde:

S_t^2 = Varianza de la distribución de velocidades en el tiempo

La velocidad media espacial es igual a la velocidad media temporal únicamente cuando la varianza de la velocidad media espacial es igual a cero, es decir, todos los vehículos transitan a una misma velocidad.

Cuando las velocidades de los vehículos no son iguales, la velocidad media temporal es siempre mayor que la velocidad media espacial; esto se debe a que, en un tramo de una vía en estudio, la muestra de velocidades de punto al final del tramo tiende a incluir a algunos vehículos veloces que no estaban en el tramo al inicio del estudio, y a su vez tiende a excluir algunos vehículos lentos que sí estaban dentro del tramo de vía. Por otra parte, para el mismo tramo de vía y con ayuda de una fotografía aérea, se tomarían en

cuenta solamente los vehículos que se encuentran en dicho tramo en el momento de la exposición.

2.3.1.4 Velocidad de recorrido, global o de viaje

Conocida también como velocidad de recorrido total, queda definida como la distancia total recorrida, en un tramo relativamente largo, dividida entre el tiempo total de recorrido. En el tiempo de recorrido se incluye las demoras debidas al tránsito ajeno a la voluntad del conductor, no incluye demoras fuera de la vía como ser: lugares de recreación, restaurantes, estaciones de servicio, etc.

Se obtiene entonces la velocidad de recorrido como un promedio de velocidades desarrolladas por un grupo de vehículos.

2.3.1.5 Velocidad de marcha

La velocidad de marcha o velocidad de cruce se define como la distancia total recorrida dividida entre el tiempo de marcha. El tiempo de marcha excluye todas las paradas y demoras.

2.3.1.6 Velocidad de proyecto

La velocidad de proyecto o velocidad de diseño, es la velocidad máxima a la cual pueden circular los vehículos con seguridad sobre una sección específica de una vía, cuando las condiciones atmosféricas y del tráfico son tan favorables que las características geométricas del proyecto gobiernan la circulación.

La velocidad de proyecto debe ser seleccionada de acuerdo a: la importancia o categoría de la futura vía, los volúmenes de tráfico, la topografía de la región, uso del suelo y la disponibilidad de recursos económicos. Es conveniente mantener constante la velocidad de proyecto, pero dadas las limitaciones topográficas que se puedan presentar, la velocidad de proyecto puede variar en distintos tramos de la vía.

No se debe usar velocidades de proyecto muy altas, debido a que se encarece la obra y el ahorro de tiempo de viaje no es muy significativo.

Las velocidades de proyecto máximas actualmente son de 112 km/h en EE.UU. y de 120 km/h en Europa.

2.3.1.7 Estudios de velocidad

Se pueden identificar los siguientes estudios:

2.3.1.7.1 Estudios de velocidad de punto

Los estudios de velocidad de punto para un tramo específico de una vía, sirven para determinar las características de la velocidad en dicho tramo bajo las condiciones atmosféricas y de tráfico al momento de realizar dicho estudio. Las velocidades agrupadas en un tiempo y espacio dados, presentan un coeficiente de dispersión alto, por lo que pueden representarse mediante una distribución normal de velocidades que es lo que mejor se acomoda al tipo de datos.

Los estudios de velocidad de punto se aplican para:

Determinar la tendencia de velocidades de los vehículos en un tramo especificado.

Determinar la relación entre accidentes y velocidad que pueda ayudar a tomar medidas de corrección para evitar accidentes.

Establecer límites de velocidad máxima y mínima.

Determinar longitudes en zonas de rebase prohibido.

Localizar y definir los tiempos de semaforización.

Evaluar los resultados de algún cambio efectuado en las condiciones y controles de tránsito existentes.

Evaluar los efectos de las distribuciones de las velocidades reales en las características de los elementos geométricos de la vía.

Realizar estudios de investigación sobre capacidades, efecto de obstrucciones laterales en la velocidad, teoría de flujo vehicular.

Dada la incertidumbre que se tiene para caracterizar la población total de velocidades a partir de variables basadas en una muestra, y debido a que todos los vehículos no viajan a la misma velocidad sino más bien se acomodan a una distribución de velocidades dentro de un intervalo de comparación, se debe utilizar la estadística descriptiva y la inferencia estadística en el análisis de los datos de velocidad de punto.

2.3.1.7.2 Estudios de velocidad de recorrido

Los estudios de velocidad de recorrido sirven para evaluar la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta y determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito.

En este tipo de estudios juega un rol importante el tiempo total de recorrido en el que, como ya se definió anteriormente, incluye las demoras debidas al tránsito.

2.3.2 Densidad o concentración

Se define la concentración o densidad de tráfico como el número de vehículos que ocupan una longitud específica de una vía en un momento dado. Por lo general se expresa en unidades de vehículos por kilómetro (veh/km).

Se puede medir la densidad de tráfico de un tramo de una vía con la ayuda de una fotografía aérea, en la cual se contaría fácilmente las cantidades de vehículos; también es posible calcular la densidad en función de la intensidad y velocidad.

Está claro que cualquier tramo de vía tiene una densidad máxima; esta situación se da cuando los vehículos están totalmente varados y sin espacios de separación entre ellos; por lo tanto, si se tuviera en el tramo vehículos de una misma longitud, entonces, la densidad o concentración máxima se obtendría como el inverso de la longitud del vehículo.

La fórmula para el cálculo de la densidad es la siguiente:

$$k = \frac{N}{d} = \frac{q}{v}$$

Donde:

k = Densidad o concentración de tráfico (veh/km)

N = Número de vehículos (veh)

d = Distancia o longitud (km)

q = Intensidad o flujo (veh/h)

v = Velocidad (km/h)

2.3.3 Taza de flujo o flujo y volumen

La tasa de flujo o flujo es la cantidad de vehículos que pasa por un punto o sección transversal de una vía en un tiempo menor a una hora, se puede expresar en unidades de (veh/hora) teniendo en cuenta que no representa exactamente el número de vehículos por hora. Por otra parte, el volumen sí puede representar una cantidad de vehículos que pasan durante un periodo de tiempo mayor o igual a una hora. Se expresa el flujo de la siguiente manera:

$$q = \frac{N}{T}$$

Donde:

q = Tasa de flujo o flujo (veh/periodo)

N = Número de vehículos que pasan (veh)

T = Tiempo o periodo determinado (unidad de tiempo)

2.3.4 Volúmenes de tránsito absolutos o totales

Son volúmenes de tránsito que están clasificados de acuerdo al lapso de tiempo determinado para su cálculo, este lapso puede ser un año, un mes, una semana, un día o una hora.

Tránsito anual (TA): Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 365 días consecutivos. ($T = 1$ año).

Tránsito mensual (TM): Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 30 días consecutivos. ($T = 1$ mes).

Tránsito semanal (TS): Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 7 días consecutivos. ($T = 1$ semana).

Tránsito diario (TD): Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 24 horas consecutivas. ($T = 1$ día).

Tránsito horario (TH): Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 60 minutos consecutivos. ($T = 1$ hora).

2.3.5 Volúmenes de tránsito promedio diarios

El TPD es una medida de tránsito fundamental, está definida como el número total de vehículos que pasan por un punto determinado durante un periodo establecido. El periodo debe estar dado como días completos y además estar comprendido entre 1 a 365 días. En función del número de días del periodo establecido, los volúmenes de tránsito promedio diarios se clasifican en:

Tránsito promedio diario anual (TPDA)

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

2.3.6 Volúmenes de tránsito horarios

Su unidad de medida son los vehículos por hora, se clasifican de acuerdo a la hora seleccionada como se detalla a continuación:

2.3.6.1 Volumen horario máximo anual (VHMA)

Es el máximo volumen horario que pasa por un punto o sección transversal de una vía durante un año; es decir, 1 de 8760 horas en la que se registra el mayor volumen de tráfico.

2.3.6.2 Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal de una vía durante 60 minutos consecutivos; representa el periodo de máxima demanda que se registra durante un día.

2.3.6.3 Volumen horario décimo (10VH), vigésimo (20VH), trigésimo anual (30VH)

Se define el volumen horario décimo anual como aquel que es excedido por 9 volúmenes horarios durante un año determinado. Así mismo el volumen horario vigésimo anual es

aquel que es excedido por 19 volúmenes horarios y el volumen horario trigésimo anual que es excedido por 29 volúmenes horarios.

2.3.6.4 Volumen horario de proyecto

El volumen horario de proyecto o volumen horario de diseño, es un volumen proyectado que sirve para determinar las características geométricas de la vía. No se considera el máximo volumen horario como volumen de proyecto ya que se alcanzaría un costo elevado de inversión. La experiencia en otros países ha demostrado que tampoco resulta económico diseñar una vía para un volumen horario mayor al volumen horario trigésimo anual, por lo tanto, se considera al volumen horario trigésimo anual como el de diseño.

2.3.7 Uso general de los volúmenes de tránsito

Desde un punto de vista general, se utilizan los datos de volúmenes de tránsito en los siguientes campos:

2.3.7.1 Planeación

Clasificación sistemática de redes de carreteras

Estimación de los cambios anuales en los volúmenes de tránsito

Modelos de asignación y distribución de tránsito

Desarrollo de programas de mantenimiento, mejoras y prioridades

Análisis económicos

Estimaciones de la calidad del aire

Estimaciones del consumo de combustibles

2.3.7.2 Proyecto

Aplicación a normas de proyecto geométrico

Requerimientos de nuevas carreteras

Análisis estructural de superficies de rodamiento

2.3.7.3 Ingeniería de Tránsito

Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vialidades

Caracterización de flujos vehiculares

Zonificación de velocidades

Necesidad de dispositivos para el control de tránsito

Estudio de estacionamientos

2.3.7.4 Seguridad

Cálculo de índices de accidentes y mortalidad

Evaluación de mejoras por seguridad

2.3.7.5 Investigación

Nuevas metodologías sobre capacidad

Análisis e investigación en el campo de los accidentes y la seguridad

Estudio sobre ayudas, programas o dispositivos para el cumplimiento de las normas de tránsito

Estudios de antes y después

Estudios sobre el medio ambiente y la energía

2.3.7.6 Usos comerciales

Hoteles y restaurantes

Urbanismo

Autoservicios

Actividades recreacionales y deportivas

2.3.8 Características de los volúmenes de tránsito

Dado el carácter dinámico que presentan los volúmenes de tránsito, es necesario conocer las variaciones periódicas que tiene el mismo dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año. Así mismo, se debe considerar las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional y su composición.

2.3.8.1 Distribución y composición del volumen de tránsito

La variación de los volúmenes de tránsito por carriles presenta las siguientes características:

- En vías urbanas de 3 ó más carriles de operación en un sentido, la mayor velocidad y capacidad se desarrolla en el carril del medio, las paradas de autobuses y los giros a derecha e izquierda hacen que la circulación en los carriles laterales sea más lenta.
- En carreteras, el carril cercano a la faja separadora central es utilizado por vehículos más rápidos y para rebases, presenta mayores volúmenes de tráfico en el carril inmediato al acotamiento.
- En autopistas, se presentan mayores volúmenes en el carril cercano a la faja separadora central.

Se presenta variaciones de volumen respecto a la distribución direccional en calles que comunican el centro de una ciudad con la periferia, el flujo de tránsito es máximo hacia el centro en las mañanas y hacia la periferia en las tardes y noches.

En lo que respecta a la composición del tránsito, en un análisis de volúmenes se hace importante conocer la cantidad de automóviles, autobuses, camiones, etc., los mismos que se expresan en forma de porcentaje respecto al volumen total.

2.3.8.2 Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda

El valor obtenido de un volumen horario de máxima demanda, no necesariamente es constante a lo largo de toda la hora, existen periodos dentro de la hora donde las tasas de flujo son mayores a la de la hora misma.

Para hacer un análisis de las variaciones de volumen de tráfico en la hora de máxima demanda se utiliza el factor horario de máxima demanda que relaciona el volumen horario de máxima demanda con el flujo máximo. Su fórmula matemática es:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(q_{max})}$$

Donde:

FHMD = Factor horario de máxima demanda

$VHMD$ = Volumen horario de máxima demanda

N = Número de periodos durante la hora de máxima demanda

q_{max} = Flujo máximo

Los periodos de tiempo dentro de la hora de máxima demanda pueden ser 5, 10, 15 minutos. Para un periodo de 15 minutos se tiene:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 * (q_{max15})}$$

Para un periodo de 10 minutos se tiene:

$$FHMD = \frac{VHMD}{6 * (q_{max10})}$$

El máximo valor que puede alcanzar el FHMD es la unidad, que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos dentro de la hora, cuanto más inferior a la unidad sea el valor de FHMD indica que existen concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora.

2.3.8.3 Variación horaria del volumen de tránsito

Es la variación que se presenta en los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, esta variación depende del tipo de ruta y la actividad que prevalezca sobre la misma, como ser: rutas de tipo agrícola, comercial, turística, etc.

Un ejemplo de variaciones horarias se presenta en las ciudades, los volúmenes de tráfico son bajos en la madrugada, este se incrementa hasta un máximo entre las 07:30 y las 09:30 horas; luego baja para alcanzar otro máximo entre las 14:00 y las 15:00 horas; por último alcanza un tercer máximo entre las 18:00 y las 20:00 horas para luego bajar nuevamente a un mínimo en la madrugada.

2.3.8.4 Variación diaria del volumen de tránsito

En carreteras principales se presentan volúmenes estables de lunes a viernes, registrándose valores máximos durante los fines de semana ya que se añade la demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional. Existe una notable variación en días de eventos especiales

como ser: aniversarios regionales o estatales, navidad, fin de año, competencias deportivas, etc.

2.3.8.5 Variación mensual del volumen de tránsito

Los meses en que las vías presentan máximos volúmenes de tráfico son por lo general los meses de vacación escolar, meses de vacación de fin de año, mes de alguna festividad regional, etc. Por lo general estas variaciones se mantienen constantes año a año siempre que no se realice cambios importantes en el diseño de la vía, en los usos de la tierra, o se construyan vías alternas.

2.3.9 Aforo de volúmenes

Los aforos de volumen realizados en un punto o sección de una vía nos permiten obtener datos relacionados con el movimiento de automóviles respecto al tiempo y espacio, las características de los aforos dependen del tipo de análisis solicitado en una vía. Los aforos de volumen sirven para efectuar:

Estudios prioritarios de conservación (mantenimiento).

Estudios prioritarios de construcción.

Estudios prioritarios de señalización.

Estudios de accidentes en la zona.

2.3.9.1 Métodos de aforo

En la actualidad, existen tres métodos de aforo, conceptos de los cuales se exponen a continuación:

2.3.9.1.1 Método manual

Este método de aforo consiste en el llenado de planillas elaboradas de acuerdo al tipo de datos a recabar en la vía, a cargo de una o varias personas. Los tipos de datos pueden ser:

Composición vehicular.

Flujo direccional y por carriles.

Volúmenes totales.

El tiempo de aforo pueden ser periodos de una hora o menos, un día, un mes o un año.

2.3.9.1.2 Método mecánico

Se realiza mediante dispositivos mecánicos instalados en la vía, estos dispositivos son:

Detectores neumáticos: consiste en un tubo neumático colocado en forma transversal sobre la calzada que registra mediante impulsos causados por las ruedas de los vehículos el conteo de los ejes del mismo.

Contacto eléctrico: consiste en una placa de acero recubierta por una capa de hule que contiene una tira de acero flexible, que al accionar de las ruedas del vehículo cierra circuito y procede al conteo respectivo, con este dispositivo se pueden realizar conteos por carril y sentido.

Fotoeléctrico: consiste en una fuente emisora de luz colocada a un lado de la vía, realiza el conteo de vehículos cuando estos interfieren con la luz del dispositivo.

Radar: lanza ondas que al ser interceptadas por un vehículo en movimiento cambian de frecuencia, realizando así el conteo.

Fotografías: se toman fotografías del tramo y después se procede al conteo de vehículos.

2.3.9.1.3 Encuestas de origen y destino

Se utilizan para recopilar datos sobre números y tipos de viajes incluyendo movimiento de vehículos y pasajeros, desde varias zonas de origen hacia zonas de destino. Se utiliza este tipo de encuestas para propósitos de planeación de mejoras o aperturas de vías. Se puede realizar este trabajo de distintas maneras:

Encuestas a conductores de vehículos: se consulta a los conductores el origen y destino de su trayectoria

Tarjetas postales a los conductores en movimiento: se entrega tarjetas a los conductores para que estos llenen los datos requeridos en la misma y la envíen a una casilla en particular.

Placas de vehículos: se registra los números de placas entre dos a más puntos del área de estudio.

Encuestas domiciliarias.

Encuestas a pasajeros de transporte público.

2.4 Conceptos teóricos de estudios de tránsito⁴

Existen diversos manuales de estudios de tránsito como el “Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito” (Box y Oppenlander, 1985) o el “Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte” (Alcaldía mayor de Bogotá, 2003) en donde se establecen variadas metodologías para la correcta toma de los datos correspondientes. Sin embargo, el más actual y completo encontrado corresponde al “Manual Normativo del Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano” (Secretaría de Desarrollo Social de México D.F., 2008). De este manual se rescatan las técnicas necesarias para la apropiada toma de datos necesarios para el trabajo estadístico y de simulación a realizar.

2.4.1 Estudio de volúmenes

A continuación, se enumeran las modalidades más comúnmente usadas para aforos de tránsito.

2.4.1.1 Aforos manuales

Se usan por lo general para contabilizar volúmenes de giro y volúmenes clasificados.

La duración del aforo varía con el propósito del aforo. Algunos aforos clasificados pueden durar hasta 24 horas.

El equipo usado es variado; desde hojas de papel marcando cada vehículo hasta contadores electrónicos con teclados. Ambos métodos son manuales.

Durante periodos de tránsito alto, es necesario más de una persona para efectuar los aforos. La exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona.

⁴ Secretaría de Desarrollo Social de México D.F. (2008), **Manual Normativo del Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano**, México.

2.4.1.2 Contadores mecánicos

Contadores permanentes son usados para aforar el tránsito continuamente. Es usado a menudo para estudios de tendencias. Pueden ser actuados por células fotoeléctricas, detectores magnéticos y detectores de lazo.

2.4.1.3 Contadores portátiles

Toman nota de los volúmenes aforados cada hora y 15 minutos, dependiendo del modelo.

Pueden ser tubos u otro tipo de detector portátil.

Entre sus ventajas se cuenta que una sola persona puede mantener varios contadores y, además, proveen aforos permanentes de todas las variaciones del tránsito durante el periodo de aforo.

Entre sus desventajas se cuentan que no permiten clasificar los volúmenes por tipo de vehículo y movimientos de giro y muchas veces se necesitan aforos manuales, ya que muchos contadores (en particular los de tubo neumático) cuentan más de un vehículo cuando son accionados por vehículos de más de un eje o por vehículos que viajen a velocidades bajas.

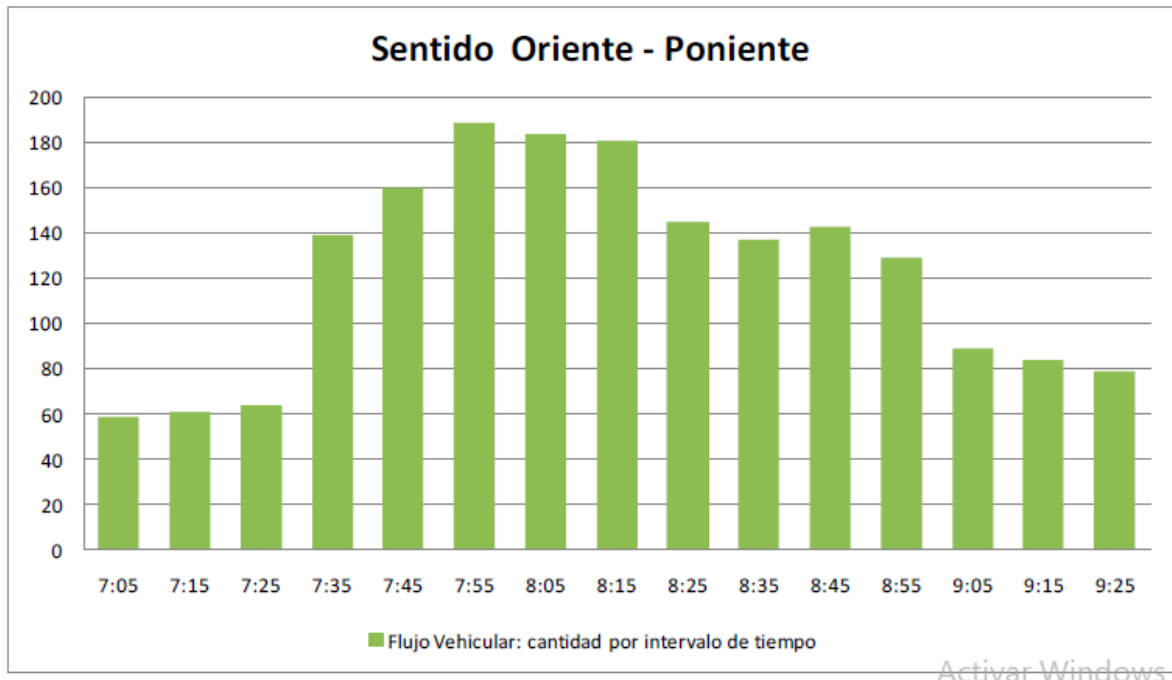
2.4.2 Programación de aforos

El número de horas de aforo varía con el método usado y el propósito. Los contadores mecánicos pueden estar contando las 24 horas del día. Es conveniente que los aforos manuales en intersecciones, se lleven a cabo por un mínimo de 12 horas, incluyendo en este espacio de tiempo las horas de mayor demanda. Aforos por periodos de tiempo de 16 horas proveen más información. Por lo general, para la mayoría de los propósitos de ingeniería de tránsito, los aforos deben ser efectuados durante días representativos de un día de la semana típico (martes, miércoles y jueves) a menos que el objetivo del estudio requiera días de fin de semana. Por lo general, aforos realizados con incrementos de tiempo de 15 minutos son suficientes. Sin embargo, algunas veces es necesario efectuar aforos en intervalos menores para el diseño de carriles de giro y para cálculo de tiempos de semáforos.

2.4.3 Presentación de datos de volúmenes de tránsito

Los volúmenes de tránsito se pueden resumir de diversas formas. Sin embargo, la más común es presentarla en gráficos debido a la buena interacción gráfica que posee con quien la observa. Los planos o gráficos para representar volúmenes de tránsito pueden ser como el presentado en la figura:

Figura N° 5: Presentación de datos de volúmenes de tránsito



FUENTE: Elaboración propia.

En tablas de este tipo, la información se entrega ordenada, ya que el número de flujo vehicular (o volumen vehicular) en una hora determinada se informa distinguiendo las respectivas barras en el eje de las abscisas y la cantidad del flujo vehicular en el eje de las ordenadas.

2.4.4 Distribución de velocidades instantáneas en la vía

Velocidad instantánea en la vía es la tasa de movimiento del tránsito o de un número específico de vehículos, por lo general expresado en kilómetros por hora. Existen dos tipos de medidas de velocidades medias para expresar la tasa de movimiento. El primer tipo es la velocidad media instantánea, que es la media de las velocidades instantáneas de un

grupo de vehículos en un lugar determinado de la vía. El segundo tipo es la velocidad de viaje, que está sujeta a los tiempos de viaje y demoras.

Los estudios de velocidades instantáneas son diseñados para medir las características de la velocidad en ubicaciones específicas bajo las condiciones prevalecientes de tráfico y ambientales durante el estudio.

Es necesario también obtener una muestra lo suficientemente grande, de manera que los resultados sean estadísticamente significativos.

2.4.5 Requerimiento del tamaño de la muestra

Un estudio de velocidades instantáneas requiere un tamaño de muestra adecuado para satisfacer consideraciones estadísticas. La siguiente ecuación puede ser usada para calcular el número de velocidades a ser medidas (Secretaría de Desarrollo Social de México D.F., 2008):

$$N = \left(\frac{SK}{E} \right)^2$$

Donde:

N = Tamaño mínimo de la muestra.

S = Desviación estándar estimada de la muestra (KPH).

K = Constante que corresponden al nivel de confianza deseado.

E = Error permitido en el estimado de la velocidad.

Si la desviación estándar de las velocidades instantáneas no ha sido determinada en análisis de velocidad previos, entonces se puede hacer un estimado razonable usando la tabla de acuerdo con el área de tránsito y el tipo de vía.

Tabla N° 8: Desviación estándar media de velocidad en kph

| Área de tránsito | Tipo de carretera | Desviación estándar media (kph) |
|------------------|-------------------|---------------------------------|
| Rural | 2 carriles | 8.5 |
| Rural | 4 carriles | 6.8 |
| Intermedio | 2 carriles | 8.5 |
| Intermedio | 4 carriles | 8.5 |
| Urbana | 2 carriles | 7.7 |
| Urbana | 4 carriles | 7.9 |
| Valor redondeado | | 8.0 |

FUENTE: Secretaría de desarrollo social de México D.F. (2008), Manual normativo del programa de asistencia técnica en transporte urbano.

Nótese que la desviación estándar media varía entre 7.9 y 8.5 KPH para las seis combinaciones de tipos de área de tránsito y tipo de carretera. Debido a que la variabilidad en las medidas de la dispersión de la velocidad es limitada, se sugiere que se use un valor de 8.0 KPH para cualquier tipo de carretera y área de tránsito.

La constante K depende del nivel de confianza (la probabilidad que la velocidad media sea una estimación válida). Un valor de $K = 2.00$ se usa a menudo, debido a que proporciona un nivel de confianza de 95.5 %. Si un nivel de confianza mayor es requerido, un valor para $K = 3.00$ establece un nivel de confianza del 99.7%. Valores adicionales para la constante K se presentan en la tabla:

Tabla N° 9: Relación constante K–nivel de confianza

| Constante K | Nivel de confianza (%) |
|-------------|------------------------|
| 1 | 68.3 |
| 1.5 | 86.6 |
| 1.64 | 90 |
| 1.96 | 95 |
| 2 | 95.5 |
| 2.5 | 98.8 |
| 2.58 | 99 |
| 3 | 99.7 |

FUENTE: Secretaría de desarrollo social de México D.F. (2008), Manual normativo del programa de asistencia técnica en transporte urbano.

El error permitido “E” en el estimado de la velocidad depende de la precisión requerida en el estimado de la velocidad media. Esta medida es una tolerancia absoluta, esto quiere decir que el error absoluto se especifica como +/- un valor seleccionado.

La ecuación anterior determina el número mínimo de observaciones necesarias, sin embargo, bajo ninguna circunstancia, el tamaño de la muestra puede ser menor que 30.

2.4.6 Procedimiento

En la recolección de datos, se deben tener en cuenta una serie de factores. Todas las medidas de velocidad en el campo deben ser aleatorias y representativas de las condiciones de flujo libre en el flujo de tránsito. Se recomiendan los siguientes procedimientos para el muestreo:

Observar siempre el primer vehículo en un pelotón o columna, ya que los vehículos que siguen pueden estar viajando a la velocidad del primer vehículo por no poder pasarlo.

Seleccionar vehículos pesados en la misma proporción de su presencia en el flujo de tránsito.

Evitar el muestreo de una proporción muy alta de vehículos que viajen a altas velocidades.

Si la persona encargada de la recopilación de datos de velocidad no puede aforar todos los vehículos en el flujo de tránsito por ser volúmenes muy altos, entonces puede usar varios métodos de muestreo. Se pueden seleccionar para medir la velocidad cada segundo, tercero o enésimo vehículo. Ciertas precauciones deben ser tomadas con este procedimiento, ya que la velocidad del enésimo vehículo puede estar controlada por efectos externos, como las columnas de vehículos a través de un sistema coordinado de semáforos.

2.5 Simulación vehicular

2.5.1 Introducción a la simulación⁵

A la hora de analizar el movimiento y trayectoria de un vehículo, tenemos que tener en cuenta que estas variables están condicionadas por una serie de factores controlables por

⁵ Averill M. Law (2014), **Simulation modeling and analysis** (5ed.), Tucson, Arizona, USA; Mc Graw Hill Education.

el conductor, como son las aceleraciones, desaceleraciones y cambios de velocidad voluntarios en general, y por otros involuntarios que responden a la naturaleza del circuito, como puedan ser las velocidades máximas en cada tramo de un circuito; el movimiento de otros coches que, yendo delante del analizado, condicionen su movimiento, los semáforos y otras señales de tráfico.

Esta relación entre los distintos vehículos de un circuito genera un movimiento con forma de flujo, que puede analizarse en función de una serie de parámetros físicos, el análisis de esta “corriente” de vehículos será mediante los modelos de tráfico.

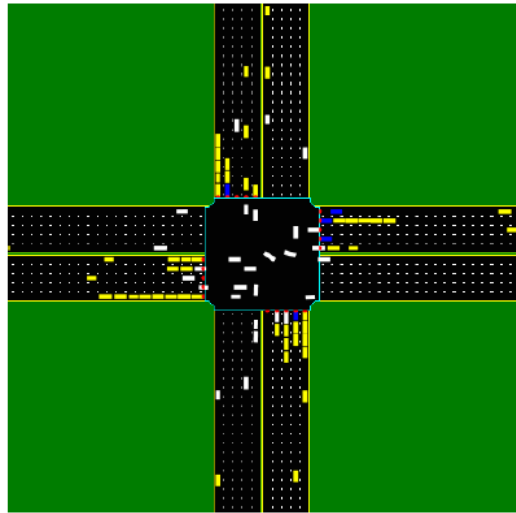
Los modelos de tráfico analizan las variables básicas de tráfico, como puedan ser su velocidad y aceleración, y sus posibles evoluciones en el tiempo, estos modelos se clasifican en dos grupos: los modelos microscópicos y macroscópicos.

2.5.1.1 Modelos microscópicos

Los modelos microscópicos analizan el movimiento de un vehículo de manera individual, añadiéndole a los factores propios las interacciones con otros elementos, estos modelos manejan una cantidad de datos elevada, de forma que puedan ofrecer unos resultados muy detallados. Esto hace que sean adecuados para el estudio de pequeños tramos, como la regulación de un semáforo o cruce.

El tratamiento individual de los vehículos puede verse en la ilustración, donde se plasma el comportamiento de un cruce de calles de diez carriles, con una gran cantidad de posibles interacciones entre los vehículos mostrados debido a la gran complejidad que supone este tipo de simulaciones.

Figura N° 6: Simulación microscópica de un cruce



FUENTE: Averill M. Law (2014), Simulation modeling and analysis (5ed.), Tucson, Arizona, USA; Mc Graw Hill Education.

2.5.1.2 Modelos macroscópicos

Los modelos macroscópicos, sin embargo, analizan el flujo de tráfico de una forma generalista, tomando variables que competen a todo el conjunto de los vehículos, como la densidad o la intensidad de tráfico, las zonas que se simulan con estos modelos son mucho más amplias que con los microscópicos.

Dentro de los modelos macroscópicos, se puede emplear una relación lineal entre la velocidad y la densidad de tráfico. Con esta suposición se pueden desarrollar con la presencia de suficientes simulaciones de complejidad no excesiva, siendo más elaborados otros como el logaritmo o modelos de relaciones multivariantes.

En la ilustración vemos un circuito real en el que el tráfico se ha simulado con modelos de simulación macroscópica.

Figura N° 7: Mapa de simulación macroscópica



FUENTE: Jerry Banks (2005), Metodología de simulación: Flujograma metodológico de un estudio de simulación, USA.

Se puede ver cierta semejanza entre estos modelos macroscópicos y la mecánica de fluidos. Partimos de un conjunto de partículas, sean estas moléculas de agua o vehículos, que han de ser modeladas de forma macroscópica dentro de un circuito cerrado, ya sea de tubería o carreteras. Para ello utilizamos como variable de medida principalmente el caudal o la intensidad, que relaciona la cantidad de partículas que pasan por un punto con un tiempo determinado, hay que tener en cuenta que las comunicaciones con otros circuitos, podrán aumentar o disminuir el caudal o intensidad, y que a la hora de cambiar la velocidad, las partículas no sufrirán un cambio espontaneo al mismo tiempo, sino que ésta ira afectando cada vez a más unidades elementales mediante una onda expansiva.

2.5.2 Conceptos teóricos de simulación⁶

Simulación es, principalmente, una técnica para estimar las medidas de desempeño de un sistema modelado. Esto implica crear un modelo que aproxima cierto aspecto de un sistema del mundo real, que puede ser usado para generar historias artificiales del sistema, de forma tal que permita predecir cierto aspecto del comportamiento del sistema. Se trata de una de las técnicas más ampliamente usadas en investigación de operaciones y ciencias de la administración. Particularmente, se usan computadores para imitar comportamientos

⁶ Averill M. Law (2014), **Simulation modeling and analysis** (5ed.), Tucson, Arizona, USA; Mc Graw Hill Education.

del sistema, evaluando numéricamente un modelo del mismo. Estas evaluaciones numéricas son las que permiten generar las ya mencionadas historias artificiales que no son más que experimentos sobre la realidad investigada.

No es conveniente pensar en la simulación como la solución inmediata a cualquier problema que se detecte. La observación previa del sistema real en operación es lo más importante, ya que desde aquí es donde se decide si la solución se encontrará en modelos matemáticos o en simuladores. Conviene pensar previamente en la utilización de modelos matemáticos, ya que éstos sí encuentran la solución óptima, a diferencia de la simulación, donde se plantean escenarios que deben ser estudiados a fin de encontrar mejores. Por esto es que se dice que se simula para explicar, entender o mejorar el sistema, no para optimizar.

2.5.2.1 Pasos para un estudio de simulación⁷

Jerry Banks, propone una metodología de construcción de un modelo de simulación. Según lo planteado, los pasos para realizar un estudio de simulación son:

Formulación del problema: cada estudio de simulación comienza con una declaración del problema. Si la declaración es proporcionada por aquellos que tienen el problema, el analista de simulación debe tener extremo cuidado para asegurar que el problema sea claramente entendido. En caso de que la formulación sea preparada por el analista de simulación, es importante que el cliente entienda y esté de acuerdo con ésta.

Fijación de objetivos y plan general del proyecto: los objetivos indican las preguntas que van a ser respondidas por el estudio de simulación. El plan del proyecto debe incluir una declaración de los diversos escenarios que serán investigados, además del tiempo que será necesario ocupar para la investigación, el personal, requisitos de hardware y software, etapas y costos.

Modelo de conceptualización: extraer del mundo real el modelo conceptual, esto es, establecer relaciones lógicas entre los componentes y la estructura del sistema. Se recomienda modelar desde lo más básico hasta lograr el modelo deseado.

⁷ Jerry Banks (2005), **Metodología de simulación: Flujograma metodológico de un estudio de simulación**, USA.

Recopilación de datos: la necesidad de datos debe ser generada por el analista, el cual encontrará, en el mejor de los casos, que los datos ya han sido tomados por el cliente. En caso contrario, el analista debe recopilar los datos por su propia cuenta.

Modelo de traducción: el modelo conceptual realizado anteriormente, se codifica en un computador para lograr el modelo operativo.

Verificación: la verificación se refiere a la operativa del modelo, corroborar que está funcionando correctamente, sin que sea todavía comparado con la realidad. Por lo mismo se recomienda que estas revisiones sean sistemáticas a lo largo de la construcción del modelo, y no esperar hasta el final para verificar el proceso completo.

Validación: la validación es la determinación de que el modelo conceptual es una representación legítima del sistema real. Para esto, necesariamente debe existir un cruce de los datos que arroja la situación simulada y la situación real que permita validar que el comportamiento de ambos sistemas es el mismo. En caso de no existir estos datos, una opinión experta también puede ser considerada.

Diseño experimental: este paso hace referencia a la simulación de las propuestas que pretenden mejorar la realidad simulada, o simplemente experimentar con ella. Para cada una de las hipótesis que se desea simular, las decisiones tienen que ser formuladas en relación a la duración de la simulación y el número de repeticiones.

Corridas de producción y análisis: se realiza un número de corridas suficientes en el modelo simulado propuesto, de manera tal que los indicadores buscados tengan la validez necesaria para ser comparados con los del modelo simulado de la realidad.

Aumentar el número de corridas: solo si el analista lo estima necesario, buscando cumplir el objetivo del paso anterior.

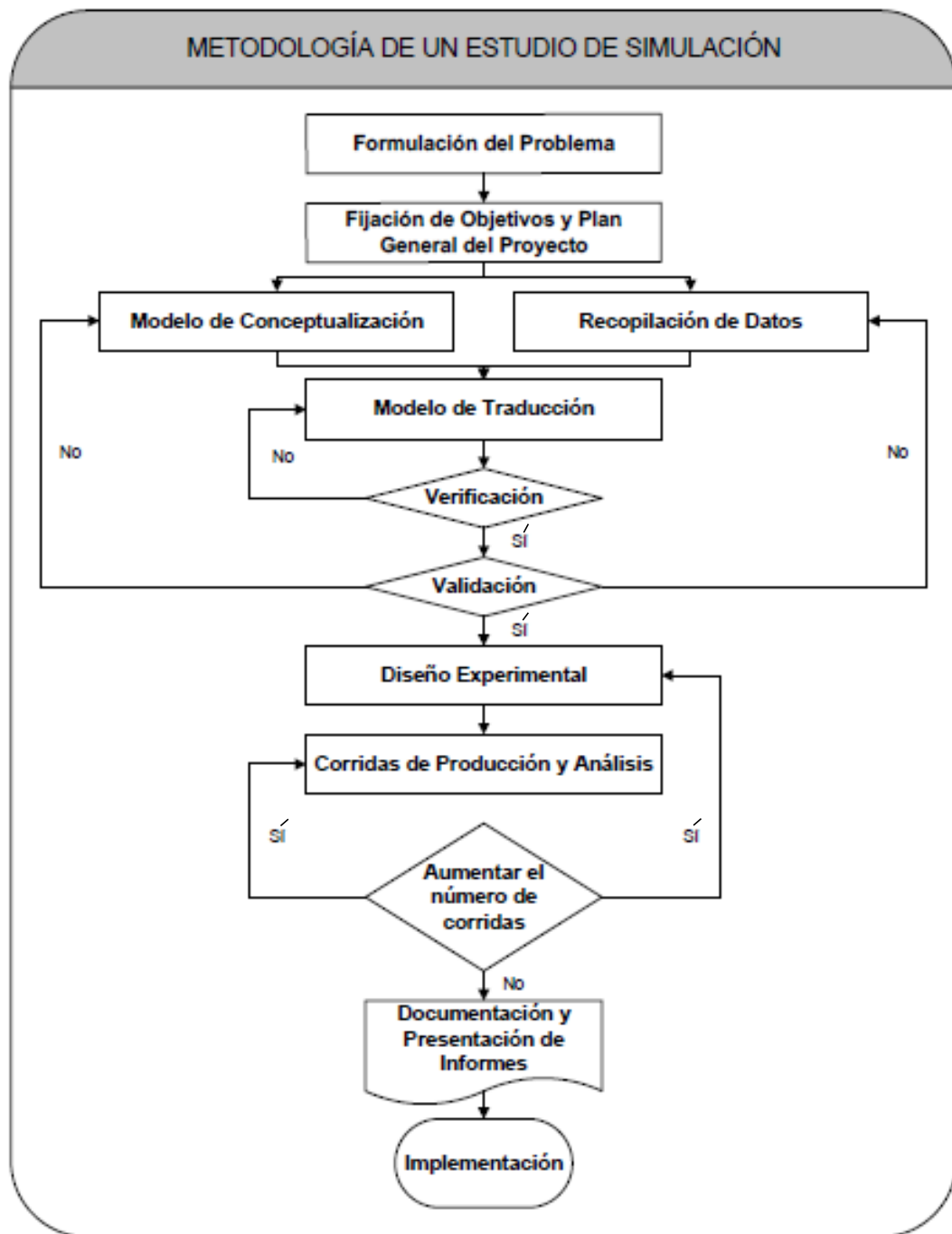
Documentación y presentación de informes: la documentación es necesaria por si el modelo de simulación será utilizado en una próxima oportunidad por el mismo analista o por otros. También puede darse la situación de que el modelo necesite modificaciones, lo cual se vería facilitado de existir la documentación correspondiente. Por otra parte, el resultado de todo el análisis debe ser comunicado de forma clara y concisa, para que

cualquier persona que consulte el documento pueda revisar la configuración final del problema, las alternativas abordadas, los resultados de los experimentos y las recomendaciones de los analistas.

Aplicación: corresponde a la aplicación de los resultados en el sistema real. Resulta de gran utilidad en el resultado final si el analista ha seguido rigurosamente todos los pasos correspondientes y si el cliente ha participado a lo largo de todo el periodo de estudio. En casos de que se trate de estudios investigativos donde no existe un cliente claro o definido, éste último paso puede considerarse opcional.

Estos pasos deben seguir la lógica planteada en la figura:

Figura N° 8: Flujograma de metodología de un estudio de simulación



FUENTE: Jerry Banks (2005), Metodología de simulación: Flujograma metodológico de un estudio de simulación.

2.5.2.2 Ventajas y desventajas de utilizar simulación⁸

La Simulación ofrece ciertas ventajas que hacen atractiva su utilización, así como también posee desventajas que hacen cuestionar su uso. Entre las primeras se pueden mencionar:

Es una herramienta flexible, ya que bien aplicada permite analizar los sistemas como realmente son.

Permite estudios de escenarios previamente a su implementación, pues es posible la extrapolación y predicción, evaluando así riesgos, cuellos de botella y datos artificiales.

Los modelos de simulación presentan una generalidad mayor respecto a los modelos matemáticos, por lo que pueden ser utilizados cuando no existen las condiciones apropiadas para la realización de un modelo matemático tipo.

El software disponible para crear modelos de simulación es cada día más flexible y con interfaces más familiares al usuario.

Como desventajas se tienen:

Si bien la propuesta de escenarios en la Simulación representa un ahorro en cuanto a costos de implementación, el software necesario puede ser lo suficientemente costoso como para requerir una fuerte inversión inicial.

No entrega respuestas que incluyan mejoras exactas. Se basa solo en estimaciones, por lo tanto, no es un método de optimización ya que las soluciones pasan por la capacidad del analista de crear escenarios alternativos.

En caso de no utilizarse de manera apropiada, la simulación puede llevar a conclusiones irreales, lo cual conllevaría a inversiones equivocadas, alteraciones negativas en los flujos de costos, etc.

⁸ Averill M. Law (2014), **Simulation modeling and analysis** (5ed.), Tucson, Arizona, USA; Mc Graw Hill Education.

2.6 Conceptos teóricos de estudios de tiempos⁹

El estudio de tiempos presenta objetivos claros si se realiza bajo el contexto de un estudio del trabajo, casi siempre apuntando a investigaciones de eficiencia entre operario y máquina, con clara orientación hacia la búsqueda de la eficiencia económica. De esta técnica se pueden rescatar los pasos que llevan a una recopilación de datos fidedigna, que extraiga la realidad tal cual ocurre, especialmente para el caso de un estudio de tránsito donde el estudio de tiempos es la actividad más importante.

2.6.1 Pasos en estudio de tiempos

De esta manera, la toma de tiempos en terreno se compondrá de los siguientes pasos:

Preparación: consiste en realizar un análisis de comprobación del método de trabajo, además de seleccionar la locación de estudio.

Ejecución: donde se obtiene y se registra la información a través de cronómetros y otros cálculos propios de la investigación de tiempos.

Valoración: donde se comparan los tiempos normales con lo obtenido para establecer una clasificación que permita comparar y establecer la estadística correspondiente.

Suplementos: gravita en establecer las causas de las fallas detectadas, que para este caso corresponden a las demoras en el flujo vehicular.

2.6.2 Representatividad y aleatoriedad

Una población está formada por la totalidad de las observaciones en las cuales se tiene interés. Una muestra es un subconjunto de observaciones seleccionadas de una población. Necesariamente los integrantes de una población tienen características comunes, y la muestra se utiliza cuando resulta difícil, o simplemente, no es posible trabajar con la población completa.

La muestra presenta dos conceptos asociados de gran importancia para su validez: la representatividad y la aleatoriedad. Se habla de representatividad cuando la muestra extraída de la población simboliza a la población completa, permitiendo posteriormente

⁹ Secretaría de Desarrollo Social de México D.F. (2008), **Manual Normativo del Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano**, México.

una inferencia estadística que permita establecer previsiones, estimaciones y conclusiones generales relativas a una población a partir de los datos muestrales disponibles. Así, la representatividad exige que el tamaño de la muestra sea representativo del total de la población.

CAPÍTULO III

INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE “SIMCAR”

CAPÍTULO III

INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE “SIMCAR”

3.1 Introducción¹⁰

Los flujos de tráfico en carreteras dependen de numerosas variables asociadas con la geometría de la vía, controles de tráfico, número de vehículos, tipo de conductor, estado de la vía. Para estudiar estas variables son esenciales datos de campo, su recolección es costosa, usualmente incompleta, no ofrecen oportunidades para examinar los efectos en la operación de tráfico. Simcar es un modelo de simulación microscópico que permite examinar la operación en tramos de carretera de dos carriles y multicarriles, el cual posee un submodelo con el cual se puede representar la dinámica de los vehículos automotores.

La Ingeniería de Tránsito tiene a su favor disponer de un laboratorio a escala uno a uno, donde, por lo menos en teoría, es posible medir y analizar las maniobras y operación de los vehículos en las carreteras. Maniobras como las de adelantamiento de vehículos en carreteras de dos carriles, cambio de carril en una vía multicarril, efecto de los camiones en la circulación, efecto de diferentes elementos geométricos: ancho de separador, ancho de carril, etc.

Pero al formular los programas de adquisición de información primaria se llegan a que las necesidades de información son muy altas, dado el combinatorio de casos por estudiar, y al final la información obtenida es limitada.

En otros casos, ante todo en las vecindades a capacidad, los casos reales observados corresponden a situaciones peculiares de poca ocurrencia, y por tanto, la información medida en campo es también muy limitada. Otro conjunto de variables es de medición muy engorrosa en campo. A todo lo anterior, se le suma los altos costos de la adquisición de la información primaria.

¹⁰ Universidad del Cauca (2019), **SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril**, Popayán, Cauca, Colombia.

3.2 Marco conceptual¹¹

En el comportamiento del flujo vehicular se tienen diferentes tipos de variables, las cuales pueden ser macroscópicas y microscópicas.

Las variables macroscópicas que explican o caracterizan una corriente vehicular son:

Flujo vehicular. (q)

La velocidad de vehículos. (v)

La densidad vehicular. (k)

Cuando el interés es tener un acercamiento de la circulación de vehículo a vehículo se tiene un análisis a nivel microscópico y las variables de interés se clasifican en variables de tiempo y variables de espacio.

Las variables de tiempo son:

Intervalo (h).

Brecha (b).

Paso (p).

Las variables de espacio, relacionados con las anteriores son:

Espaciamiento (s).

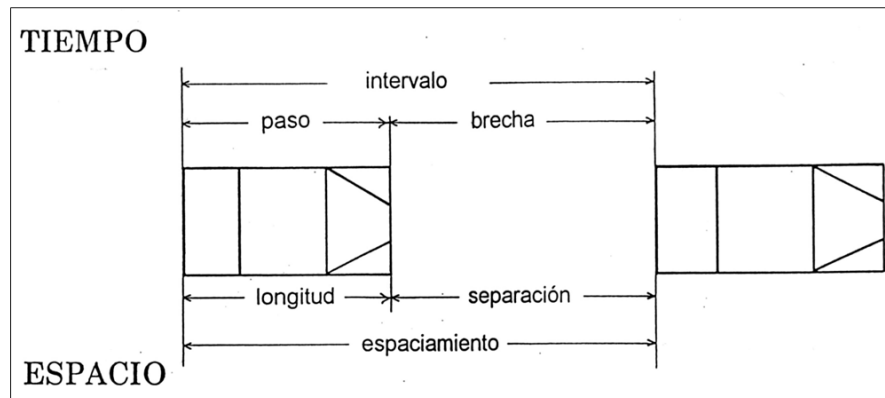
Separación (sv).

Longitud (l).

En la siguiente figura se presenta en forma esquemática y de fácil recordación las seis (6) variables reseñadas anteriormente.

¹¹ Universidad del Cauca (2019), **SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril**, Popayán, Cauca, Colombia.

Figura N° 9: Variables microscópicas



FUENTE: Rivas Nelson, Arboleda Carlos. Apuntes de ingeniería de tránsito. Universidad del Cauca. 2014.

3.2.1 Modelos de tránsito

La teoría del flujo vehicular trata de aplicar las leyes de la física y las matemáticas al comportamiento de una corriente vehicular. El comportamiento de las corrientes vehiculares difiere si su régimen de flujo es ininterrumpido o interrumpido. Al primer régimen se le denomina de circulación continua, la circulación en autopistas, vías multicarril y de dos carriles se dan generalmente bajo este régimen.

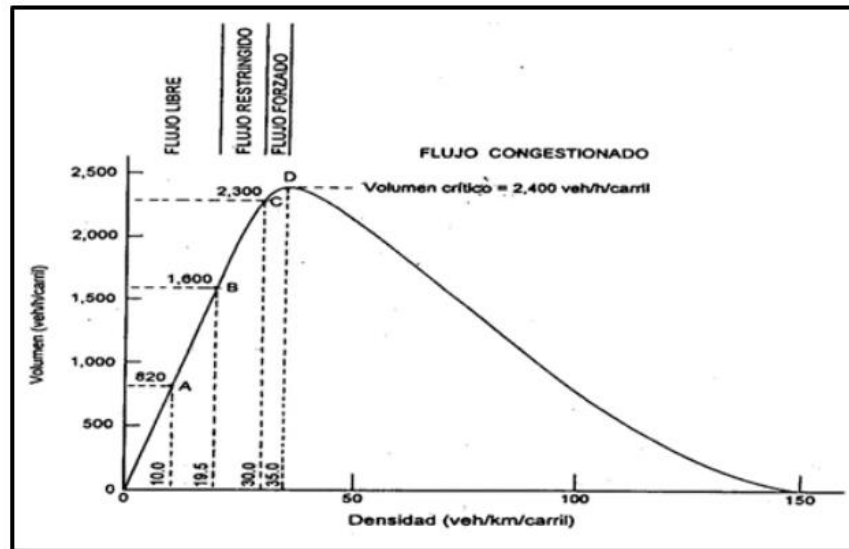
Uno de los modelos más utilizados ha sido desarrollado por Greenshields y se basa en los siguientes supuestos o principios:

La ecuación fundamental del tránsito está dada por la siguiente relación: $q = v * k$

La relación entre v y k es inversa y lineal. Conociendo dos puntos extremos del segmento de recta que la representa. Cuando la densidad tiende a cero la velocidad es la más alta y se la denomina velocidad a flujo libre. Cuando la velocidad tiende a cero la densidad es la más alta y se la denomina densidad de atascamiento.

Dada la anterior relación entre v y k , se puede determinar analíticamente que la ecuación que relaciona el flujo y la densidad es una ecuación de segundo grado, como la que se muestra en la Figura N°10.

Figura N° 10: Relación entre el flujo y la densidad.



FUENTE: Radelat Guido. Principios de ingeniería de tránsito. ITE, 2003.

A través de estas relaciones se establecen los siguientes conceptos:

Capacidad.

Niveles de servicio.

Flujo libre.

Flujo restringido.

Flujo forzado.

Congestión.

Para el régimen interrumpido o discontinuo, que se presenta en las vías arterias urbanas, las relaciones de interés tienen que ver con el comportamiento y mecánica de las descargas de colas y otros parámetros de operación.

3.2.2 Dinámica del vehículo automotor

En este punto se especificarán todos los parámetros que el software es capaz de resolver y manipular en su modelación:

3.2.2.1 Potencia del motor

La potencia se define como el trabajo por unidad de tiempo. El trabajo es el producto de una fuerza por la distancia o desplazamiento del punto de aplicación de dicha fuerza. Si se hacen las conversiones se obtiene:

$$potencia = fuerza * velocidad$$

Se utiliza el término potencia nominal para hacer referencia a la potencia máxima que podría desarrollar el motor en condiciones controladas. Potencia neta o efectiva es la potencia desarrollada una vez se tenga todo el conjunto automotriz. La diferencia entre ambas potencias se da por la interacción entre todos los elementos del conjunto automotriz, la altitud y temperatura, desgaste del vehículo y calidad del mantenimiento del vehículo. Para efecto de aplicación práctica se obtiene una medida de efectividad o rendimiento del motor, de un 80%.

3.2.2.2 Resistencias al avance del vehículo

Las resistencias principales que debe vencer un vehículo para avanzar son:

Inercia del vehículo. Resistencia que ofrece todo cuerpo a la alteración de su estado de reposo o movimiento. Depende de la masa y de la aceleración.

Resistencia al rodamiento. Es la que entorpece principalmente el rodamiento de las llantas por la superficie de la vía. Normalmente se establece a través del coeficiente de resistencia a la rodadura.

Resistencia del aire. Se debe a la oposición que presenta la masa de aire al movimiento del vehículo, además del rozamiento del aire sobre la superficie del vehículo y al vacío parcial que se produce detrás del vehículo. Depende de la densidad del aire, coeficiente aerodinámico, área transversal del vehículo y a la velocidad relativa entre el vehículo y el aire.

Resistencia debida a la pendiente de la vía. En las pendientes ascendentes el vehículo debe vencer la fuerza de la gravedad, pero en las pendientes descendentes esta fuerza es favorable. Esta resistencia depende del peso del vehículo y de la pendiente de la vía.

Resistencia debida a la curvatura. Se trata de la oposición de las curvas de la vía al cambio de dirección del avance del vehículo y se ejerce mediante el contacto entre las ruedas delanteras y la superficie de rodamiento. Esta resistencia depende del peso del vehículo, la velocidad y el radio de curvatura.

3.2.2.3 Relación peso/potencia

Esta relación es útil para conocer la capacidad operativa de los vehículos. Muchas de las diferencias entre la operación de los camiones es el comportamiento de esta variable. Relaciones bajas de peso/potencia permiten desarrollar altas velocidades, en caso contrario, las velocidades a desarrollar tienden a ser muy bajas. De todos los tipos de vehículos los que circulan utilizando una potencia más cercana a la potencia neta son los camiones.

3.2.2.4 Fuerza disponible y aceleración

La fuerza disponible es la fuerza neta desarrollada por el motor menos las resistencias a vencer. Esta fuerza disponible es la que permite disponer de una capacidad de aceleración del vehículo, expresa mediante la conocida ecuación de Newton:

$$aceleración = \frac{fuerza}{masa}$$

3.2.3 Elementos del modelo de simulación SIMCAR

Dentro de los elementos por los cuales se caracteriza el modelo de simulación se pueden especificar los siguientes conceptos:

3.2.3.1 Características básicas del modelo de simulación

Simcar es un modelo estocástico de simulación microscópica que tiene en cuenta de manera realista la geometría, los controles de tráfico, el comportamiento del conductor y las características de los vehículos. Puede usarse para estudiar el impacto de dichas variables bajo condiciones controladas y sin arriesgar inversiones de capital. Permite observar en cada instante de tiempo los movimientos de vehículos individuales requiriendo efectuar procesos lógicos y cálculos intensivos.

Se requiere tener datos de campo, tales como, conteos de tránsito, análisis de videos e inspecciones de terreno, para poder formular y depurar la lógica del sistema, de tal manera que los resultados de cada simulación sea lo más cercana a la realidad.

El modelo de simulación tiene las siguientes características:

Considera explícitamente características aleatorias y determinísticas para cada unidad vehículo - conductor simulado.

Posee un método de asignación de las características de los vehículos semejante a la distribución correspondiente al tráfico real. Para tal efecto, la técnica utilizada es el llamado muestreo de montecarlo, el cual involucra dos procesos:

Generación de un número aleatorio para una distribución uniforme entre cero y uno.

Utilización del número aleatorio anterior como muestra de una distribución específica.

Posee un conjunto de reglas lógicas de decisión, que representen el comportamiento del conductor en la carretera en el momento de decidir alternativas. En carreteras de dos carriles, dispone de reglas lógicas de seguimiento y de adelantamiento.

Está dotado de un sistema de actualización en lo que corresponde a Estados y Eventos, entendiéndose por Estado aquella situación en la que se encuentra un vehículo en un momento determinado, y evento, el instante de cambio de un Estado a otro.

Se utilizan dos sistemas para la actualización:

Tiempo Base: en el cual el simulador de tráfico revisa y actualiza después de cada incremento de tiempo de simulación predeterminado.

Evento Base: el cual revisa el tráfico hasta definir el tiempo del siguiente evento producido y corrige el incremento de tiempo para actualizar la simulación.

Posee un sistema de almacenamiento de los valores numéricos correspondientes a cada vehículo, es decir, define vectores donde la posición del vehículo es guardada en cada evento.

Está provisto de rutinas de observación para poder detallar y grabar los datos de tráfico.

3.2.3.2 Mecanismos básicos

El modelo está dotado de los siguientes mecanismos básicos:

El mecanismo o maniobra de adelantamiento.

El modelo de seguimiento.

3.2.3.2.1 Mecanismo de adelantamiento

La maniobra de adelantamiento ha sido estudiada por muchos investigadores a lo largo de los años. El Dr. Guido Radelat Egues en su libro “Principios de Ingeniería de Tránsito”, hace una extensa descripción de la maniobra.

En la modelación, los mecanismos de adelantamiento se consideran en términos de brechas aceptables según las siguientes presunciones:

El conductor puede ser inconsistente, presumiendo esto que para una situación específica de adelantamiento, la variación de la brecha aceptable se debe en su totalidad a la variabilidad del conductor, es por tal motivo necesaria una distribución de aceptabilidad del conductor para cada tipo de situación de adelantamiento. De esta manera, el simulador determina la brecha disponible para cada secuencia de vehículos y entonces, según la probabilidad de aceptación se decide si será usada para realizar un adelantamiento.

El conductor es consistente, lo que significa que se asume para dicho conductor una brecha crítica, es decir para brechas mayores se registrarán adelantamientos y viceversa.

3.2.3.2.2 Modelo de seguimiento

El modelo de seguimiento utilizado es la denominada regla de California: “Una buena regla para seguir otro vehículo a una distancia prudencial es guardar al menos un cuerpo de vehículo por cada 16 Km/h de la velocidad a que vaya su vehículo”. Se complementa este modelo, con la insensibilidad de la brecha a la velocidad.

3.3 Descripción del software SIMCAR¹²

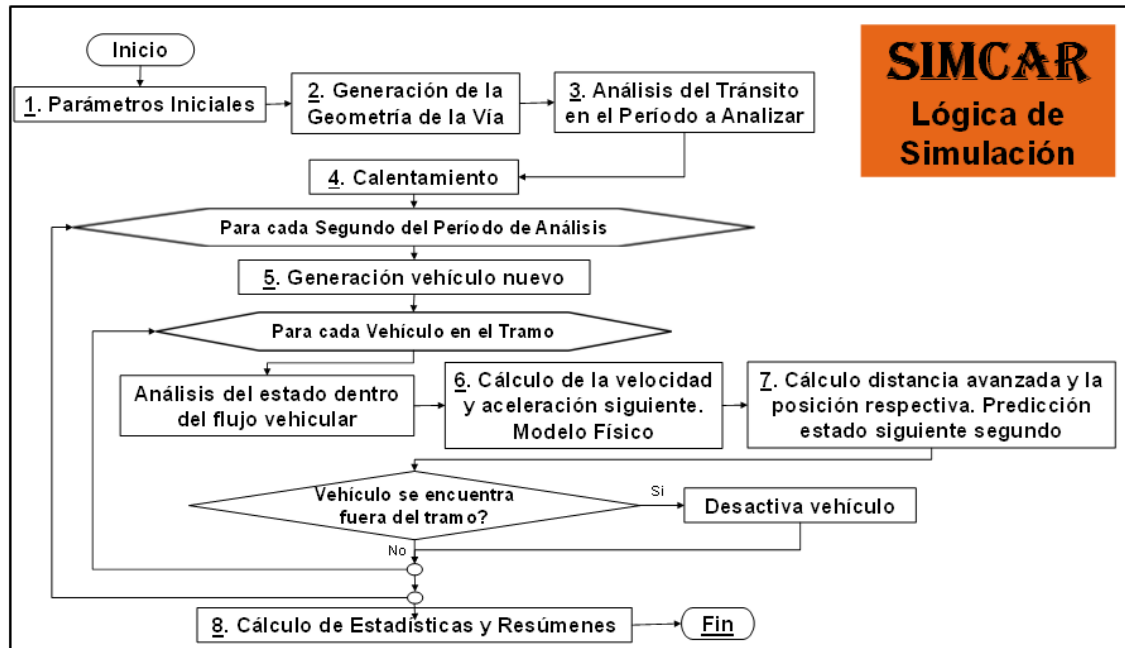
El software de simulación vehicular se puede describir desde distintos parámetros los cuales se mencionan a continuación:

¹² Universidad del Cauca (2019), **SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril**, Popayán, Cauca, Colombia.

3.3.1 Diseño de bloques de SIMCAR

Una forma sencilla de conceptualizar el modelo Simcar es a través de los bloques de lógica definidos. En su estructura global, que se presenta en la figura, se puede dividir el modelo en dos grandes partes:

Figura N° 11: Definición de bloques y procesos del modelo SIMCAR.



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

Parte 1: Construcción virtual de la maqueta de la vía y parámetros y procesos iniciales

Parte 2: Lógica de funcionamiento para cada segundo de simulación.

La Parte 1 está conformada por los siguientes bloques:

Parámetros iniciales.

Generación de la geometría de la vía.

Análisis de tránsito en el período a analizar

Proceso de calentamiento.

La Parte 2 del modelo, constituye el componente dinámico del mismo e incluye:

Generación de un nuevo vehículo.

Modelo físico – dinámica del vehículo.

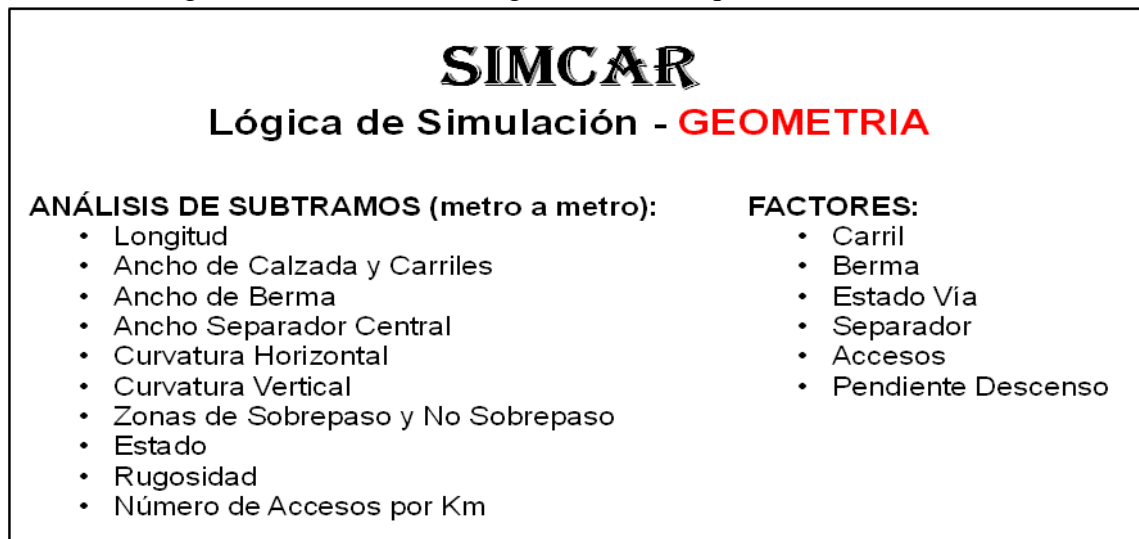
Predicción siguiente segundo.

Cálculo de estadísticas y resúmenes.

3.3.1.1 Maqueta virtual y procesos iniciales

Una mirada global de la lógica del modelo se puede lograr a través de la interacción entre las dos partes reseñadas anteriormente. En los procesos incluidos en la primera parte se logra construir una maqueta virtual de la vía, esta representación es bastante detallada y se logra tener para cada metro de vía características precisas de su geometría, control del tránsito, efectos de elementos geométricos: ancho de carril, ancho de separador, ancho de bermas, densidad de accesos, etc. En la figura se relaciona los aspectos de geometría del modelo.

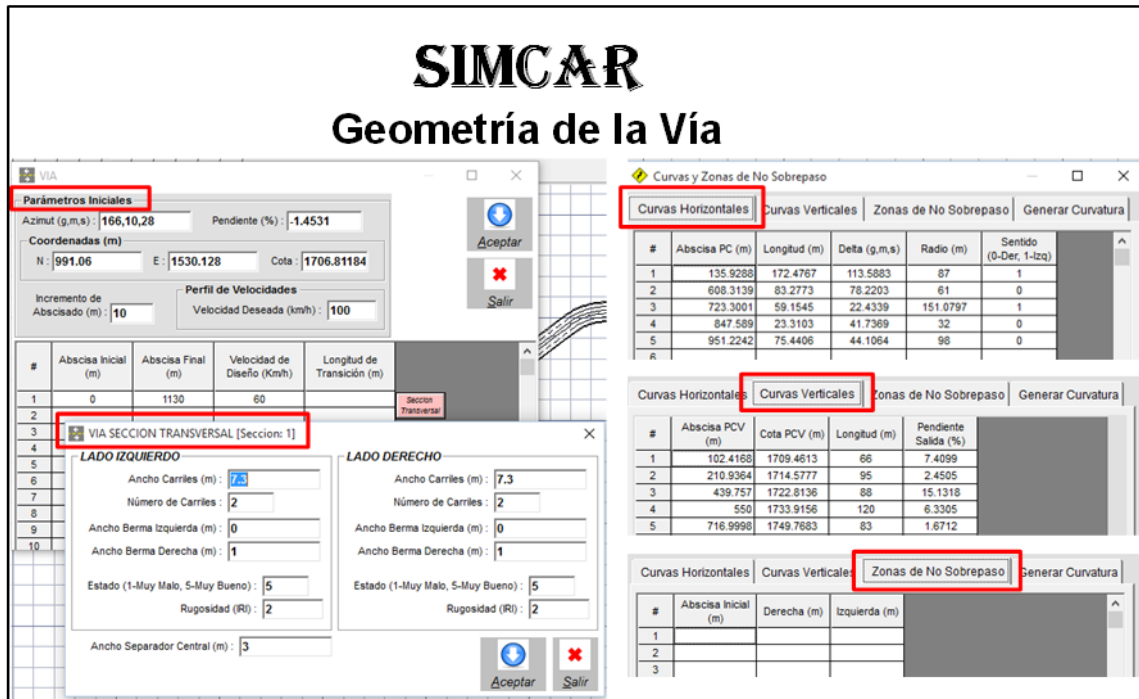
Figura N° 12: Información geométrica–maqueta virtual de la vía.



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

La figura siguiente se relaciona más detalles de la geometría necesaria para realizar los análisis detallados en muchos de los procesos de simulación.

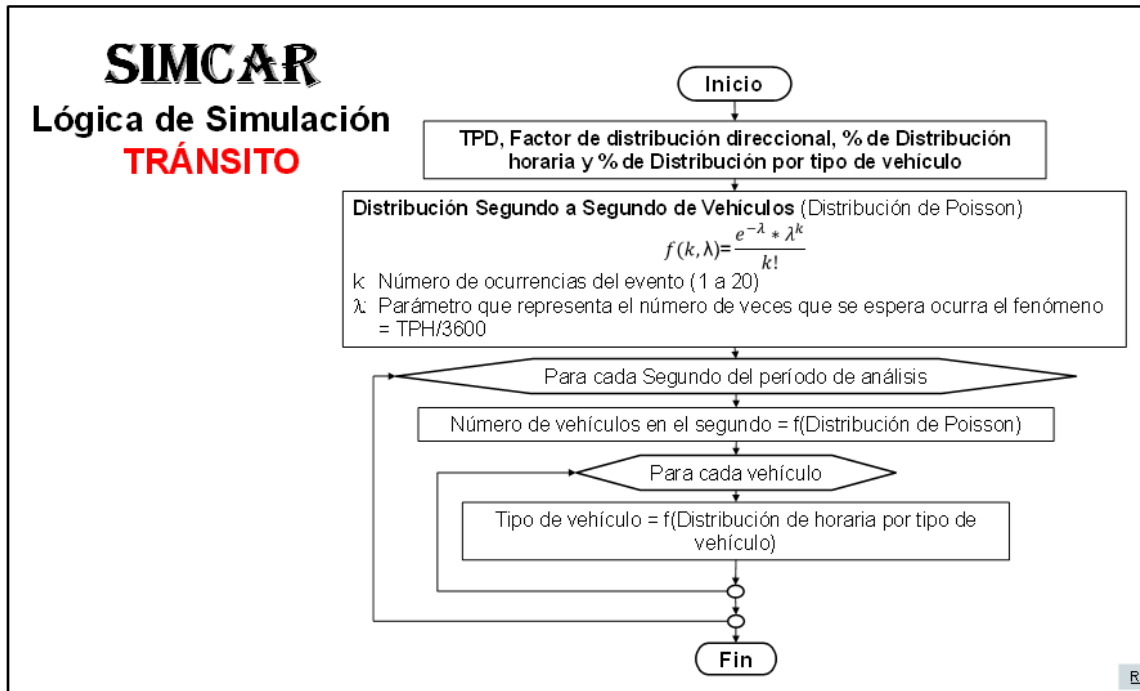
Figura N° 13: Detalles de la geometría del tramo en análisis.



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

Hace parte de la parte 1, establecer los instantes precisos en los cuales el vehículo debe crear un nuevo vehículo; esta distribución se obtiene a partir de los volúmenes horarios de tránsito y su composición vehicular. Aplicando la teoría de probabilidad de Poisson se obtiene la distribución aleatoria de llegada de vehículos, fundamental para la operación de la modelación del sistema. En la Figura N°14 se presenta la lógica correspondiente al bloque de tránsito.

Figura N° 14: Configuración y análisis del tránsito.



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

Además, se tiene una serie de parámetros iniciales que reflejan comportamientos que se deben controlar en las maniobras de adelantamiento, seguimiento, cambio de carril, descenso y ascenso de pendientes. Estos parámetros se han obtenido a través de mediciones realizadas en grabaciones de video realizadas por el grupo de trabajo y que constituyen un aporte importante en la lógica computacional de cientos de procedimientos incluidos en el modelo. En la Figura N°15 se relaciona los parámetros iniciales del modelo, que constituyen elementos de control a lo largo de todos los procesos de simulación.

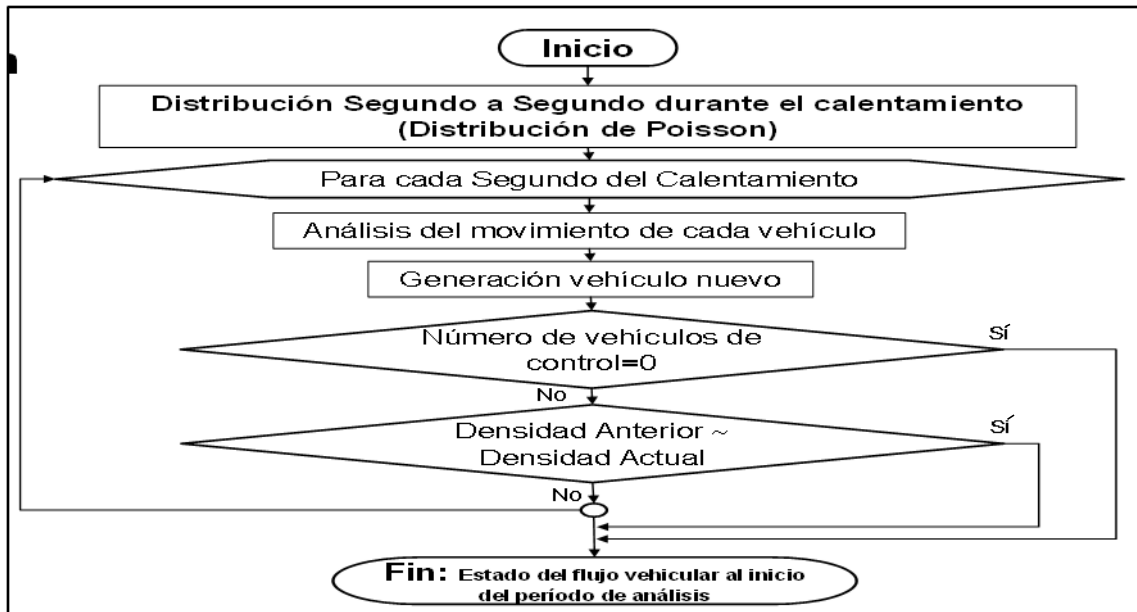
Figura N° 15: Parámetros iniciales del modelo SIMCAR



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

Esta primera parte termina con el denominado proceso de calentamiento, previo a la simulación como tal, consiste en establecer condiciones de operación de la vía estables, en relación con: número de vehículos circulando por la vía, densidad estable, velocidades y formación de colas en el tramo. El proceso de calentamiento debe garantizar condiciones de operación reales y estables previas a la simulación. En la Figura N°16 se presenta la lógica básica del proceso de calentamiento.

Figura N° 16: Lógica del proceso de calentamiento.



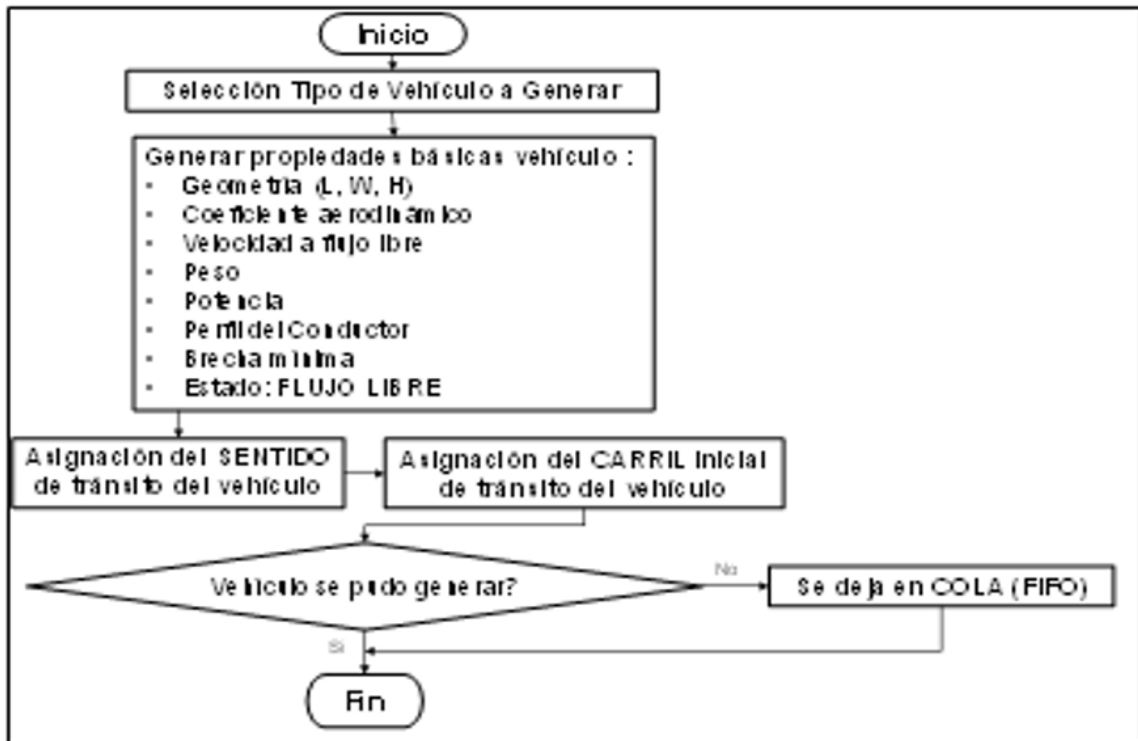
FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

3.3.1.2 Proceso de simulación

La parte 2 del modelo refleja la simulación propiamente. La unidad básica de simulación, en tiempo es el segundo, en longitud es el metro de longitud de vía. Esta parte presenta varios frentes a analizar para cada unidad de tiempo de simulación y cada vehículo circulando por el tramo en estudio:

Debe generar los nuevos vehículos que circularán por el tramo de análisis en esa unidad de tiempo de simulación. En la Figura se presenta la lógica computacional relacionada con la generación de un nuevo vehículo.

Figura N° 17: Lógica computacional generación de un nuevo vehículo.



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

Para cada vehículo y en forma aleatoria debe seleccionar: tipo de vehículo, sentido de circulación, carril de ubicación, tipo de conductor, brechas mínimas, potencia del vehículo, peso del vehículo, velocidad y su desviación típica, etc. En la Figura N°18 se presenta todas las variables relacionadas con un vehículo generado por el modelo. Además, establecer si el vehículo debe permanecer en cola. Si la cola se va incrementando en forma notable se puede establecer que la vía está próxima a la capacidad y a la congestión.

Figura N° 18: Variables asociadas a cada vehículo generado por el modelo.

Tipos de Vehículos

TIPOS DE VEHICULOS

| # | Código | Descripción | Grupo | Largo (m) | Ancho (m) | Alto (m) |
|----|--------|----------------------|-------|-----------|-----------|----------|
| 1 | A | AUTOS | A | 4 | 1.5 | 1.8 |
| 2 | B | BUSES | B | 9.2 | 2.5 | 3.2 |
| 3 | C2P | CAMIÓN 2 EJES | C | 4.4 | 2.5 | 3.5 |
| 4 | C2G | CAMIÓN 2 EJES GRANDE | C | 9.2 | 2.6 | 4.1 |
| 5 | C3-C4 | CAMIÓN C3 Y C4 | C | 11.5 | 2.6 | 4.1 |
| 6 | C5 | TRACTO-CAMIÓN C3-S2 | C | 18 | 2.6 | 4.1 |
| 7 | C6 | TRACTO-CAMIÓN C3-S3 | C | 18 | 2.6 | 4.1 |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |

Aceptar Salir

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VEHICULO [A AUTOS]

VELOCIDAD (Km/h)

Mínima : 50

Maxima : 120

Comportamiento

| # | % Distribución |
|--------|----------------|
| Min 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 8 |
| 4 | 13 |
| 5 | 25 |
| 6 | 25 |
| 7 | 13 |
| 8 | 8 |
| 9 | 3 |
| Max 10 | 1 |

POTENCIA (hp)

Mínima : 80

Maxima : 300

Comportamiento

| # | % Distribución |
|--------|----------------|
| Min 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 8 |
| 4 | 13 |
| 5 | 25 |
| 6 | 25 |
| 7 | 13 |
| 8 | 8 |
| 9 | 3 |
| Max 10 | 1 |

PESO (Kg)

Mínimo : 500

Máximo : 3000

Comportamiento

| # | % Distribución |
|--------|----------------|
| Min 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 8 |
| 4 | 13 |
| 5 | 25 |
| 6 | 25 |
| 7 | 13 |
| 8 | 8 |
| 9 | 3 |
| Max 10 | 1 |

PERFIL CONDUCTOR

| Perfil | % Distribución |
|---------------------|----------------|
| Muy Poco Arriesgado | 0 |
| Poco Arriesgado 1 | 0 |
| Poco Arriesgado 2 | 5 |
| Normal Inferior | 10 |
| Normal | 70 |
| Normal Superior | 10 |
| Arriesgado | 5 |
| Arriesgado 1 | 0 |
| Arriesgado 2 | 0 |
| Muy Arriesgado | 0 |

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

| Estado | Coefficiente de Rozamiento |
|-----------|----------------------------|
| Muy Malo | 0.026 |
| Malo | 0.026 |
| Regular | 0.025 |
| Bueno | 0.024 |
| Muy Bueno | 0.023 |

BRECHA (s)

Mínima : 1.2

Maxima : 1.5

Carril Preferencial: Todos

Aceptar Salir

FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

Uno de los aspectos más realistas del modelo desarrollado tiene que ver con el comportamiento de los conductores. Para ello se establecen perfiles de conductores y los parámetros de comportamiento del tipo de conductor en las diferentes maniobras a realizar durante la operación y simulación en el tramo de análisis. En la Figura se presenta los aspectos relacionados con los conductores.

Figura N° 19: Perfiles de conductores y parámetros de comportamiento.

| Código | Descripción | Factor Aceleracion Sobrepasso Minimo | Factor Aceleracion Sobrepasso Maximo | Tiempo Decisión Sobrepasso Minimo (s) | Tiempo Decisión Sobrepasso Maximo (s) | Factor de Afectación Brecha Mínima |
|--------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Muy Poco Arriesgado | 0.74 | 0.86 | 3.4 | 3.6 | 1.63 |
| 2 | Poco Arriesgado 1 | 0.77 | 0.89 | 3.2 | 3.4 | 1.56 |
| 3 | Poco Arriesgado 2 | 0.78 | 0.92 | 2.9 | 3.1 | 1.48 |
| 4 | Normal Inferior | 0.86 | 1.04 | 2.4 | 2.6 | 1.33 |
| 5 | Normal | 0.9 | 1.1 | 1.9 | 2.1 | 1.19 |
| 6 | Normal Superior | 0.95 | 1.15 | 1.8 | 1.9 | 1.04 |
| 7 | Arriesgado | 0.99 | 1.16 | 1.75 | 1.85 | 0.89 |
| 8 | Arriesgado 1 | 1.04 | 1.22 | 1.65 | 1.75 | 0.81 |
| 9 | Arriesgado 2 | 1.09 | 1.28 | 1.6 | 1.7 | 0.67 |
| 10 | Muy Arriesgado | 1.13 | 1.34 | 1.55 | 1.65 | 0.52 |

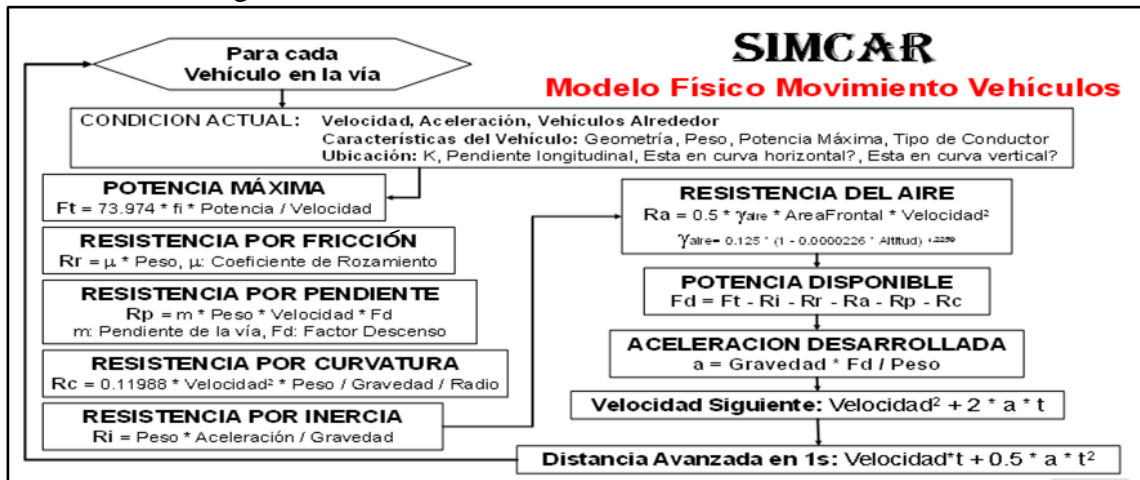
FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

Para los vehículos que se encuentran circulando al inicio de la unidad de simulación, un segundo en particular, se debe analizar:

Determinar el estado del vehículo al inicio de la unidad de simulación: seguimiento, flujo libre, cambio de carril, está siendo adelantado, está adelantando.

Aplicación del modelo dinámico de vehículos, determinación de la potencia neta, resistencia a vencer, potencia disponible y tasa de aceleración disponible. Este proceso, denominado modelo físico dentro de SIMCAR, constituye el corazón de la simulación. Por tratarse de un modelo basado en las leyes de Newton, el modelo es transferible a las condiciones de diferentes países o regiones. Lo que es más importante, es posible realizar simulaciones sobre vehículos con configuraciones especiales. En la Figura N°20 se presenta lo relacionado con el modelo físico incluido en el modelo SIMCAR.

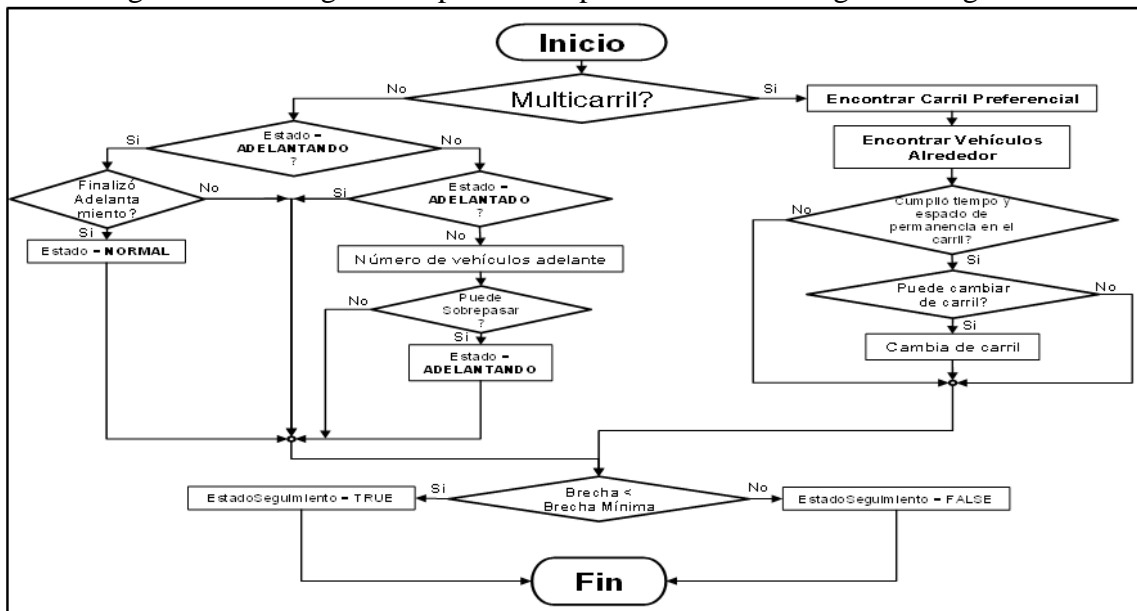
Figura N° 20: Modelo físico de la dinámica de vehículos.



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

El siguiente proceso es realizar la predicción al siguiente segundo. En él se establece el probable comportamiento del vehículo en el siguiente segundo y definir ya en firme el estado futuro del vehículo. Se establece también si el vehículo continúa activo dentro del tramo de análisis. En la Figura se presenta la lógica computacional relacionada con este bloque de simulación.

Figura N° 21: Lógica computacional predicción estado siguiente segundo



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

3.4 Resultados principales de SIMCAR¹³

En el proceso de simulación, Simcar crea estadísticas detalladas de todo lo sucedido en cada segundo del tiempo modelado. A continuación se presenta un listado de los informes básicos que se obtienen de una simulación de un tramo en estudio:

Análisis y verificación de los datos de entrada.

Resumen de los tiempos especificados, volúmenes, velocidades y características de los vehículos.

Características de la vía que influencia las operaciones del tránsito.

Velocidades deseadas representativas velocidades y tiempos de viajes de referencia.

Estado del tránsito en determinados momentos.

Velocidad media espacial y de operación.

Estadísticas de las velocidades deseadas y simuladas.

Tiempos de viaje y demoras.

Histogramas de velocidades observadas.

Márgenes de tiempo en maniobras de sobrepaso y sobrepasos abortados.

Datos de tasas de sobrepaso y abortos de sobrepaso, líderes de pelotones, y porcentaje de tiempo impedido.

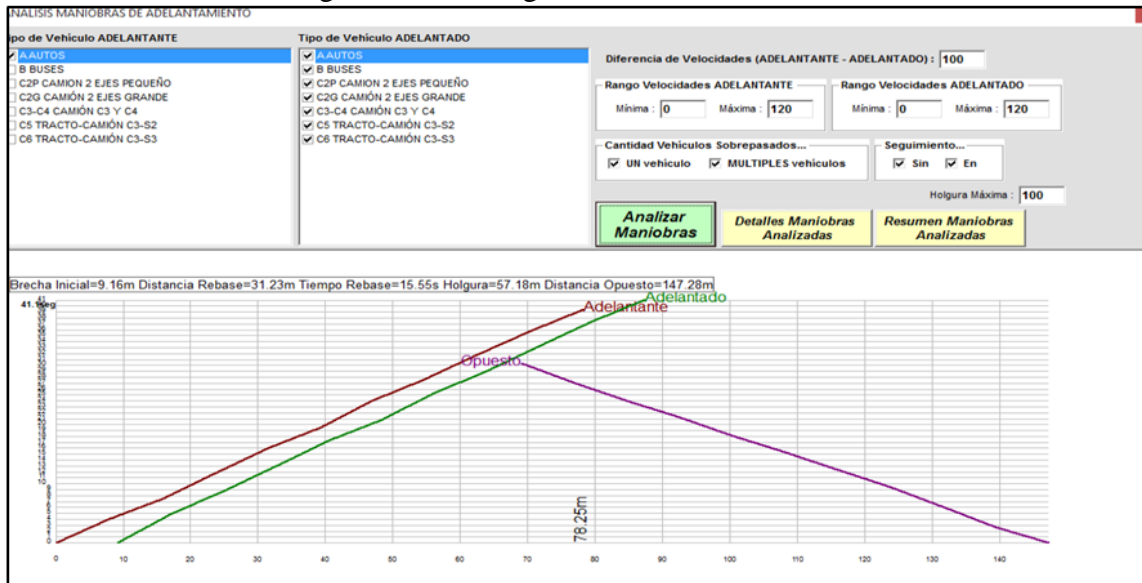
Datos de intervalos y tamaño de pelotones.

Capacidad y Niveles de servicio.

Adicionalmente para estudiar y calibrar la maniobra de adelantamiento, el modelo proporciona un diagrama de adelantamiento, y su respectivo análisis estadístico el cual se presenta en la Figura N°22.

¹³ Universidad del Cauca (2019), **SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril**, Popayán, Cauca, Colombia.

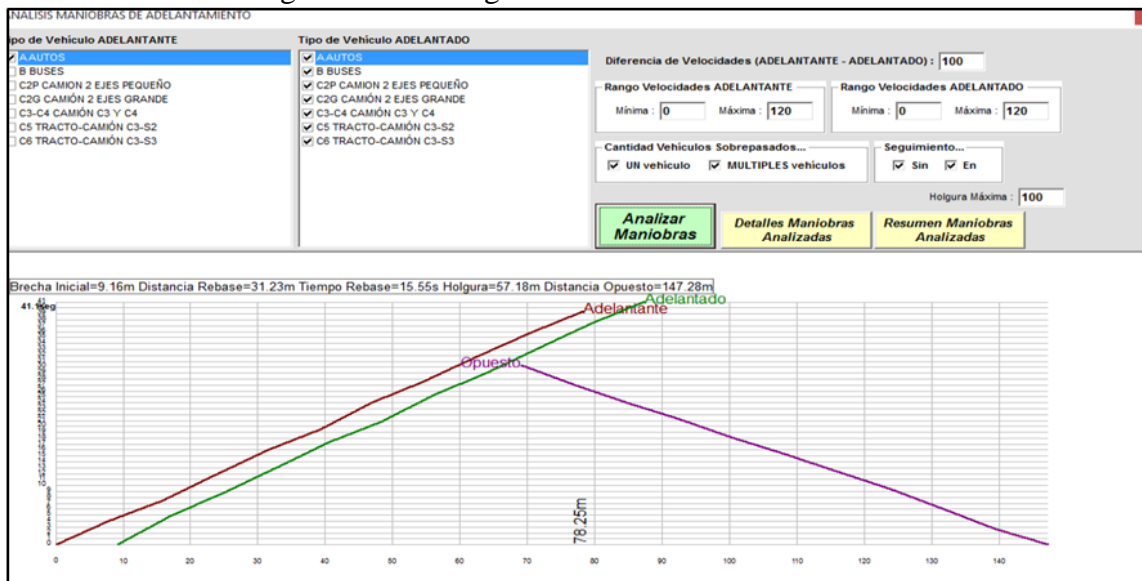
Figura N° 22: Diagrama de adelantamientos



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

Otro de los resultados del modelo es el denominado diagrama de evolución del tránsito, que trata de medir las perturbaciones en el espacio y en el tiempo, en la Figura N°23 se presenta la apariencia de un diagrama de evolución del tránsito.

Figura N° 23: Diagrama de evolución del tránsito.



FUENTE: Universidad del Cauca (2019), SIMCAR. Software para simulación de vehículos en vías de 2 carriles y multicarril, Popayán, Cauca, Colombia.

SIMCAR es un programa de simulación que permite visualizar y probar cambios en las operaciones en cualquier proceso de tráfico y flujo vehicular, de una manera rápida y sencilla. Evita altos costos, riesgos y extensos tiempos que conllevan el experimentar con cambios en el mundo real y su análisis por prueba y error, generando grandes ahorros en ese aspecto.

Este software suministra al usuario un formato elegante para visualizar, modelar y simular flujos de procesos en un ambiente bidimensional. Cada objeto puede tener una localización, velocidad, rotación y un comportamiento dinámico a través del tiempo, pudiendo ser creados, trasladados y/o eliminados sin problemas.

SIMCAR permite modelar casi todos los tipos de vehículos que existen, motocicletas, automóviles pequeños, coches de pasajeros, vehículos medianos y grandes de pasajeros, camiones ligeros, camiones rígidos pequeños de dos ejes, camiones rígidos medianos de dos ejes, camiones rígidos multieje, autobuses ligeros medianos y grandes, bus grande de dos ejes o varios ejes, se pueden modelar fácilmente usando la biblioteca que posee.

Por otra parte, la capacidad de fabricar estadísticas, diagramas de evolución de tránsito, histogramas de velocidades observadas de las simulaciones y otros desde el mismo SIMCAR permite una forma adicional de comunicar, mostrar y compartir los modelos. Permite además importar dibujos bidimensionales, o bien incorporar otros totalmente nuevos creados por el usuario.

CAPÍTULO IV
APLICACIÓN PRÁCTICA

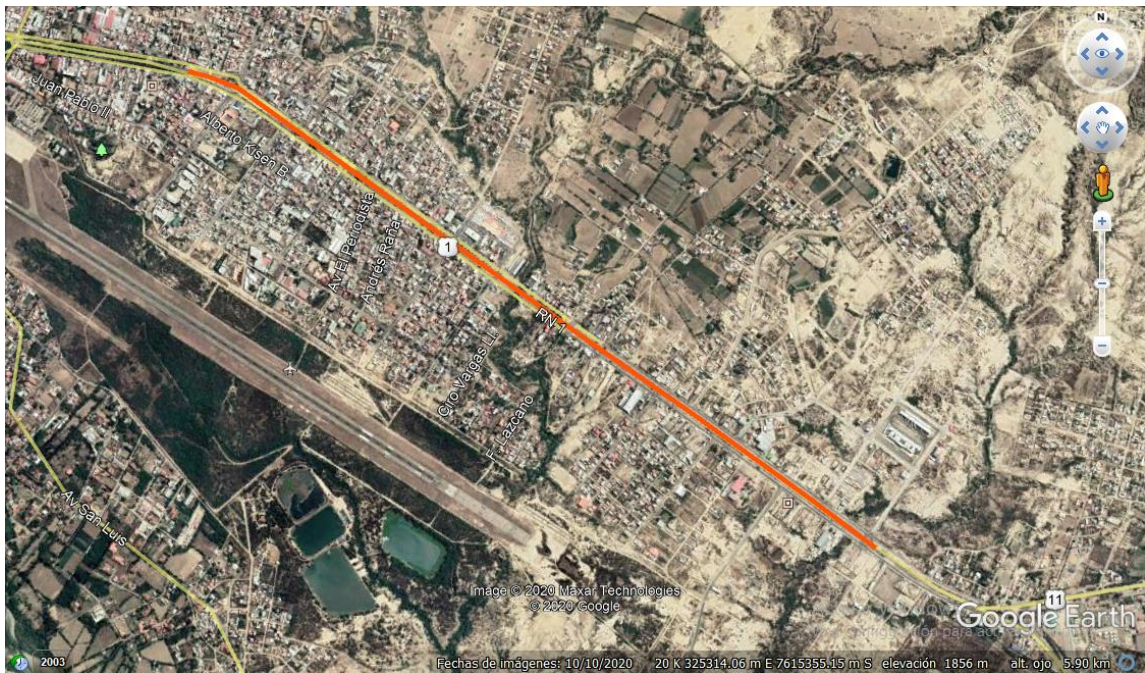
CAPÍTULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1 Ubicación del área de estudio

El tramo estudiado para el presente proyecto está ubicado al sur de la ciudad de Tarija, salida al Chaco, se realizó sobre la avenida Panamericana, zona Aeropuerto desde la intersección con la Calle Hna. Ana Alicia Oliva, esquina donde se ubica el supermercado Urkupiña, hasta la rotonda de acceso a la nueva terminal, zona El Portillo; donde se identificaron las intersecciones más críticas para la realización del conteo vehicular también denominado aforo.

Figura N° 24: Ubicación del área de estudio



FUENTE: Software Google Earth Pro.

Figura N° 25: Ubicación referencial de inicio del tramo



FUENTE: Software Google Earth Pro.

Figura N° 26: Ubicación referencial final del tramo.



FUENTE: Software Google Earth Pro.

4.2 Descripción de la ruta de estudio

La Avenida Panamericana, una de las vías más importantes de la ciudad de Tarija, que recorre de Norte a Sur la parte central de la zona urbana, denominada en sus diferentes tramos con distintos nombres; considerada triple vía multicarril, debido a que cada una de las vías cuenta con dos carriles amplios.

Se identificaron 8 intersecciones o puntos de aforo críticos, los cuales, por la interacción, el acceso y salida de vehículos con la vía secundaria transversal a la vía principal avenida Panamericana, son influyentes y representan un cambio en las características sustanciales del flujo vehicular en el tramo.

Cuenta con curvas horizontales leves y curvas verticales moderadas lo cual hace pensar que la velocidad de diseño del tramo es superior a los 80km/h, ya que se trata de un tramo considerado como ruta nacional, pero con restricciones de velocidad por estar dentro de una zona urbana altamente transitada de la ciudad.

4.3 Proceso de estudio

4.3.1 Características de la ruta de estudio

A continuación se presentan las intersecciones estudiadas en campo, las cuales fueron identificadas como las más críticas del tramo, estas son:

Figura N° 27: Intersección av. Panamericana-calle Hna. Ana Alicia Oliva



FUENTE: <https://www.google.com.bo/maps>.

Primera intersección estudiada del tramo, la cual cuenta con cuatro accesos de la avenida principal y un acceso de la calle secundaria, todos estos registrados con el conteo manual.

Figura N° 28: Intersección av. Panamericana-av. Fray Quebracho



FUENTE: <https://www.google.com.bo/maps>.

Segunda intersección estudiada del tramo, la cual cuenta con cuatro accesos de la avenida principal y dos accesos de las calles secundarias, todos estos registrados con el conteo manual.

Figura N° 29: Intersección av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa



FUENTE: <https://www.google.com.bo/maps>.

Tercera intersección estudiada del tramo, la cual cuenta con ocho accesos de la avenida principal y dos accesos de la avenida secundaria, todos estos registrados con el conteo manual del trabajo de campo.

Figura N° 30: Intersección av. Panamericana-av. Renán Justiniano Soto



FUENTE: <https://www.google.com.bo/maps>.

Cuarta intersección estudiada del tramo, la cual cuenta con siete accesos de la avenida principal y tres accesos de la avenida y calle secundarias, todos estos registrados con el conteo manual del trabajo de campo.

Figura N° 31: Intersección av. Panamericana-av. Profesor Simón Rodríguez Carreño



FUENTE: <https://www.google.com.bo/maps>.

Quinta intersección estudiada del tramo, la cual cuenta con ocho accesos de la avenida principal y cinco accesos de la avenida y calle secundarias, todos estos registrados con el conteo manual del trabajo de campo.

Figura N° 32: Intersección av. Panamericana-av. Juan de Dios Mealla Otorala



FUENTE: <https://www.google.com.bo/maps>.

Sexta intersección estudiada del tramo, la cual cuenta con siete accesos de la avenida principal y cuatro accesos de la avenida y calle secundarias, todos estos registrados con el conteo manual del trabajo de campo.

Figura N° 33: Intersección av. Panamericana (Coord.: 7614918.15 m S, 325945.50 m E)



FUENTE: <https://www.google.com.bo/maps>.

Séptima intersección estudiada del tramo, la cual cuenta con seis accesos de la avenida principal y dos accesos de la avenida secundaria, todos estos registrados con el conteo manual del trabajo de campo.

Figura N° 34: Intersección av. Panamericana (Coord.: 7614512.76 m S, 326474.63 m E)



FUENTE: <https://www.google.com.bo/maps>.

Octava y última intersección estudiada del tramo, la cual cuenta con ocho accesos de la avenida principal y cero accesos de la avenida secundaria, todos estos registrados con el conteo manual del trabajo de campo.

4.3.2 Proceso de obtención de datos

El proceso de obtención de los datos de campo es una de las fases más importantes en el camino para llegar a la simulación vehicular y para la determinación de los parámetros que definen el nivel de servicio con el que cuentan las vías.

Los datos obtenidos en campo fueron de dos tipos, conteo o aforo vehicular, para la determinación del tránsito promedio diario y la distribución porcentual de las direcciones a las cuales se dirigen los vehículos en los accesos de cada intersección estudiada; por otra parte las características físicas y geométricas de las vías, muy importante para la determinación de las alineaciones por los ejes, curvas horizontales, curvas verticales y pendientes que son influyentes en el tipo de circulación y la velocidad de los motorizados.

El proceso de conteo vehicular inicia con la selección de la metodología a seguir para conseguir los datos de campo bajo una normativa válida y reconocida tanto nacional como internacionalmente, en este caso se presentan dos alternativas que son; la primera, normativa AASHTO, que establece el conteo vehicular durante un mes completo únicamente dos días hábiles de la semana y un día de fin de semana solo en horarios pico.

La segunda, normativa Boliviana, del manual de carreteras de la ABC, que indica 7 días continuos durante el día completo.

Para el proyecto se determinó usar la metodología AASHTO, donde se realizó el conteo vehicular durante 15 días continuos, haciendo un total de 10 días hábiles de la semana y 5 días de fin de semana siendo equivalente al mes entero.

Para la identificación de las horas pico propias del tramo, se vio la necesidad de generar un histograma de tráfico vehicular utilizando el volumen de vehículos vs hora, para lo cual se realizó el conteo de un día completo en uno de los puntos del tramo, en fecha 19/10/20 desde las 6:00 hasta las 20:00 rango en el cual se presentan las horas pico durante el día.

El aforo clasificado en las ocho intersecciones de manera simultánea en los horarios de 7:00-8:00, 11:00-12:00 y 15:00-16:00 se hizo posible a través de la cooperación de un equipo de apoyo de 6 personas, 2 trípodes con grabadora y el proyectista, logrando realizar el conteo durante los 15 días.

Las características físicas y geométricas de la vía fueron obtenidas a través de la colaboración del honorable Gobierno Autónomo Municipal de Tarija y la dirección de ordenamiento territorial DOT, misma que nos proporcionó el mapeo completo de la ciudad de Tarija. Asimismo gracias a la colaboración del Laboratorio de Suelos y Topografía de la UAJMS, en fecha 23/12/20 hasta la fecha 24/12/20 se realizó el levantamiento topográfico con estación total en el tramo estudiado.

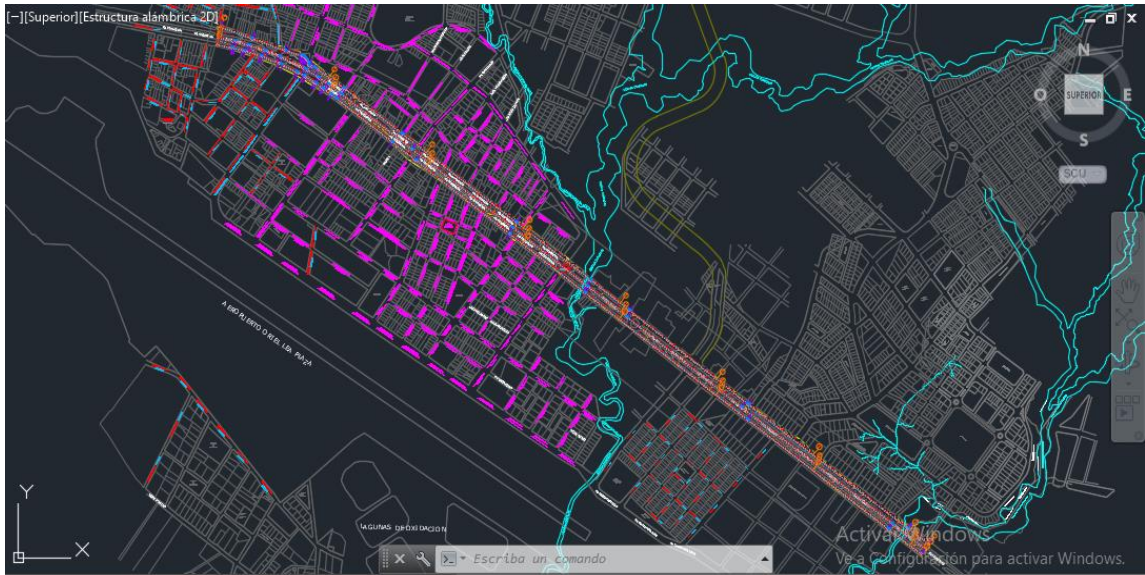
4.3.3 Determinación de las propiedades físicas y geométricas de la vía

El levantamiento topográfico se realizó con la estación total SOKKIA SET5X, la ubicación de los puntos de partida BM1 y BM2 se obtuvieron con el GPS RTK ambos proporcionados por el Laboratorio de Suelos y Topografía de la UAJMS.

Los puntos obtenidos por el levantamiento topográfico están en la sección ANEXOS.

Con lo cual se ha podido generar la superficie real del tramo de donde se obtuvieron todos los datos de alineación, progresiva, curvas horizontales, curvas verticales y pendientes requeridos por el software de simulación.

Figura N° 35: Determinación de las propiedades físicas y geométricas



FUENTE: AutoCAD Civil3D, elaboración propia.

Figura N° 36: Detalle de levantamiento topográfico de la vía.



FUENTE: AutoCAD Civil3D, elaboración propia.

Con la información obtenida a través del levantamiento topográfico y a los datos proporcionados por la dirección de ordenamiento territorial, se pudo obtener las siguientes características de las vías:

Tabla N° 10: Características generales de la vía izquierda doble sentido

| Características generales de la vía | | |
|---|-----|---------|
| Ancho de carril | 5 | m |
| Ancho de berma tipo de terreno | 1 | m |
| Estado de la superficie de rodadura IRI | 3.5 | (Bueno) |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 11: Características generales de la vía central sentido norte

| Características generales de la vía | | |
|---|-----|---------|
| Ancho de carril | 5 | m |
| Ancho de berma tipo de terreno | 1 | m |
| Estado de la superficie de rodadura IRI | 3.5 | (Bueno) |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 12: Características generales de la vía derecha sentido sur

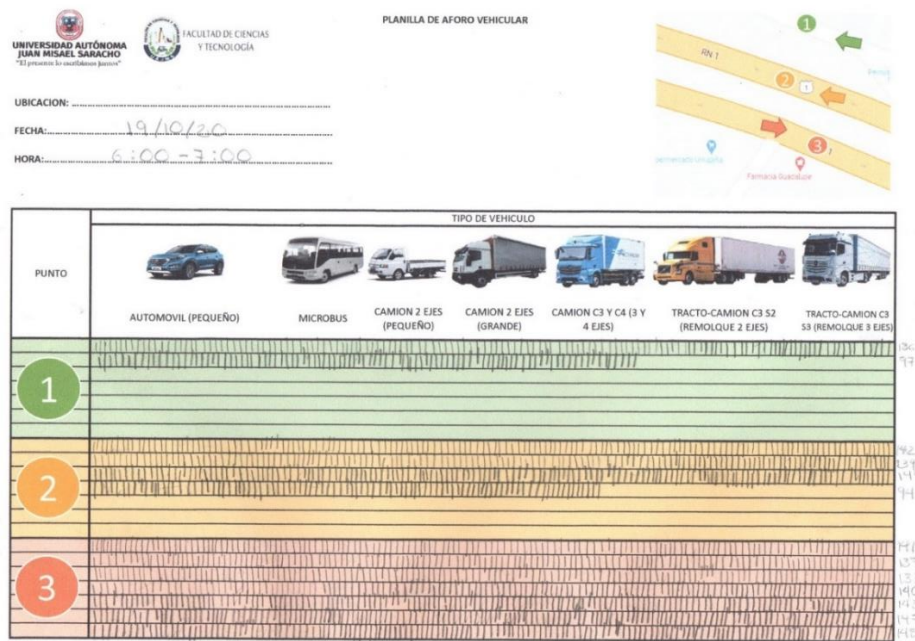
| Características generales de la vía | | |
|---|-----|---------|
| Ancho de carril | 3.5 | m |
| Ancho de berma tipo de terreno | 1 | m |
| Estado de la superficie de rodadura IRI | 3.5 | (Bueno) |

FUENTE: Elaboración propia.

4.3.4 Aforo vehicular

La aplicación en campo comienza con el aforo vehicular de volúmenes en un determinado punto al inicio del tramo, se realizó en la primera intersección debido a que el flujo a simple vista se observa mucho mayor y más transitado que en los puntos posteriores. A continuación se presenta una muestra de las planillas utilizadas y de la forma de conteo manual que se realizó.

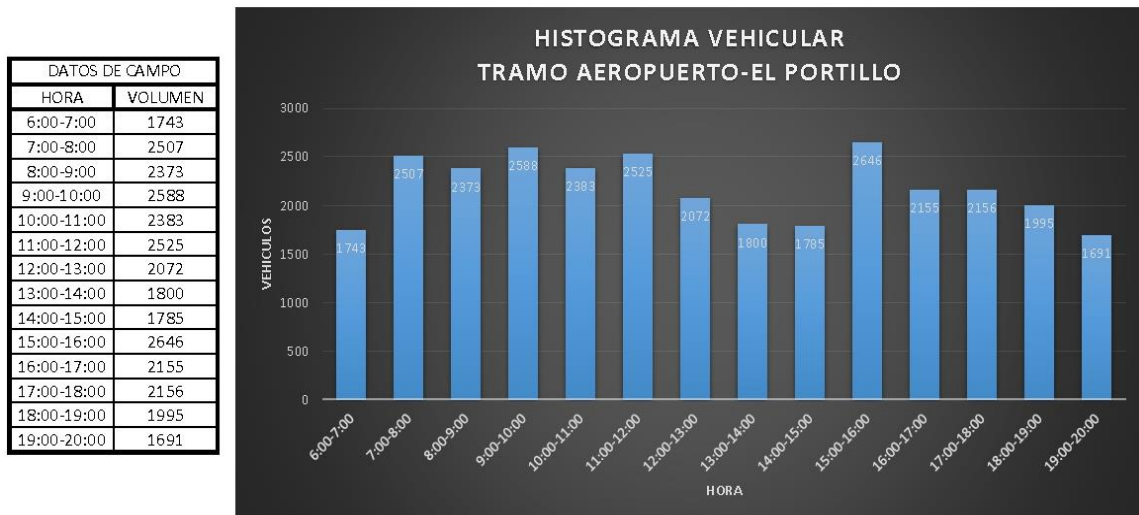
Figura N° 37: Planilla de aforo vehicular de volúmenes



FUENTE: Elaboración propia.

Para este trabajo, no se realizó una discretización de los vehículos, sino que solamente se tomó en cuenta el volumen, es decir el número total de vehículos que transitaron por el punto por cada hora, y finalmente se obtuvo el histograma vehicular de la siguiente manera:

Figura N° 38: Histograma vehicular de la av. Panamericana, tramo Aeropuerto-El Portillo

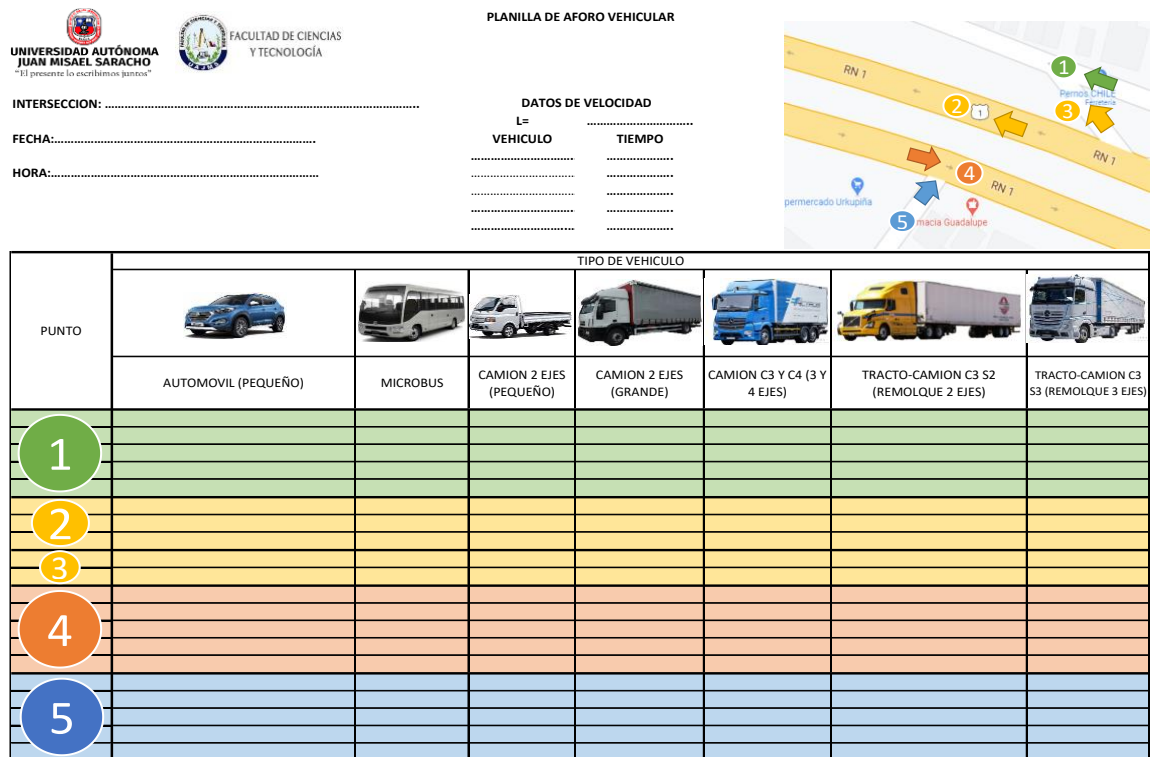


FUENTE: Elaboración propia.

A través de la gráfica, se identificó como horarios pico los siguientes 7:00-8:00, 11:00-12:00 y 15:00-16:00, los cuales fueron los establecidos para el estudio y conteo vehicular.

Ya con los horarios establecidos, se inició el conteo vehicular clasificado. Para el presente proyecto se utilizó la discretización vehicular establecida por defecto en el software, clasificando los vehículos de la siguiente manera para cada una de las vías:

Figura N° 39: Modelo de planilla de aforo para aplicación en el tramo



FUENTE: Elaboración propia.

4.4 Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete se clasificó de la siguiente manera:

4.4.1 Recopilación y ordenamiento de datos de la vía

Los datos obtenidos a través del levantamiento topográfico fueron como ya se mencionó anteriormente la nube de puntos, con lo cual pudo generarse la superficie real del tramo y con ello la alineación con sus respectivas progresivas, las curvas horizontales, curvas verticales y las pendientes. Las tablas de curvas horizontales son las siguientes:

Tabla N° 13: Elementos en curvas horizontales de la vía izquierda doble sentido

| Tabla de elementos en curvas horizontales | | | | | |
|---|-------------|-------|---------------|--------|-----------------------|
| N° PI | Abscisa. PC | L (m) | Delta (g,m,s) | R (m) | Sentido (0-Izq,1-Der) |
| PI-1 | 137.10 | 3.73 | 1,04,11 | 200.00 | 1 |
| PI-2 | 278.74 | 14.00 | 4,00,38 | 200.00 | 1 |
| PI-3 | 346.97 | 6.00 | 10,34,55 | 32.55 | 0 |
| PI-4 | 355.70 | 3.61 | 5,56,08 | 34.89 | 0 |
| PI-5 | 362.75 | 4.58 | 5,56,18 | 44.22 | 0 |
| PI-6 | 370.48 | 4.19 | 9,46,49 | 24.55 | 0 |
| PI-7 | 380.18 | 7.24 | 19,10,23 | 21.73 | 0 |
| PI-8 | 394.89 | 4.39 | 25,31,35 | 9.93 | 0 |
| PI-9 | 401.34 | 2.26 | 66,24,20 | 2.06 | 1 |
| PI-10 | 416.35 | 29.98 | 8,35,43 | 200.00 | 0 |
| PI-11 | 571.10 | 9.98 | 2,51,34 | 200.00 | 0 |
| PI-12 | 875.94 | 0.87 | 0,15,01 | 200.00 | 1 |
| PI-13 | 464.76 | 0.18 | 0,03,01 | 200.00 | 1 |
| PI-14 | 846.73 | 1.90 | 0,32,41 | 200.00 | 0 |
| PI-15 | 47.01 | 0.08 | 0,01,27 | 200.00 | 1 |
| PI-16 | 661.93 | 1.33 | 0,22,52 | 200.00 | 1 |
| PI-17 | 484.79 | 5.48 | 1,34,10 | 200.00 | 1 |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 14: Elementos en curvas horizontales de la vía central sentido norte

| Tabla de elementos en curvas horizontales | | | | | |
|---|-------------|-------|---------------|--------|-----------------------|
| N° PI | Abscisa. PC | L (m) | Delta (g,m,s) | R (m) | Sentido (0-Izq,1-Der) |
| PI-18 | 60.24 | 14.56 | 4,10,20 | 200.00 | 0 |
| PI-19 | 124.35 | 10.38 | 2,58,29 | 200.00 | 0 |
| PI-20 | 195.29 | 12.45 | 3,33,59 | 200.00 | 0 |
| PI-21 | 257.67 | 13.87 | 3,58,31 | 200.00 | 0 |
| PI-22 | 372.23 | 21.01 | 6,01,21 | 200.00 | 0 |
| PI-23 | 439.71 | 7.51 | 2,09,07 | 200.00 | 0 |
| PI-24 | 486.29 | 10.31 | 2,57,19 | 200.00 | 0 |
| PI-25 | 555.29 | 1.70 | 0,29,10 | 200.00 | 0 |
| PI-26 | 922.84 | 0.37 | 0,06,22 | 200.00 | 1 |
| PI-27 | 442.6 | 0.40 | 0,06,57 | 200.00 | 0 |
| PI-28 | 827.76 | 0.59 | 0,10,10 | 200.00 | 0 |
| PI-29 | 33.64 | 0.16 | 0,02,47 | 200.00 | 1 |
| PI-30 | 626.59 | 1.48 | 0,25,23 | 200.00 | 1 |
| PI-31 | 403.51 | 0.43 | 0,07,22 | 200.00 | 0 |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 15: Elementos en curvas horizontales de la vía derecha sentido sur

| Tabla de elementos en curvas horizontales | | | | | |
|---|-------------|-------|---------------|--------|-----------------------|
| N° PI | Abscisa. PC | L (m) | Delta (g,m,s) | R (m) | Sentido (0-Izq,1-Der) |
| PI-32 | 63.24 | 7.72 | 2,12,43 | 200.00 | 0 |
| PI-33 | 104.02 | 15.65 | 4,29,07 | 200.00 | 0 |
| PI-34 | 182.23 | 9.88 | 2,49,46 | 200.00 | 0 |
| PI-35 | 264.69 | 18.58 | 5,19,27 | 200.00 | 0 |
| PI-36 | 344.40 | 6.96 | 1,59,34 | 200.00 | 0 |
| PI-37 | 376.10 | 12.23 | 3,30,18 | 200.00 | 0 |
| PI-38 | 430.14 | 10.28 | 2,56,45 | 200.00 | 0 |
| PI-39 | 471.51 | 5.86 | 1,40,49 | 200.00 | 0 |
| PI-40 | 512.52 | 3.40 | 0,58,25 | 200.00 | 0 |
| PI-41 | 540.70 | 0.11 | 0,01,56 | 200.00 | 1 |
| PI-42 | 827.59 | 1.43 | 0,24,39 | 200.00 | 0 |
| PI-43 | 949.17 | 1.00 | 0,17,08 | 200.00 | 1 |
| PI-44 | 437.65 | 0.12 | 0,02,07 | 200.00 | 0 |
| PI-45 | 826.65 | 0.08 | 0,01,20 | 200.00 | 1 |
| PI-46 | 663.21 | 0.51 | 0,08,42 | 200.00 | 1 |
| PI-47 | 388.44 | 1.67 | 0,28,40 | 200.00 | 1 |

FUENTE: Elaboración propia.

Obtenida de la alineación generada en Civil3D.

Las tablas de curvas verticales son las siguientes:

Tabla N° 16: Elementos en curvas verticales de la vía izquierda doble sentido

| Tabla de elementos en curvas verticales | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------|--------------------|
| N° | Abscisa PCV (m) | Cota PCV (m) | Longitud (m) | Pendiente Salida % |
| | 205.00 | 1910.63 | 150.00 | -1.28 |
| 1 | 563.09 | 1907.74 | 35.97 | -4.56 |
| 2 | 675.62 | 1903.20 | 81.82 | -0.22 |
| 3 | 780.40 | 1901.20 | 72.11 | 2.10 |
| 4 | 883.91 | 1902.54 | 54.65 | -2.41 |
| 5 | 963.10 | 1901.86 | 66.14 | -0.15 |
| 6 | 1039.23 | 1901.00 | 111.86 | 2.14 |
| 7 | 1181.94 | 1902.77 | 176.76 | -4.95 |
| 8 | 1438.65 | 1896.32 | 79.27 | -0.78 |
| 9 | 1531.21 | 1893.94 | 150.00 | -2.73 |
| 10 | 1743.44 | 1889.61 | 153.12 | 2.52 |
| 11 | 1931.36 | 1890.32 | 110.18 | -1.84 |
| 12 | 2076.38 | 1890.06 | 88.45 | 2.47 |

| | | | | |
|----|---------|---------|--------|-------|
| 13 | 2465.98 | 1897.77 | 150.00 | 4.77 |
| 14 | 2636.11 | 1904.16 | 203.05 | -3.60 |
| 15 | 3131.42 | 1894.83 | 134.84 | -7.02 |
| 16 | 3438.25 | 1875.58 | 60.25 | 3.31 |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 17: Elementos en curvas verticales de la vía central sentido norte

| Tabla de elementos en curvas verticales | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------|--------------------|
| N° | Abscisa PCV (m) | Cota PCV (m) | Longitud (m) | Pendiente Salida % |
| 17 | 320.03 | 1911.85 | 241.49 | -4.71 |
| 18 | 642.29 | 1903.78 | 150.00 | 0.15 |
| 19 | 815.28 | 1900.39 | 135.12 | 0.57 |
| 20 | 1208.68 | 1902.35 | 162.35 | -4.64 |
| 21 | 1373.74 | 1898.93 | 205.20 | -1.60 |
| 22 | 1663.74 | 1891.18 | 246.13 | 0.30 |
| 23 | 1990.32 | 1889.82 | 304.31 | 2.89 |
| 24 | 2609.26 | 1903.79 | 502.34 | -6.41 |
| 25 | 3408.92 | 1875.89 | 102.16 | 3.48 |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 18: Elementos en curvas verticales de la vía derecha sentido sur

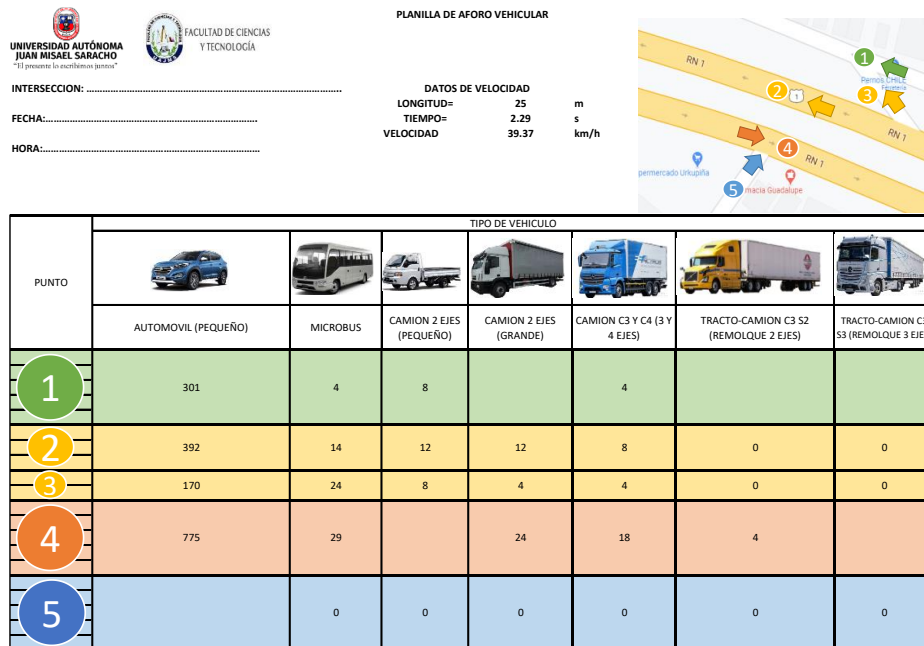
| Tabla de elementos en curvas verticales | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------|--------------------|
| N° | Abscisa PCV (m) | Cota PCV (m) | Longitud (m) | Pendiente Salida % |
| 26 | 74.30 | 1907.68 | 110.86 | 2.37 |
| 27 | 277.82 | 1911.50 | 269.29 | -5.79 |
| 28 | 614.60 | 1902.98 | 150.00 | 0.36 |
| 29 | 835.40 | 1899.17 | 62.54 | -0.66 |
| 30 | 1028.91 | 1898.21 | 72.61 | 1.52 |
| 31 | 1226.26 | 1900.42 | 106.44 | -5.06 |
| 32 | 1406.21 | 1894.82 | 85.46 | -0.79 |
| 33 | 1667.26 | 1890.94 | 56.00 | -3.71 |
| 34 | 1745.79 | 1888.84 | 23.86 | 0.59 |
| 35 | 1917.75 | 1889.34 | 102.25 | -0.25 |
| 36 | 2100.52 | 1889.30 | 61.23 | 3.02 |
| 37 | 2612.37 | 1903.76 | 150.00 | -1.71 |
| 38 | 2931.95 | 1901.84 | 150.00 | -7.14 |
| 39 | 3288.74 | 1880.44 | 64.33 | -4.13 |
| 40 | 3416.90 | 1874.18 | 71.80 | 4.51 |

FUENTE: Elaboración propia.

4.4.2 Recopilación y ordenamiento de datos del tránsito

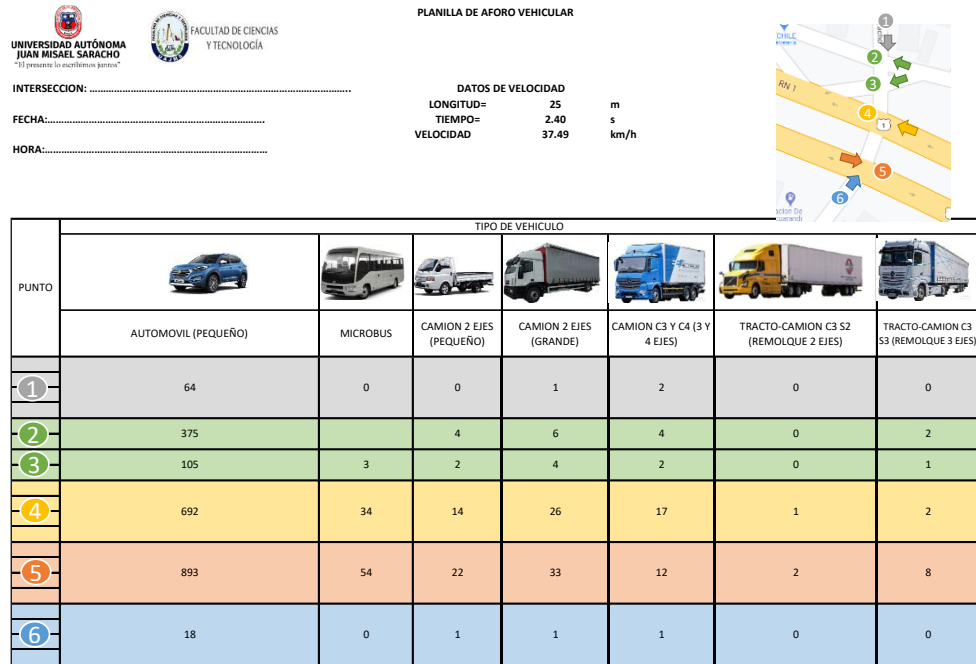
Una vez concluido el trabajo de conteo vehicular, se procedió al trabajo netamente de gabinete donde se contabilizaron los registros en cada una de las planillas; seguidamente se digitalizó la información en formato Excel, herramienta a través de la cual se pudo realizar el trabajo estadístico para la depuración de datos. A continuación se presentan las planillas finales, que representan el tránsito promedio horario de cada intersección estudiada en el tramo:

Figura N° 40: Aforo resultante av. Panamericana-calle Hna. Ana Alicia Oliva



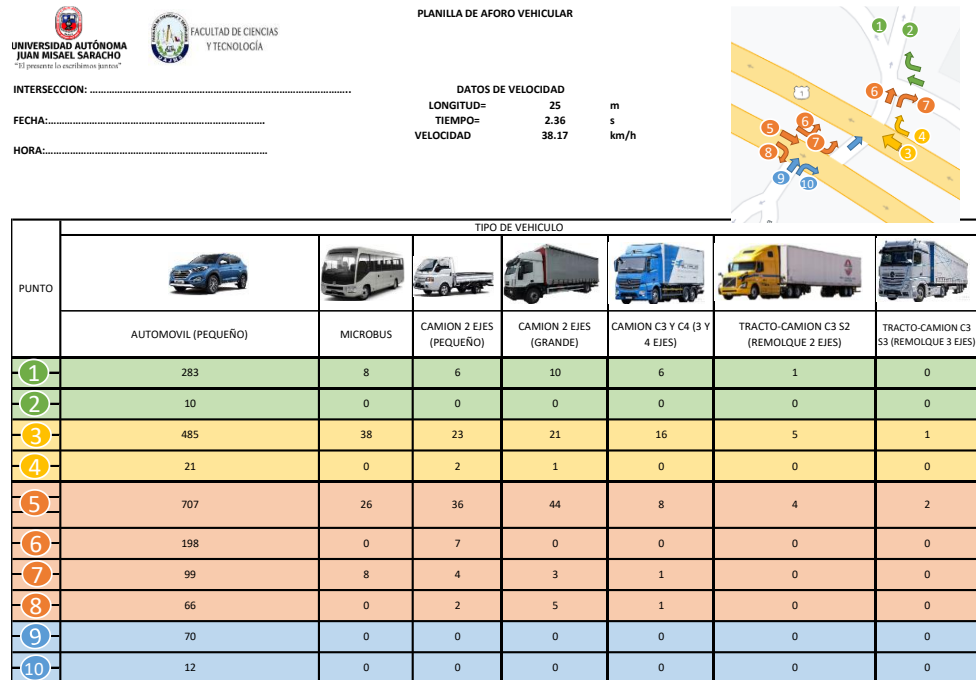
FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 41: Aforo resultante av. Panamericana-av. Fray Quebracho



FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 42: Aforo resultante av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa



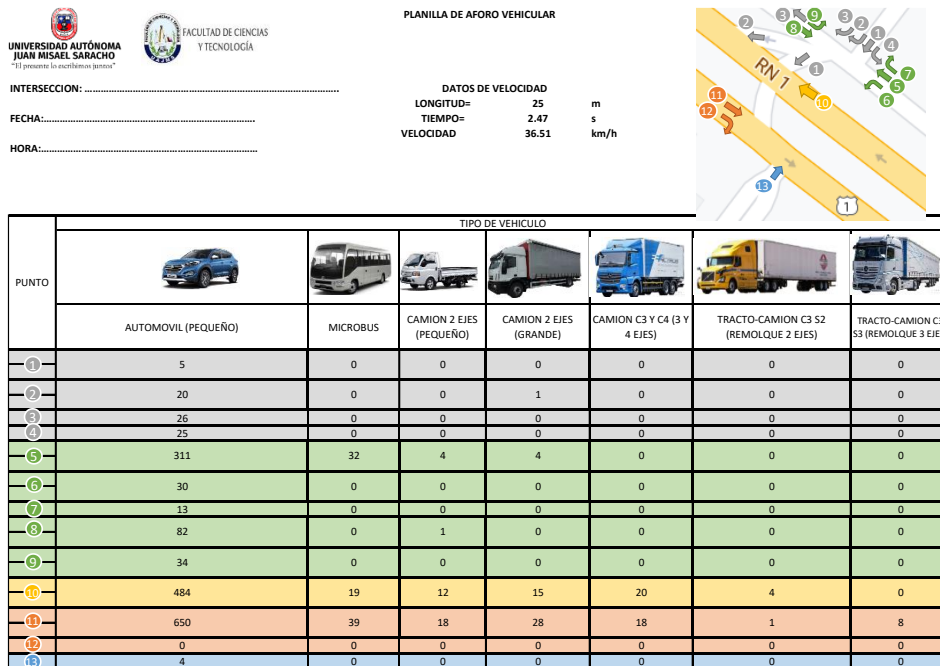
FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 43: Aforo resultante av. Panamericana-av. Renán Justiniano Soto



FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 44: Aforo resultante av. Panamericana-av. Prof. Simón Rodríguez C.



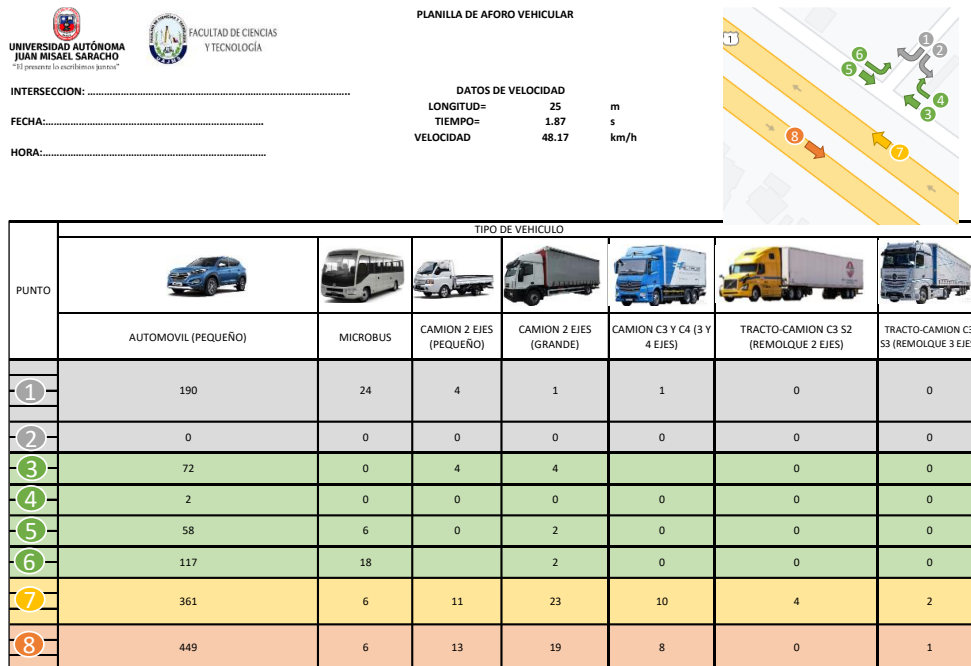
FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 45: Aforo resultante av. Panamericana-av. Juan de Dios Mealla O.



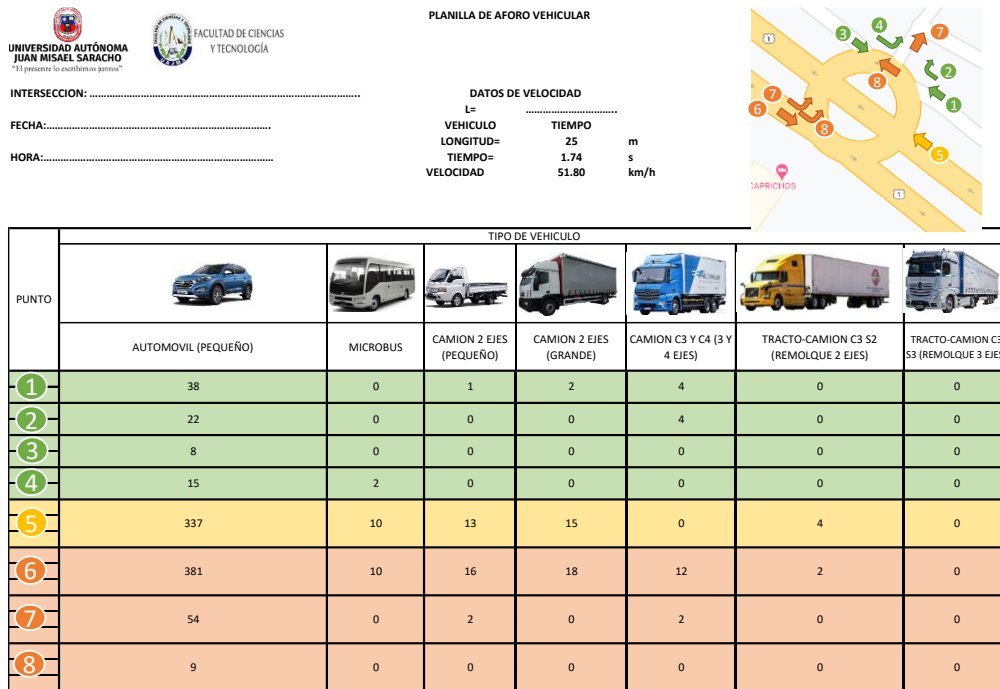
FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 46: Aforo resultante av. Panamericana coord.: 7614918.15m S, 325945.50m E



FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 47: Aforo resultante av. Panamericana coord.: 7614512.76m S, 326474.63m E



FUENTE: Elaboración propia.

También se obtuvieron los datos del ciclo semafórico en campo, datos requeridos por el software para evaluar las colas y el comportamiento del flujo vehicular en el tramo; para ello se realizó el aforo de tiempos de verde, amarillo y rojo, de cada uno de los semáforos ubicados en la intersección de la av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa, donde se ubica la rotonda de acceso a la zona morros blancos, siendo la única intersección semaforizada del tramo, estos datos se presentan a continuación:

Tabla N° 19: Ciclo del semáforo de la vía izquierda de doble sentido

| Tiempo en el ciclo del semáforo | | |
|---------------------------------|----|---|
| Tiempo de rojo | 26 | s |
| Tiempo de amarillo | 2 | s |
| Tiempo de verde | 15 | s |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 20: Ciclo del semáforo de la vía central sentido norte

| Tiempo en el ciclo del semáforo | | |
|---------------------------------|----|---|
| Tiempo de rojo | 26 | s |
| Tiempo de amarillo | 2 | s |
| Tiempo de verde | 15 | s |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 21: Ciclo del semáforo de la vía derecha sentido sur

| Tiempo en el ciclo del semáforo | | |
|---------------------------------|----|---|
| Tiempo de rojo | 26 | s |
| Tiempo de amarillo | 2 | s |
| Tiempo de verde | 15 | s |

FUENTE: Elaboración propia.

4.5 Diagnóstico de datos

Datos de entrada:

Parámetros iniciales, en esta sección se encuentran el azimut del tramo en unidades de grados, minutos y segundos separados por una “,” y la pendiente inicial del tramo.

Coordenadas, requiere el ingreso de las coordenadas N, E y Z en metros del punto inicial del tramo.

Incremento del abscisado, es la distancia a la cual se van a generar los puntos de la vía en el software, es decir la progresiva del alineamiento en metros.

Abscisa inicial y final, son las progresivas con las cuales va a iniciar y va a finalizar el tramo en el software, otorgándole una longitud a la creación del tramo.

Velocidad de diseño, por la norma a la cual fue o va a ser construida la vía en km/h.

Longitud de transición, es la longitud en la cual el corte transversal de la vía con la calzada abombada cambia su forma al peralte de una curva, esta longitud es requerida en metros.

Sección transversal, esta sección requiere del ingreso de varios parámetros como son el ancho de carril en metros, el número de carriles, el ancho de bermas en metros, el estado del ramo, la rugosidad IRI, el número de accesos, ancho de separador en metros, la velocidad de campo en km/h y la selección del tipo de terreno.

Curvas horizontales, requiere de datos del tramo como abscisa PC en metros, longitud en metros, delta en grados, minutos y segundos, el radio en metros y el sentido o la dirección de curva.

Curvas verticales, cuyos datos requeridos por el software son abscisa PCV en metros, cota PCV en metros, la longitud en metros y la pendiente de salida en porcentaje.

Tipos de vehículos, sección en la cual se pueden discretizar los vehículos y sus características dependiendo a la finalidad y a la necesidad del proyecto.

Tránsito, requiere los parámetros principales del aforo vehicular y datos trabajados, como ser el tránsito promedio diario TPD o el tránsito promedio horario TPH dependiendo el estudio realizado, porcentaje de distribución direccional en caso de ser una vía en dos sentidos, el factor de hora pico FHP y el porcentaje de cada tipo de vehículo que transita por el punto o intersección aforada.

Sitios especiales de control “semáforos”, esta opción requiere el ingreso de datos de la progresiva donde se ubica el control de semaforización, la velocidad a la que se interseca con el sitio, tiempos de retención y demora por cambios de luz del semáforo, y la longitud de afectación al flujo vehicular producto del cambio de velocidad.

Datos de salida, resultados:

El software SIMCAR, luego de haber procesado los datos ingresados por el proyectista, genera la simulación vehicular y a través de la estadística proporciona principales resultados con diferentes factores, los cuales son:

Información por tipo de vehículo.

Resumen por tipo de vehículo.

Sobrepasos por tipo de vehículo.

Colas.

Capacidad y nivel de servicio.

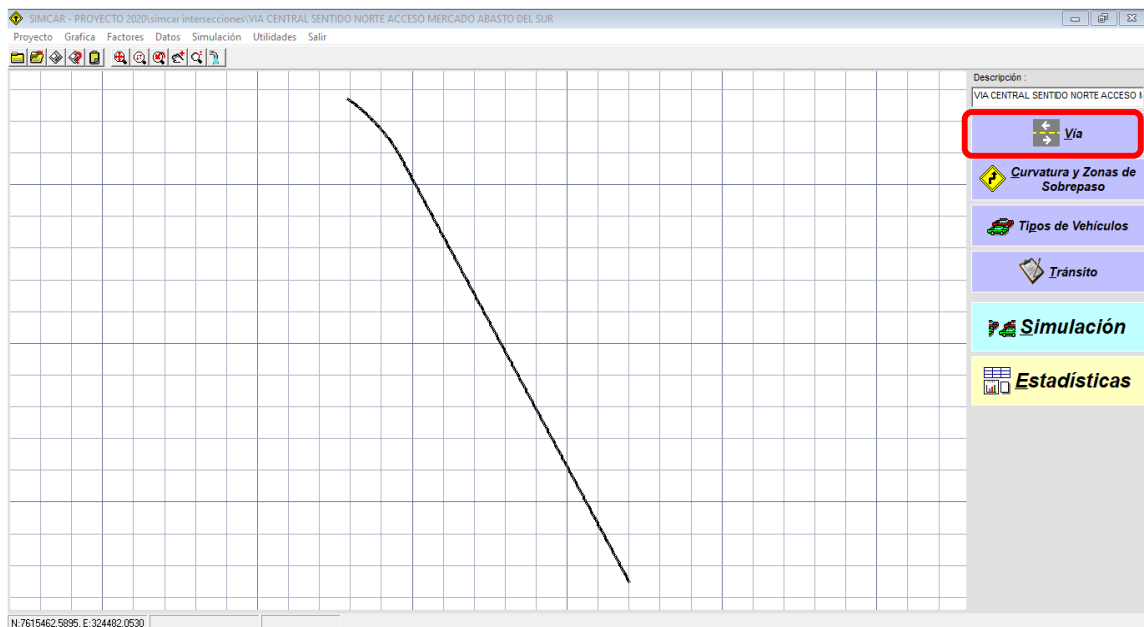
Costos de operación vehicular en el tramo.

Estos datos no pueden ser editados, debido a que corresponden a resultados producto de los parámetros de entrada, para verificar su coherencia, si los resultados obtenidos no están dentro del marco lógico, se han verificado y analizado los datos introducidos.

4.6 Procesamiento con el software SIMCAR

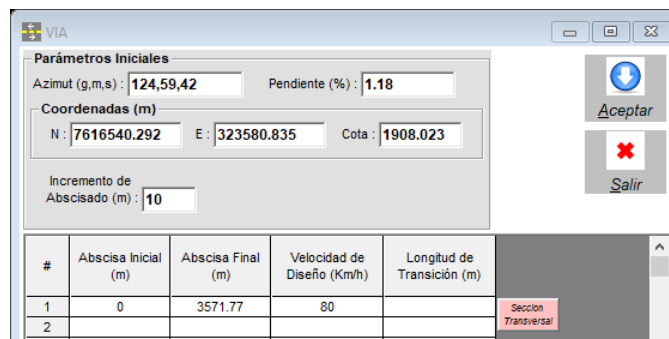
Introducción de datos de la vía:

Figura N° 48: Introducción de datos de la vía



FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 49: Introducción de datos de la vía, parámetros iniciales



FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 50: Introducción de datos de la vía, sección transversal

VIA SECCION TRANSVERSAL [Seccion: 1]

| LADO IZQUIERDO | LADO DERECHO |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Ancho Carriles (m): 5 | Ancho Carriles (m): 5 |
| Número de Carriles: 1 | Número de Carriles: 1 |
| Ancho Berma Izquierda (m): 0 | Ancho Berma Izquierda (m): 0 |
| Ancho Berma Derecha (m): 1 | Ancho Berma Derecha (m): 1 |
| Estado (1-Muy Malo, 5-Muy Bueno): 4 | Estado (1-Muy Malo, 5-Muy Bueno): 4 |
| Rugosidad (IRI): 3.5 | Rugosidad (IRI): 3.5 |
| Número de Accesos: 0 | Número de Accesos: 0 |

Ancho Separador Central (m): 0

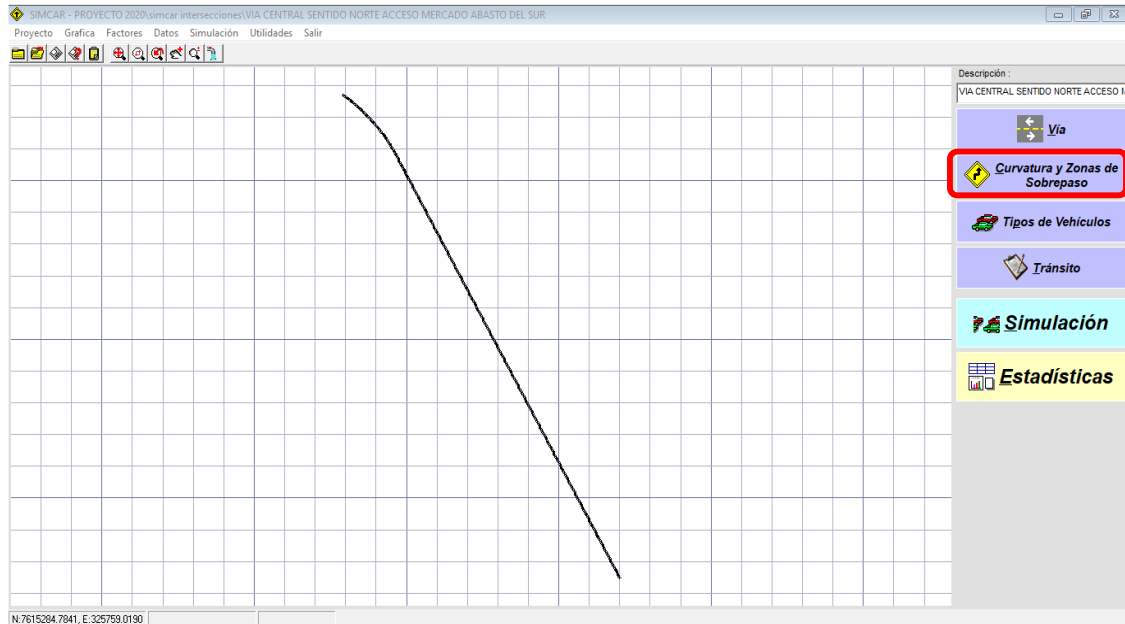
Velocidad de Campo (Km/h): 39.37

Tipo de Terreno: 0. Por Geometría

Buttons: Aceptar, Salir

FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 51: Curvatura y zonas de sobrepaso



FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 52: Introducción de datos de la vía, curvas horizontales y curvas verticales

| # | Abscisa PC (m) | Longitud (m) | Delta (g.m.s) | Radio (m) | Sentido (0-Der, 1-Izq) |
|----|----------------|--------------|---------------|-----------|------------------------|
| 1 | 33.64 | 0.16 | 0.0464 | 200 | 1 |
| 2 | 60.24 | 14.56 | 4.1722 | 200 | 0 |
| 3 | 124.35 | 10.38 | 2.9747 | 200 | 0 |
| 4 | 195.29 | 12.45 | 3.5664 | 200 | 0 |
| 5 | 257.67 | 13.87 | 3.9753 | 200 | 0 |
| 6 | 372.23 | 21.01 | 6.0225 | 200 | 0 |
| 7 | 403.51 | 0.43 | 0.1228 | 200 | 0 |
| 8 | 439.71 | 7.51 | 2.1519 | 200 | 0 |
| 9 | 442.6 | 0.4 | 0.1158 | 200 | 0 |
| 10 | 486.29 | 10.31 | 2.9553 | 200 | 0 |
| 11 | 555.29 | 1.7 | 0.4861 | 200 | 0 |
| 12 | 626.59 | 1.48 | 0.4231 | 200 | 1 |
| 13 | 827.76 | 0.59 | 0.1694 | 200 | 0 |
| 14 | 922.84 | 0.37 | 0.1061 | 200 | 1 |

| # | Abscisa PCV (m) | Cota PCV (m) | Longitud (m) | Pendiente Salida (%) |
|---|-----------------|--------------|--------------|----------------------|
| 1 | 320.03 | 1911.85 | 241.49 | -4.71 |
| 2 | 642.29 | 1903.78 | 150 | 0.15 |
| 3 | 815.28 | 1900.39 | 135.12 | 0.57 |
| 4 | 1208.68 | 1902.35 | 162.35 | -4.64 |
| 5 | 1373.74 | 1898.93 | 205.2 | -1.6 |
| 6 | 1663.74 | 1891.18 | 246.13 | 0.3 |
| 7 | 1990.32 | 1889.82 | 304.31 | 2.89 |
| 8 | 2609.26 | 1903.79 | 502.34 | -6.41 |
| 9 | 3408.92 | 1875.89 | 102.16 | 3.48 |

FUENTE: Elaboración propia.

Tipos de Vehículos:

Figura N° 53: Tipos de vehículos

FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 54: Tipos de vehículos, parámetros y características de los vehículos.

TIPOS DE VEHICULOS

Opciones Edición Salir

| # | Código | Descripción | Grupo | Largo (m) | Ancho (m) | Alto (m) | Características Técnicas |
|----|--------|----------------------|-------|-----------|-----------|----------|--------------------------|
| 1 | A | AUTO | A | 4 | 1.5 | 1.8 | |
| 2 | B | BUS | B | 9.2 | 2.5 | 3.2 | |
| 3 | C2P | CAMIÓN 2 EJES | C | 4.4 | 2.5 | 3.5 | |
| 4 | C2G | CAMIÓN 2 EJES GRANDE | C | 9.2 | 2.6 | 4.1 | |
| 5 | C3-C4 | CAMIÓN C3 Y C4 | C | 11.5 | 2.6 | 4.1 | |
| 6 | C5 | TRACTO-CAMIÓN C3-S2 | C | 18 | 2.6 | 4.1 | |
| 7 | C6 | TRACTO-CAMIÓN C3-S3 | C | 18 | 2.6 | 4.1 | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | |

Activar Ve a Co

Aceptar Salir

FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 55: Tipos de vehículos, características técnicas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS VEHICULO [A AUTO]

VELOCIDAD (Km/h)

Mínima : 50

Maxima : 120

Comportamiento

| # | % Distribución |
|--------|----------------|
| Min 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 8 |
| 4 | 13 |
| 5 | 25 |
| 6 | 25 |
| 7 | 13 |
| 8 | 8 |
| 9 | 3 |
| Max 10 | 1 |

PERFIL CONDUCTOR

| Perfil | % Distribución |
|---------------------|----------------|
| Muy Poco Arriesgado | 0 |
| Poco Arriesgado 1 | 0 |
| Poco Arriesgado 2 | 5 |
| Normal Inferior | 10 |
| Normal | 70 |
| Normal Superior | 10 |
| Arriesgado | 5 |
| Arriesgado 1 | 0 |
| Arriesgado 2 | 0 |
| Muy Arriesgado | 0 |

POTENCIA (hp)

Mínima : 80

Maxima : 300

Comportamiento

| # | % Distribución |
|--------|----------------|
| Min 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 8 |
| 4 | 13 |
| 5 | 25 |
| 6 | 25 |
| 7 | 13 |
| 8 | 8 |
| 9 | 3 |
| Max 10 | 1 |

% Eficiencia : 80

COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

| Estado | Coefficiente de Rozamiento |
|-----------|----------------------------|
| Muy Malo | 0.026 |
| Mal | 0.026 |
| Regular | 0.025 |
| Bueno | 0.024 |
| Muy Bueno | 0.023 |

Tipo Vehiculo VOC : 3. Medium car

PESO (Kg)

Mínimo : 500

Maximo : 3000

Comportamiento

| # | % Distribución |
|--------|----------------|
| Min 1 | 1 |
| 2 | 3 |
| 3 | 8 |
| 4 | 13 |
| 5 | 25 |
| 6 | 25 |
| 7 | 13 |
| 8 | 8 |
| 9 | 3 |
| Max 10 | 1 |

BRECHA (s)

Mínima : 1.2

Maxima : 1.5

Carril Preferencial: Todos Carril Exclusivo

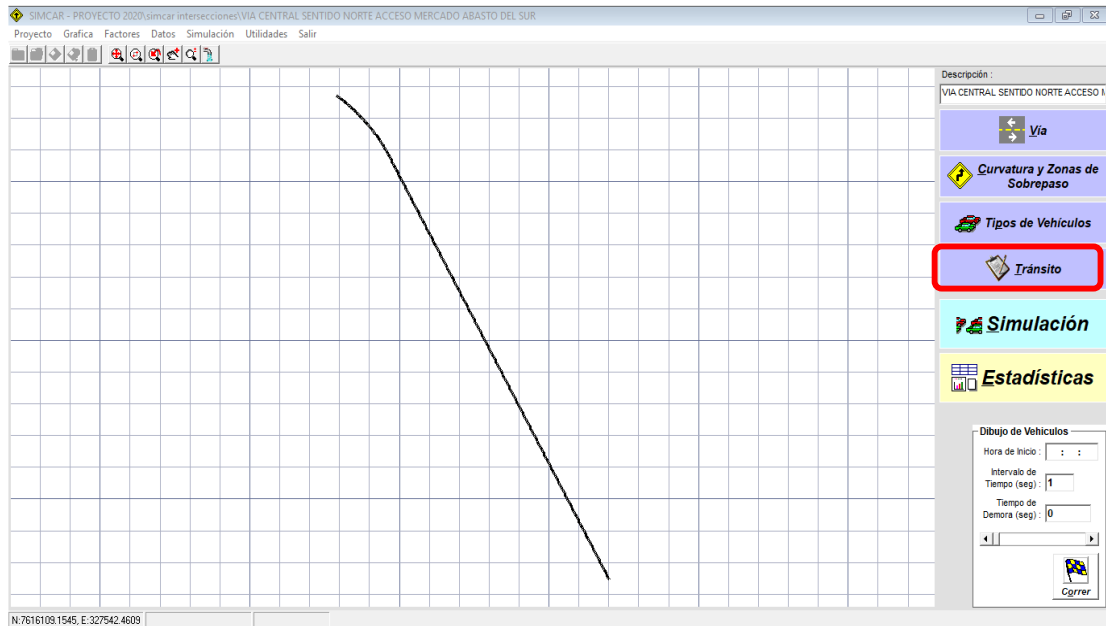
No para en Sitio Especial (Peaje)

Aceptar Salir

FUENTE: Elaboración propia.

Tránsito:

Figura N° 56: Tránsito



FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 57: Tránsito, características del tránsito.

TPD y %DISTRIBUCION VEHICULAR

Opciones

Tránsito Promedio Diario : **534** % Distribución Direccional : **100** FHP : **4**

| Hora | %TPD | A AUTO | B BUS | C2P CAMION 2 EJES PEQUEÑO | C2G CAMION 2 EJES GRANDE | C3-C4 CAMION C3 Y C4 | C5 CTO-CAM C3-S2 | C6 CTO-CAM C3-S3 | Total |
|-------|------|-----------|----------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|--------|
| 0-1 | 100 | 87.72 | 3.3 | 1.5 | 3.33 | 3.41 | 0 | 0.75 | 100.01 |
| 1-2 | | | | | | | | | 0 |
| 2-3 | | | | | | | | | 0 |
| 3-4 | | | | | | | | | 0 |
| 4-5 | | | | | | | | | 0 |
| 5-6 | | | | | | | | | 0 |
| 6-7 | | | | | | | | | 0 |
| 7-8 | | | | | | | | | 0 |
| 8-9 | | | | | | | | | 0 |
| 9-10 | | | | | | | | | 0 |
| 10-11 | | | | | | | | | 0 |
| 11-12 | | | | | | | | | 0 |
| 12-13 | | | | | | | | | 0 |
| 13-14 | | | | | | | | | 0 |
| 14-15 | | | | | | | | | 0 |
| 15-16 | | | | | | | | | 0 |
| 16-17 | | | | | | | | | 0 |
| 17-18 | | | | | | | | | 0 |
| 18-19 | | | | | | | | | 0 |
| 19-20 | | | | | | | | | 0 |
| 20-21 | | | | | | | | | 0 |
| 21-22 | | | | | | | | | 0 |
| 22-23 | | | | | | | | | 0 |
| 23-24 | | | | | | | | | 0 |



Total %TPD : **100**

FUENTE: Elaboración propia.

Sitios especiales de control, semáforos:

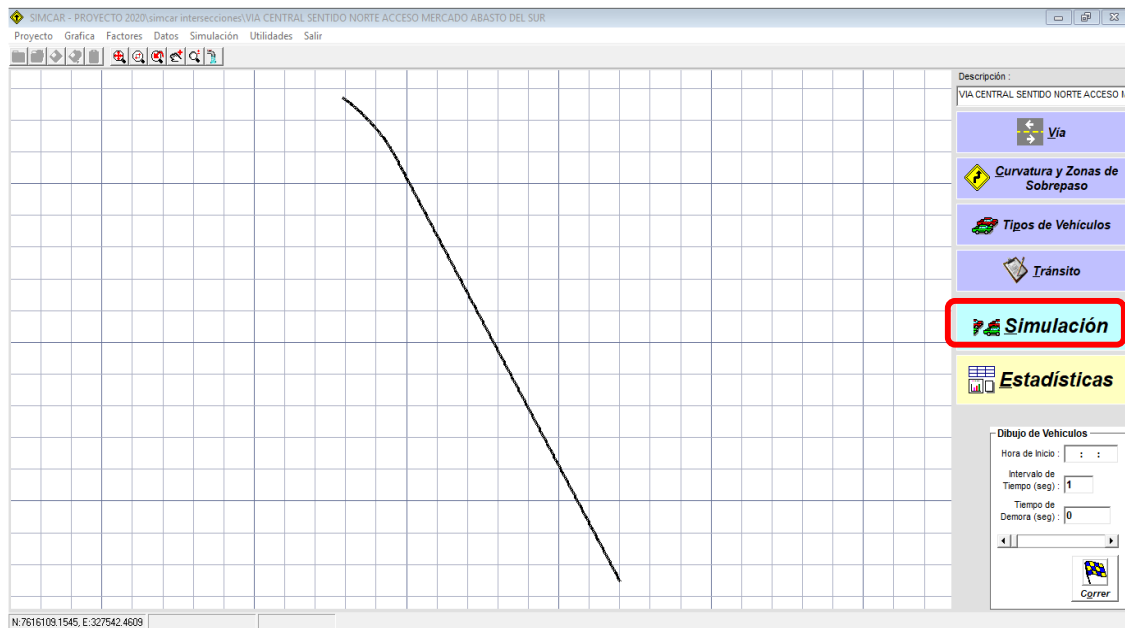
ABSCISAS SITIOS ESPECIALES DE CONTROL

| # | Abscisa (m) | Sentido (1-2 0:Ambos) | Carril (0:Todos) | Velocidad de Entrada (km/h) | Velocidad de Paso (km/h) | Tiempo Mínimo de Retención (s) | Tiempo Máximo de Retención (s) | Longitud del Sitio Especial (m) | Longitud de afectación (m) |
|----|-------------|--------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 360 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 26 | 0 | 10 |
| 2 | 360 | 0 | 0 | 20 | 20 | 0 | 2 | 0 | 10 |
| 3 | 360 | 0 | 0 | 39.37 | 20 | 0 | 15 | 0 | 10 |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | |

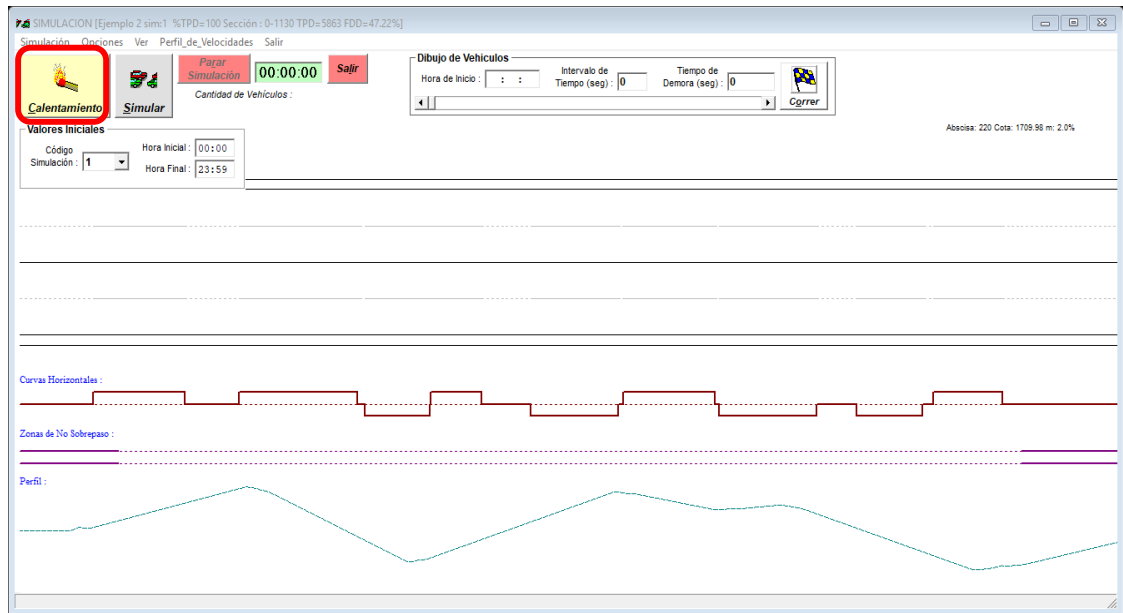
Calentamiento y simulación:

Figura N° 58: Calentamiento y simulación



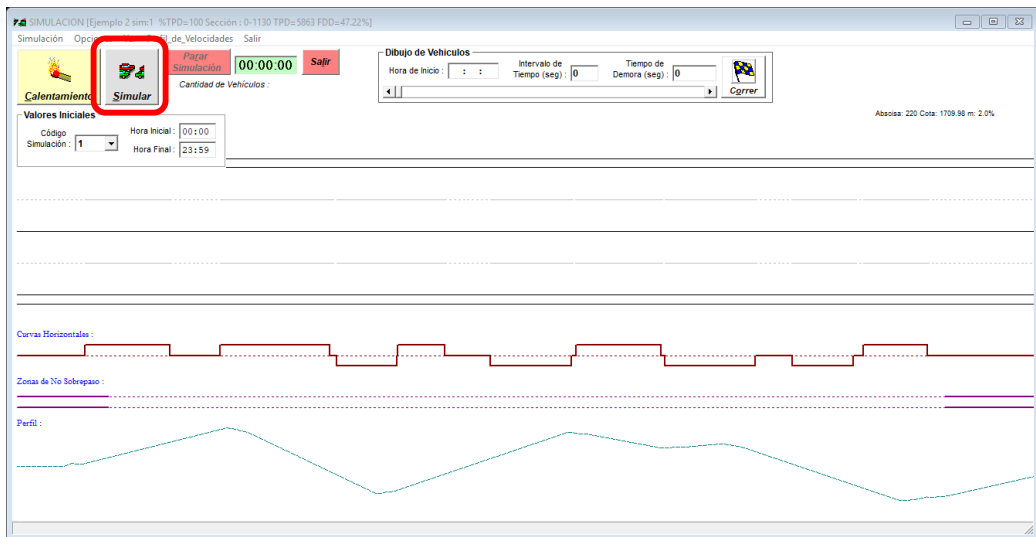
FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 59: Calentamiento



FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 60: Simulación

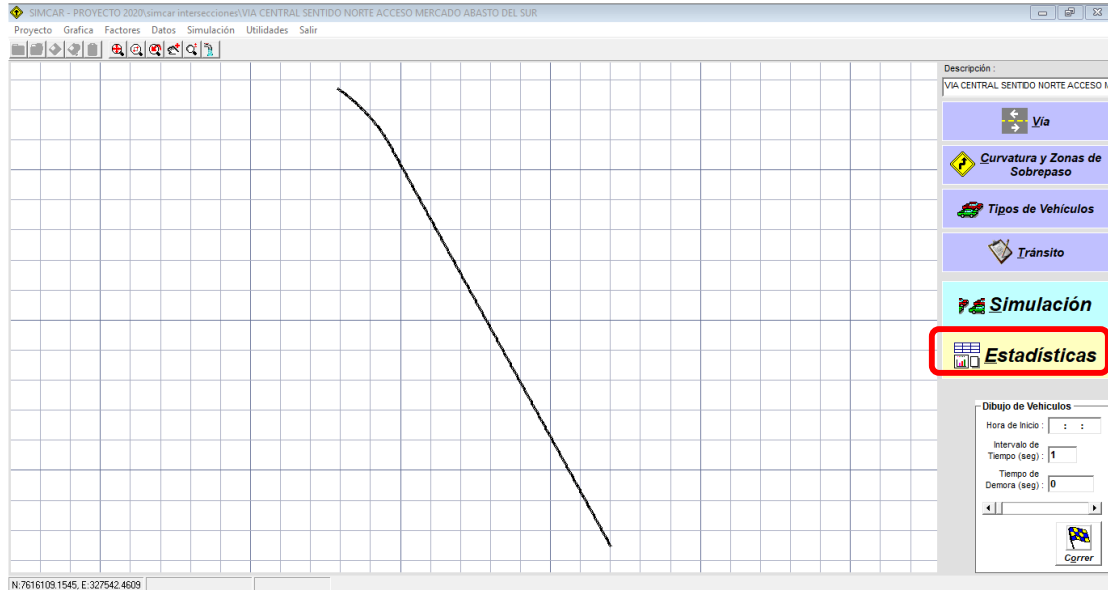


FUENTE: Elaboración propia.

4.7 Análisis y valoración de resultados

Una vez realizada la simulación, teniendo la posibilidad de observar el comportamiento del tráfico vehicular en los diferentes tramos, el software nos permite ingresar en la opción de Estadísticas, y obtener algunos resultados.

Figura N° 61: Estadísticas y resultados



FUENTE: Elaboración propia.

Los resultados se presentan de la siguiente manera:

Figura N° 62: Modelo de presentación de resultados del software

```
r00: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
ESTADISTICAS SIMCAR
CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO CON EL MANUAL COLOMBIANO 2016

Tramo : [VIA CENTRAL SENTIDO NORTE ACCESO MERCADO ABASTO DEL SUR] 0

Codigo Simulacion : [1]

TRAMO : 1 CALZADA TOTAL

Longitud (Km) : 3.572
Ancho de Carril (m) : 5.0 Ancho de Berma (m) : 0.5
Tipo de Terreno : 1 PLANO
Pendiente Promedio (%) : 1.18 IRI (m/km) = 3.5
Número de Accesos por Km : 0.00

                Volumen (Veh/h) : 840.0
Distribucion Direccional (%) : 100.0
                Factor de Hora Pico : 0.91
                Zonas de No Rebase (%) : 0.0

                %Autos : 85.71
                %Buses : 0.00
                %Vehiculos Pesados : 14.29

FACTORES

Fpe : 0.978 Fd : 0.640 Fcb : 0.980 Ec : 1.946 Fp : 0.881
Vi : 84.10 fu : 0.877 fcb : 0.910
Ec2 : 1.584 Fp2 : 0.923 Ft : 0.995
V1 : 67.130 V2 : 61.665 V2/Vi : 68.52

C60 : 1730 FHP : 0.913 C5 : 1579

Qc60 : 0.486 Qc5 : 0.532

                CAPACIDAD : 1730
                NIVEL DE SERVICIO : D
```

FUENTE: Elaboración propia.

Debido a la cantidad de resultados se presenta en las siguientes tablas un resumen de los datos más relevantes e importante que nos sirven de base a la hora de la toma de decisiones en un estudio de tráfico.

Tabla N° 22: Resumen de resultados fundamentales de la vía izquierda doble sentido

| N° | Intersección | Vol. veh. (veh/h) | Dist. direccional (%) | FHP | Zonas de no rebase (%) | Capacidad vehicular | Nivel de servicio |
|----|---|----------------------|-----------------------------|------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Intersección av. Panamericana-calle Hna. Ana Alicia Oliva (Esq. supermercado Urkupiña) | 540 | 100 | 0.93 | 0 | 1968 | B |
| 2 | Intersección av. Panamericana-av. Fray Quebracho (Esq. surtidor Tacuarandi, salida rotonda Morros Blancos) | 720 | 100 | 0.90 | 0 | 1546 | C |
| 3 | Intersección av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa (Esq. surtidor YPFB, acceso rotonda Morros Blancos) | 720 | 100 | 0.93 | 0 | 1968 | B |
| 4 | Intersección av. Panamericana-av. Renán Justiniano Soto (Rotonda acceso a la fábrica Coca Cola) | 540 | 41 | 0.91 | 0 | 1730 | B |
| 5 | Intersección av. Panamericana-av. Profesor Simón Rodríguez Carreño (Cruce de acceso al mercado Abasto del Sur) | 360 | 39 | 0.93 | 0 | 1968 | B |
| 6 | Intersección av. Panamericana-av. Juan de Dios Mealla Otálora (Cruce de acceso a la zona San Jorge II) | 320 | 40 | 0.93 | 0 | 1968 | B |
| 7 | Intersección av. Panamericana-av. sin nombre (Coordenadas: 7614918.15 m S, 325945.50 m E, salida Nueva Terminal de Buses) | 240 | 35 | 0.93 | 0 | 1968 | B |
| 8 | Intersección av. Panamericana-av. sin nombre (Coordenadas: 7614512.76 m S, 326474.63 m E, rotonda de acceso a la Nueva Terminal de Buses) | 360 | 31 | 0.93 | 0 | 1968 | B |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 23: Resumen de resultados fundamentales de la vía central sentido norte

| N° | Intersección | Vol. veh. (veh/h) | Dist. direccional (%) | FHP | Zonas de no rebase (%) | Capacidad vehicular | Nivel de servicio |
|----|---|-------------------|-----------------------|------|------------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | Intersección av. Panamericana-calle Hna. Ana Alicia Oliva (Esq. supermercado Urkupiña) | 720 | 100 | 0.90 | 0 | 1530 | C |
| 2 | Intersección av. Panamericana-av. Fray Quebracho (Esq. surtidor Tacuarandí, salida rotonda Morros Blancos) | 1080 | 100 | 0.93 | 0 | 1963 | C |
| 3 | Intersección av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa (Esq. surtidor YPFB, acceso rotonda Morros Blancos) | 720 | 100 | 0.93 | 0 | 1963 | C |
| 4 | Intersección av. Panamericana-av. Renán Justiniano Soto (Rotonda acceso a la fábrica Coca Cola) | 360 | 100 | 0.93 | 0 | 1963 | B |
| 5 | Intersección av. Panamericana-av. Profesor Simón Rodríguez Carreño (Cruce de acceso al mercado Abasto del Sur) | 840 | 100 | 0.91 | 0 | 1730 | C |
| 6 | Intersección av. Panamericana-av. Juan de Dios Mealla Otálora (Cruce de acceso a la zona San Jorge II) | 420 | 100 | 0.93 | 0 | 1963 | B |
| 7 | Intersección av. Panamericana-av. sin nombre (Coordenadas: 7614918.15 m S, 325945.50 m E, salida Nueva Terminal de Buses) | 360 | 100 | 0.93 | 0 | 1963 | B |
| 8 | Intersección av. Panamericana-av. sin nombre (Coordenadas: 7614512.76 m S, 326474.63 m E, rotonda de acceso a la Nueva Terminal de Buses) | 360 | 100 | 0.87 | 0 | 1256 | B |

FUENTE: Elaboración propia,

Tabla N° 24: Resumen de resultados fundamentales de la vía derecha sentido sur

| N° | Intersección | Vol. veh. (veh/h) | Dist. direccional (%) | FHP | Zonas de no rebase (%) | Capacidad vehicular | Nivel de servicio |
|----|---|----------------------|-----------------------------|------|------------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | Intersección av. Panamericana-calle Hna. Ana Alicia Oliva (Esq. supermercado Urkupiña) | 1000 | 100 | 0.91 | 0 | 1731 | D |
| 2 | Intersección av. Panamericana-av. Fray Quebracho (Esq. surtidor Tacuarandi, salida rotonda Morros Blancos) | 720 | 100 | 0.90 | 0 | 1562 | D |
| 3 | Intersección av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa (Esq. surtidor YPFB, acceso rotonda Morros Blancos) | 1200 | 100 | 0.92 | 0 | 1819 | E |
| 4 | Intersección av. Panamericana-av. Renán Justiniano Soto (Rotonda acceso a la fábrica Coca Cola) | 720 | 100 | 0.93 | 0 | 1964 | C |
| 5 | Intersección av. Panamericana-av. Profesor Simón Rodríguez Carreño (Cruce de acceso al mercado Abasto del Sur) | 480 | 100 | 0.91 | 0 | 1699 | C |
| 6 | Intersección av. Panamericana-av. Juan de Dios Mealla Otálora (Cruce de acceso a la zona San Jorge II) | 720 | 100 | 0.93 | 0 | 1964 | C |
| 7 | Intersección av. Panamericana-av. sin nombre (Coordenadas: 7614918.15 m S, 325945.50 m E, salida Nueva Terminal de Buses) | 720 | 100 | 0.93 | 0 | 1964 | C |
| 8 | Intersección av. Panamericana-av. sin nombre (Coordenadas: 7614512.76 m S, 326474.63 m E, rotonda de acceso a la Nueva Terminal de Buses) | 320 | 100 | 0.93 | 0 | 1964 | B |

FUENTE: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos con el proceso de simulación del software responden a una línea lógica muy próxima a la realidad común de la vía en cada una de sus intersecciones y tramos, así como también, la estadística y los resultados numéricos que plasman el proceso automatizado en 2 datos principales, la capacidad vehicular y el nivel de servicio que ofrece la vía al conductor y que a partir de los mismos inicia el proceso de selección de alternativas y toma de decisiones para la solución a los problemas de tráfico si es que así se requiere.

A continuación se hace mención interpretativa de los niveles de servicio que fueron resultado de la simulación a través del software:

Nivel de servicio B, comienzan a aparecer restricciones al flujo libre, la libertad para conducir con la velocidad deseada y facilidad de maniobras se ven reducidas con ligeras interferencias con otros vehículos.

Nivel de servicio C, se presentan condiciones medias cuando el flujo vehicular es estable, la libertad para conducir con la velocidad deseada se ve afectada con interferencias tolerables, sin embargo el nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es adecuado, es el nivel de servicio que se recomienda para diseño.

Nivel de servicio D, el flujo todavía es estable pero se presentan restricciones de geometría y pendiente, no existe libertad para conducir con la velocidad deseada al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos, el nivel general de libertad y comodidad empieza a ser deficiente.

4.8 Planteamiento de alternativas y solución factible

Dentro de las soluciones que se pueden evaluar a través de la simulación, únicamente podemos contar con soluciones denominadas “solución parcial de alto costo”, la cual por la teoría involucra cambios en las características físicas y geométricas de la vía bajo el siguiente concepto: Esta solución consiste en realizar cambios necesarios en las vialidades aprovechando al máximo lo que se tiene, cuyos cambios requerirán fuertes inversiones económicas, por ejemplo: ensanchamiento de calles, modificaciones de intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc.

Se puede incluir diferentes cambios en las características físicas y geométricas de la vía, lo cual, a través de la simulación se observan mejoras las condiciones del tránsito a diferentes niveles, para ello se requerirán fuertes montos económicos previos estudios socioeconómicos que darán como resultado la factibilidad o no de las mejoras en el tramo.

La propuesta de alternativas de solución que pueden demostrarse a través de la simulación son las siguientes:

Creación de una intersección canalizada o intersección a desnivel.

Ensanchamiento de la vía e inclusión de un nuevo carril.

Las alternativas de solución denominadas “solución parcial de bajo costo”, también pueden considerarse como factibles para llegar a una mejora en el flujo vehicular del tramo; entre éstas podemos mencionar:

La reglamentación del tránsito y un mayor control en el tramo así como la disciplina y educación de parte del usuario.

El estudio y regularización de la semaforización existente en la vía.

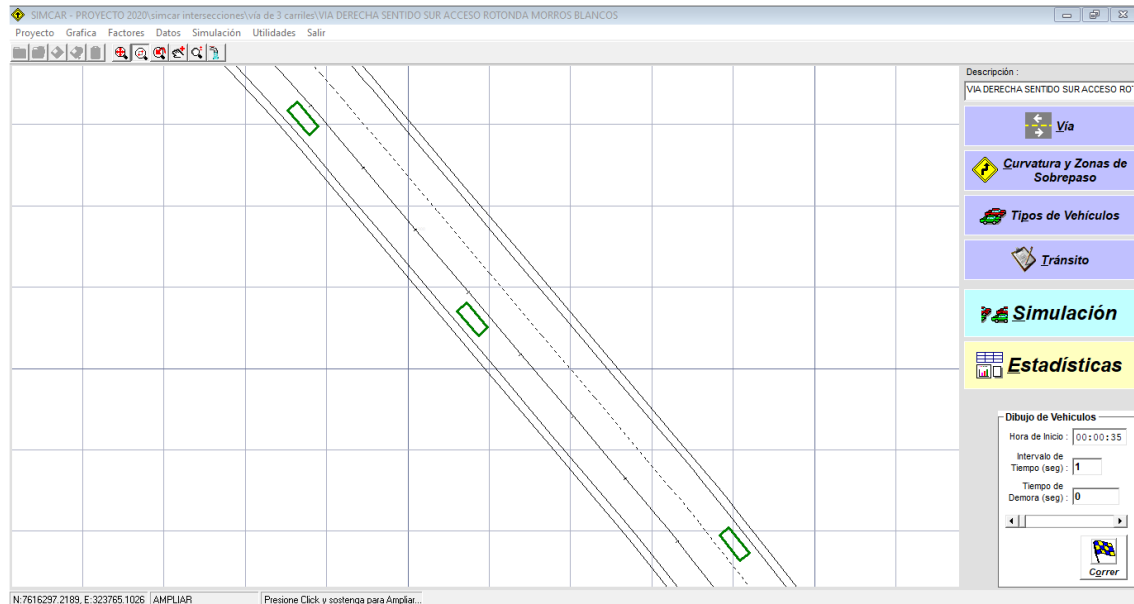
4.9 Selección y simulación de soluciones factibles

Actualmente es necesaria una solución oportuna al problema de tráfico que se presenta en el tramo comprendido por 3 intersecciones en la vía izquierda de sentido sur que son: Intersección av. Panamericana-calle Hna. Ana Alicia Oliva (Esq. supermercado Urkupiña), intersección av. Panamericana-av. Fray Quebracho (Esq. surtidor Tacuarandi, salida rotonda Morros Blancos) y la intersección av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa (Esq. surtidor YPFB, acceso rotonda Morros Blancos) ubicadas al inicio del tramo en estudio; identificado como el más crítico por las condiciones del flujo y volumen vehicular además de la falta de educación vial por parte de los conductores.

Como primera alternativa y con alto nivel de factibilidad por las características de la vía se realizó el análisis de simulación en las primeras 3 intersecciones del tramo derecho con sentido sur, se proyectó la ampliación de la sección transversal de la vía y la habilitación de un nuevo carril en este tramo crítico del presente proyecto; cabe aclarar que las

condiciones del tramo y el ancho de los separadores permiten la ampliación de 3.5m de vía que son requeridos para implementar un nuevo carril.

Figura N° 63: Ilustración de la vía con 3 carriles



FUENTE: Elaboración propia.

Se ha observado el incorrecto uso de uno de los carriles de esta vía, el cual es utilizado como estacionamiento; al ser una avenida principal de alto tráfico vehicular y donde se requiere alcanzar niveles promedio de velocidad, según el código de tránsito no es permitido el uso de la calzada como estacionamiento, lo cual empeora en gran medida las condiciones del tráfico, ocasionando que se transite solo por uno de los carriles lo cual provoca conflicto y congestión haciendo crítico el flujo del tramo.

Con la implementación de un tercer carril, podría considerarse el uso parcial del carril derecho como estacionamiento, en ese caso se debe obviar la utilización de la simulación en el carril mencionado; para la presente propuesta se considerarán los 3 carriles de la vía proyectada como transitables lo cual llevaría las condiciones anteriores a una notable mejora en la capacidad de la vía de permitir el tránsito en este tramo crítico.

Esta ampliación únicamente interviene hasta la rotonda de acceso a la zona de Morros Blancos, a partir de ahí el tramo nuevamente se convierte en una vía de 2 carriles debido a que el tramo restante no presenta conflicto.

Bajo estas condiciones se presenta el resumen de resultados de la simulación, con las debidas consideraciones:

Tabla N° 25: Resumen de resultados simulación intersección supermerc. Urkupiña

| N° | Intersección | Vol. veh. (veh/h) | Dist. direccional (%) | FHP | Zonas de no rebase (%) | Capacidad vehicular | Nivel de servicio |
|----|--|----------------------|-----------------------------|------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Intersección av. Panamericana-calle Hna. Ana Alicia Oliva (Esq. supermercado Urkupiña) | 864 | 100 | 0.93 | 0 | 1900 | C |

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla N° 26: Resumen de resultados simulación salida rotonda Morros Blancos

| N° | Intersección | Vol. veh. (veh/h) | Dist. direccional (%) | FHP | Zonas de no rebase (%) | Capacidad vehicular | Nivel de servicio |
|----|--|----------------------|-----------------------------|------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| 2 | Intersección av. Panamericana-av. Fray Quebracho (Esq. surtidor Tacuarandi, salida rotonda Morros Blancos) | 720 | 100 | 0.93 | 0 | 1964 | C |

FUENTE: Elaboración propia.

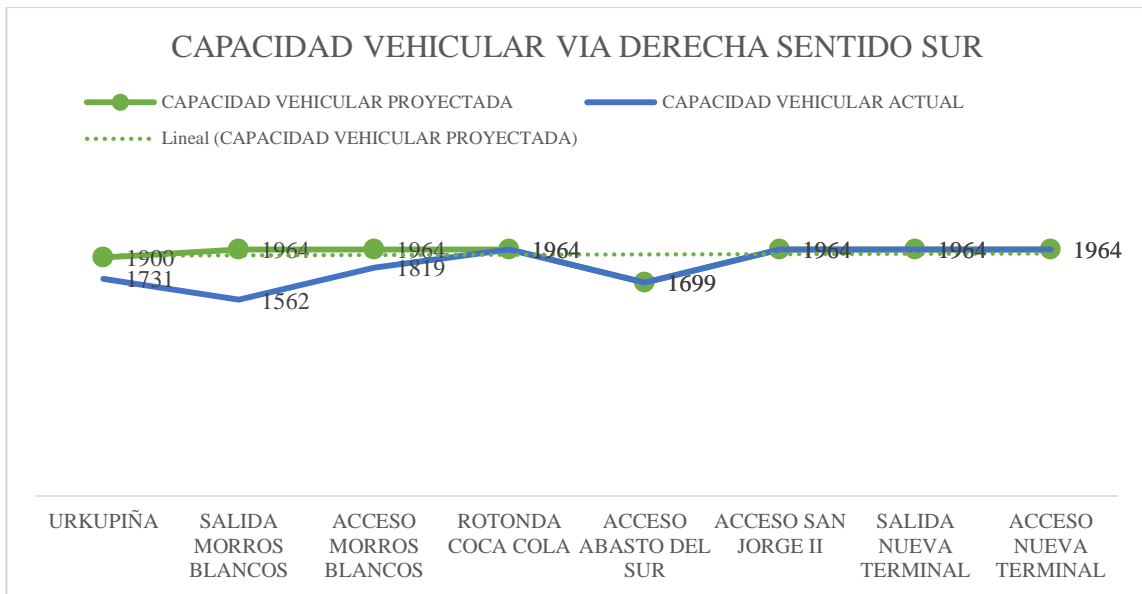
Tabla N° 27: Resumen de resultados simulación acceso rotonda Morros Blancos

| N° | Intersección | Vol. veh. (veh/h) | Dist. direccional (%) | FHP | Zonas de no rebase (%) | Capacidad vehicular | Nivel de servicio |
|----|--|----------------------|-----------------------------|------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| 3 | Intersección av. Panamericana-av. Cnel. Carlos Díaz Sosa (Esq. surtidor YPFB, acceso rotonda Morros Blancos) | 540 | 100 | 0.90 | 0 | 1964 | D |

FUENTE: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos se ha realizado la comparación del comportamiento del tráfico y la capacidad vehicular con la implementación de este sistema vial incluyendo un tercer carril en la sección transversal de la vía; finalmente se pudo evidenciar la mejora en el comportamiento del tráfico evitando de esta manera generar grandes colas, congestión y falta de libertad de maniobra en el tramo.

Figura N° 64: Capacidad vehicular de la vía derecha sentido sur con 3 carriles



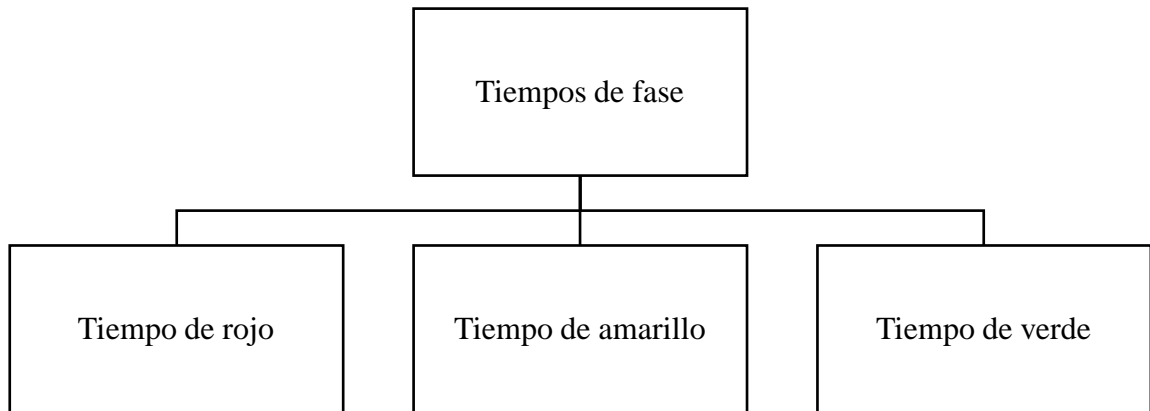
FUENTE: Elaboración propia.

Se puede observar claramente el cambio en las primeras 3 intersecciones estudiadas de la vía, la cuales juntamente con sus respectivos tramos mejoraron notablemente la capacidad que tiene la vía de permitir el paso de los vehículos gracias a la proyección de la ampliación de la sección y la implementación de un tercer carril.

4.10 Estudio y análisis semafórico

La segunda propuesta, considerada como una solución de bajo costo, es el estudio y posterior calibración de los semáforos de la intersección en conflicto con las condiciones de la vía actuales, para ello se debe realizar un análisis a los tiempos actuales, al tránsito existente en la intersección y a las condiciones de preferencia de la vía.

4.10.1 Asignación de tiempos (ciclo de semaforización)



Por normativa el tiempo de ciclo debe estar entre 35 y 120s.

Ecuación del semáforo:

$$t_{ciclo} = t_{rojo} + t_{verde} + t_{amarillo\ ida} + t_{amarillo\ vuelta}$$

Adoptaremos el mismo tiempo de ciclo actual en la semaforización.

$$t_{ciclo} = 43s$$

Los tiempos de amarillo deben ser definidos por el proyectista, considerando el tráfico vehicular y tomando en cuenta los tiempos actuales del semáforo.

$$t_{amarillo} = 2s$$

Una vez asumidos los tiempos de amarillo, nos quedan únicamente dos incógnitas:

$$t_{rojo} = ?$$

$$t_{verde} = ?$$

Estos tiempos están en función al volumen de tráfico que ingresa a la intersección, a mayor volumen en un sentido mayor tiempo de verde tendrá.

Con dos ecuaciones y dos incógnitas se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

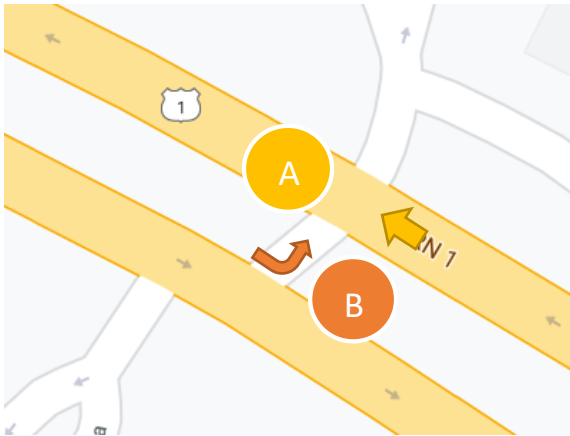
$$\frac{V_A \times t_{amarillo(A)}}{t_{verde(A)}} = \frac{V_B \times t_{amarillo(B)}}{t_{verde(B)}}$$

Donde:

V_A = Volumen vehicular en el acceso A (Veh/h).

V_B = Volumen vehicular en el acceso B (Veh/h).

Producto del aforo vehicular en la intersección tenemos:



$$V_A = 613 \text{ Veh/h}$$

$$V_B = 319 \text{ Veh/h}$$

Entonces:

$$43 = t_{rojo} + t_{verde} + 2 + 2$$

$$\frac{V_A \times 2}{t_{verde(A)}} = \frac{V_B \times 2}{t_{verde(B)}}$$

Reemplazando:

$$\frac{613 \times 2}{t_{verde(A)}} = \frac{319 \times 2}{t_{verde(B)}}$$

$$t_{verde(A)} = \frac{1226}{638} t_{verde(B)}$$

$$t_{verde(A)} = \frac{613}{319} t_{verde(B)}$$

Sabiendo que:

$$t_{verde(B)} = t_{rojo(A)}$$

$$t_{verde(A)} = \frac{613}{319} t_{rojo(A)}$$

Reemplazando:

$$43 = t_{rojo} + \frac{613}{319} t_{rojo} + 2 + 2$$

$$t_{rojo(A)} = 13s$$

Finalmente:

$$t_{verde(A)} = 26s$$

Los tiempos resultantes del análisis de semaforización son los tiempos utilizados actualmente en el sistema de semaforización de la intersección, por lo cual posterior a este análisis, debería hacerse un seguimiento estricto al funcionamiento y la eficiencia del semáforo convirtiéndose en un proceso iterativo que puede ponerse a prueba a través de la aplicación en el software.

4.10.2 Asignación de los tiempos del semáforo por el método HCM

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

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Donde:

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

P_T = Porcentaje de participación de camiones.

P_E = Porcentaje de participación de autobuses o micros.

P_R = Porcentaje de participación de los vehículos recreativos.

E_T = Automóviles equivalentes a un camión.

E_E = Automóviles equivalentes a un autobús.

E_R = Automóviles equivalentes a un vehículo recreativo.

Los valores de E_T, E_E, E_R están entre 1.4 y 1.6, el manual HCM se recomienda usar un valor de 1.5.

Entonces:

$$P_T = 2.81 \%$$

$$P_E = 4.66 \%$$

$$P_R = 0 \%$$

$$E_T = 1.5$$

$$E_E = 1.5$$

$$E_R = 1.5$$

Resolviendo:

$$f_{HV} = 0.96$$

2. Flujos de automóviles directos equivalentes (q_T)

$$q_T = q_D + q_{VI} + q_{VD}$$

Donde:

q_T = Flujo de vehículos equivalentes totales.

q_D = Flujo de vehículos equivalentes directos.

q_{VI} = Flujo de vehículos equivalentes de vuelta a la izquierda.

q_{VD} = Flujo de vehículos equivalentes de vuelta a la derecha.

Para el acceso B:

$$q_{VI} = \frac{VHMD_{VI}}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VI})$$

Donde:

$VHMD_{VI}$ = Volumen horario de máxima demanda en giro a la izquierda.

FHMD= Factor horario de máxima demanda.

E_{VI} = Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la izquierda.

Tabla N° 28: Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la izquierda EVI

| Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la izquierda EVI | | | |
|---|-------------------------|-----|------|
| Flujo opuesto (Veh/h) | N° de carriles opuestos | | |
| | 1 | 2 | 3 |
| 0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 200 | 2.5 | 2 | 1.8 |
| 400 | 5 | 3 | 2.5 |
| 600 | 10 | 5 | 4 |
| 800 | 13 | 8 | 6 |
| 1000 | 15 | 13 | 10 |
| ≥ 1200 | 15 | 15 | 15 |
| Para vueltas a la izquierda protegidas EVI= | | | 1.05 |

FUENTE: Rafael Cal y Mayor Reyes Spindola (1994), Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones, México, D.F.

Entonces:

$$VHMD_{VI} = 205 \text{ Veh/h}$$

$$FHMD = 1$$

$$E_{VI} = 1.1 \text{ (Por tabla)}$$

Resolviendo:

$$q_{VI} = 234 \text{ ADE/h}$$

$$q_{VD} = \frac{VHMD_{VD}}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VD})$$

Donde:

$VHMD_{VD}$ = Volumen horario de máxima demanda en giro a la derecha.

FHMD= Factor horario de máxima demanda.

E_{VD} = Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la derecha.

Tabla N° 29: Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la derecha EVD

| Automóviles directos equivalentes para vueltas hacia la derecha EVD | | |
|---|-----|-------------|
| Volumen peatonal en el cruce peatonal en conflicto (peatones/h) | | Equivalente |
| Ninguno | 0 | 1.18 |
| Bajo | 50 | 1.21 |
| Moderado | 200 | 1.32 |
| Alto | 400 | 1.52 |
| Extremo | 800 | 2.14 |

FUENTE: Rafael Cal y Mayor Reyes Spindola (1994), Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones, México, D.F.

Entonces:

$$VHMD_{VD} = 114 \text{ Veh/h}$$

$$FHMD = 1$$

$$E_{VD} = 1.21 \text{ (Por Tabla)}$$

$$q_{VD} = 143 \text{ ADE/h}$$

Para el acceso A:

$$q_{VD} = \frac{VHMD_{VD}}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{VD})$$

Donde:

$VHMD_{VD}$ = Volumen horario de máxima demanda en giro a la derecha.

FHMD= Factor horario de máxima demanda.

Entonces:

$$VHMD_{VD} = 23 \text{ Veh/h}$$

FHMD= 1

$E_{VD} = 1.21$ (Por tabla)

$q_{VD} = 29$ ADE/h

$$q_D = \frac{VHMD_D}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{HV}} \right)$$

Donde:

$VHMD_D$ = Volumen horario de máxima demanda directo.

Entonces:

$VHMD_{VD} = 590$ Veh/h

FHMD= 1

Resolviendo:

$q_{VD} = 612$ ADE/h

Resumen:

Acceso B: 377 ADE/h

Acceso A: 635 ADE/h

3. Magnitud de intervalos de cambio (y_i)

$$y_i = \left(t + \frac{v}{2a} \right) + \left(\frac{w + L}{v} \right) = A_i + TR_i$$

Donde:

t = Tiempo de percepción y reacción del conductor (s)

v = Velocidad de aproximación de los vehículos (m/s)

a = Taza de desaceleración de los vehículos (m/s²)

w = Ancho de la intersección a atravesar (m)

L = Longitud del vehículo (m)

$A_i =$ Tiempo en amarillo

$TR_i =$ Tiempo todo rojo

Para acceso B:

Entonces:

$t = 1$ s Recomendado en la bibliografía.

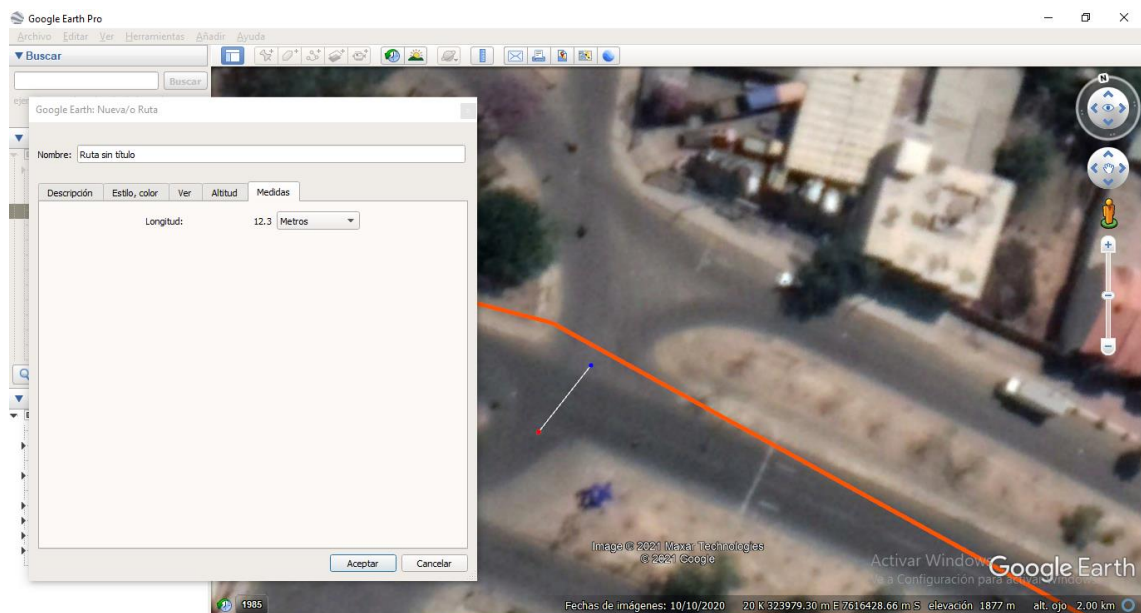
$v = 38.17$ km/h

$v = 10.60$ m/s

$a = 0.5$ m/s² Recomendado en la bibliografía.

$w = 12$ m

Figura N° 65: Ancho de la intersección en sentido B a atravesar



FUENTE: Elaboración propia.

$L = 6.1$ m Vehículo típico según bibliografía

Resolviendo:

$A_B = 3.651 = 4$ s

$$TR_A = 1.707 = 2 \text{ s}$$

Para Acceso A:

Entonces:

$t = 1 \text{ s}$ Recomendado en la bibliografía.

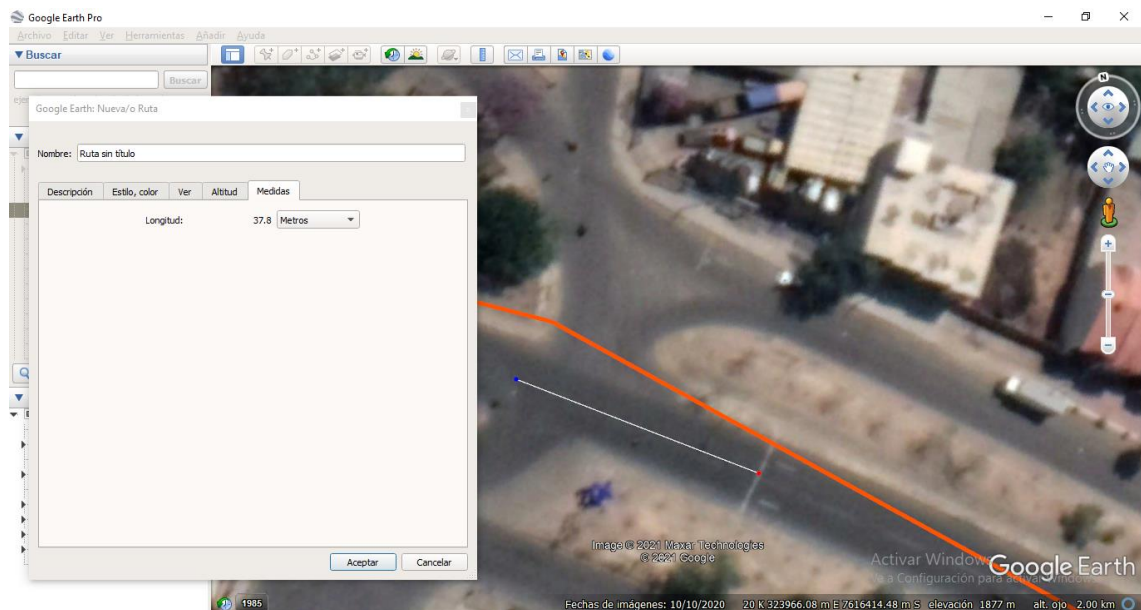
$$v = 38.17 \text{ km/h}$$

$$v = 10.60 \text{ m/s}$$

$a = 0.5 \text{ m/s}^2$ Recomendado en la bibliografía.

$$w = 38 \text{ m}$$

Figura N° 66: Ancho de la intersección en sentido A a atravesar



FUENTE: Elaboración propia.

$l = 6.1 \text{ m}$ Vehículo típico según bibliografía

$$A_A = 3.651 = 4 \text{ s}$$

$$TR_B = 4.254 = 4 \text{ s}$$

4. Tiempo por fases (l_i)

$$l_i = y_i = A_i + TR_i$$

Entonces:

$$l_B = 8 \text{ s}$$

$$l_A = 6 \text{ s}$$

5. Tiempo total perdido de todas las fases (L)

$$L = \sum_{i=1}^{\phi} (A_i + TR_i)$$

Entonces:

$$L = 14 \text{ s}$$

6. Máximas relaciones de flujo (Y_i)

$$Y_i = \frac{q_i \text{max}}{S}$$

Donde:

$q_i \text{max}$ = Flujo máximo o crítico por carril.

S = Flujo de saturación.

Entonces:

$$q_A \text{max} = 635$$

$$q_B \text{max} = 377$$

$S = 1800$ Recomendado por HCM

Resolviendo:

$$Y_A = 0.353$$

$$Y_B = 0.209$$

7. Calculo de longitud de ciclo óptimo (C_o)

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i}$$

Entonces:

$$C_o = 59.39 = 59 \text{ s}$$

8. Tiempo efectivo de verde total (g_T)

$$g_T = C_o - L$$

Entonces:

$$g_T = 45 \text{ s}$$

9. Reparto de los tiempos verdes (g_i)

$$g_i = \frac{Y_i}{Y_A + Y_B} (g_T)$$

Entonces:

$$g_A = 28 \text{ s}$$

$$g_B = 17 \text{ s}$$

10. Determinación de los tiempos verdes reales (G_i)

$$G_i = g_i + l_i - A_i - TR_i$$

Entonces:

$$G_A = 29 \text{ s}$$

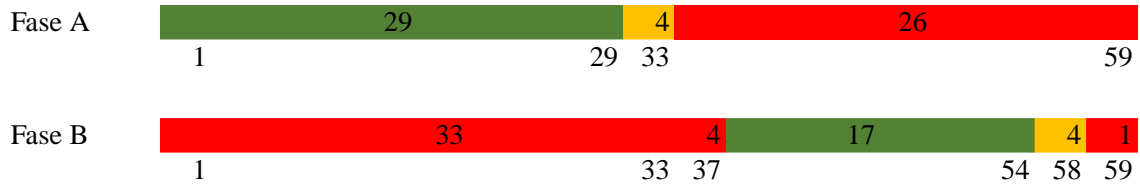
$$G_B = 17 \text{ s}$$

Resultados:

| | |
|----------|------|
| $G_A =$ | 29 s |
| $A_A =$ | 4 s |
| $TR_A =$ | 2 s |

| | |
|----------|------|
| $G_B =$ | 17 s |
| $A_B =$ | 4 s |
| $TR_B =$ | 4 s |

Diagrama de programación de tiempos por fases:



Los resultados obtenidos a través de la asignación de tiempos de semaforización por la metodología propuesta en la normativa HCM, de la bibliografía consultada, otorgan un tiempo de ciclo de 59 segundos, del cual se distribuyen los tiempos de verde, amarillo y rojo de acorde a los resultados; finalmente se realiza la simulación en el tramo estudiado para observar el comportamiento del flujo vehicular y las colas producto de la interrupción en el tránsito, lo cual genera una mayor congestión en el tramo en conflicto haciendo necesaria una variación en la distribución de los tiempos dentro del ciclo asignado.

Redistribución de tiempos:

Por normativa el tiempo de ciclo debe estar entre 35 y 120s.

Ecuación del semáforo:

$$t_{ciclo} = t_{rojo} + t_{verde} + t_{amarillo\ ida} + t_{amarillo\ vuelta}$$

El tiempo de ciclo calculado por la metodología HCM.

$$t_{ciclo} = 59s$$

Los tiempos de amarillo deben ser definidos por el proyectista, considerando el tráfico vehicular y tomando en cuenta los tiempos actuales del semáforo.

$$t_{amarillo} = 2s$$

Una vez asumidos los tiempos de amarillo, nos quedan únicamente dos incógnitas:

$$t_{rojo} = ?$$

$$t_{verde} = ?$$

Estos tiempos están en función al volumen de tráfico que ingresa a la intersección, a mayor volumen en un sentido mayor tiempo de verde tendrá.

Con dos ecuaciones y dos incógnitas se puede determinar a través de la siguiente ecuación:

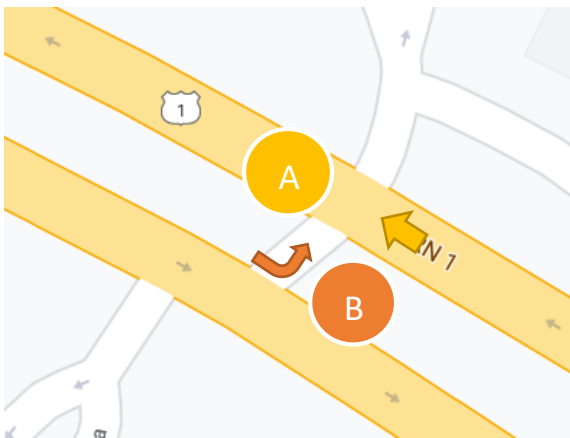
$$\frac{V_A \times t_{\text{amarillo (A)}}}{t_{\text{verde (A)}}} = \frac{V_B \times t_{\text{amarillo (B)}}}{t_{\text{verde (B)}}}$$

Donde:

V_A = Volumen vehicular en el acceso A (Veh/h).

V_B = Volumen vehicular en el acceso B (Veh/h).

Producto del aforo vehicular en la intersección tenemos:



$$V_A = 613 \text{ Veh/h}$$

$$V_B = 319 \text{ Veh/h}$$

Entonces:

$$59 = t_{\text{rojo}} + t_{\text{verde}} + 2 + 2$$

$$\frac{V_A \times 2}{t_{\text{verde (A)}}} = \frac{V_B \times 2}{t_{\text{verde (B)}}}$$

Reemplazando:

$$\frac{613 \times 2}{t_{\text{verde (A)}}} = \frac{319 \times 2}{t_{\text{verde (B)}}}$$

$$t_{\text{verde (A)}} = \frac{1226}{638} t_{\text{verde (B)}}$$

$$t_{\text{verde (A)}} = \frac{613}{319} t_{\text{verde (B)}}$$

Sabiendo que:

$$t_{verde (B)} = t_{rojo (A)}$$

$$t_{verde (A)} = \frac{613}{319} t_{rojo (A)}$$

Reemplazando:

$$59 = t_{rojo} + \frac{613}{319} t_{rojo} + 2 + 2$$

$$t_{rojo (A)} = 19s$$

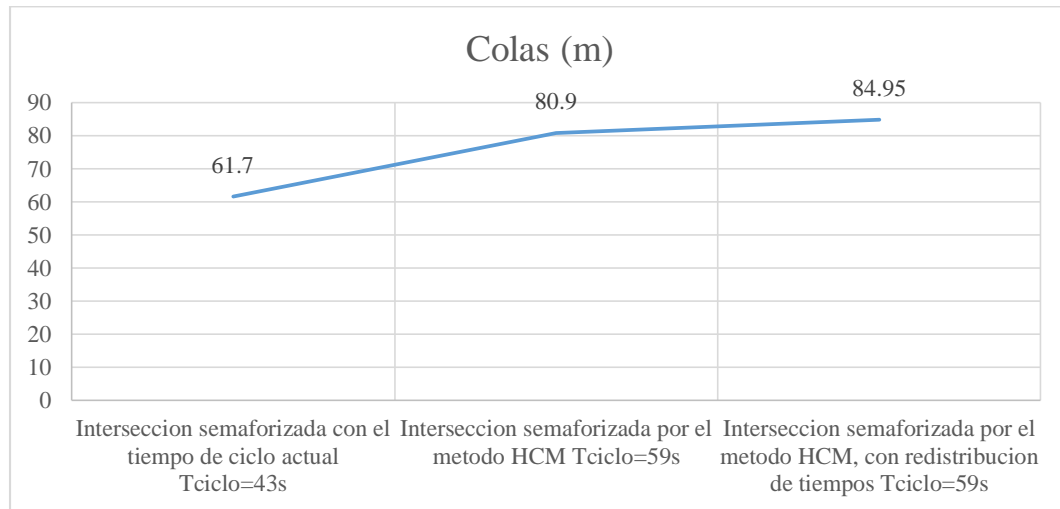
Finalmente:

$$t_{verde (A)} = 36s$$

Tomando en cuenta un mayor tiempo de ciclo en la intersección y una redistribución de tiempos en función al volumen vehicular del tramo estudiado se pueden observar menos colas en el tramo y una mayor capacidad de permitir el paso de los vehículos hacia el sur.

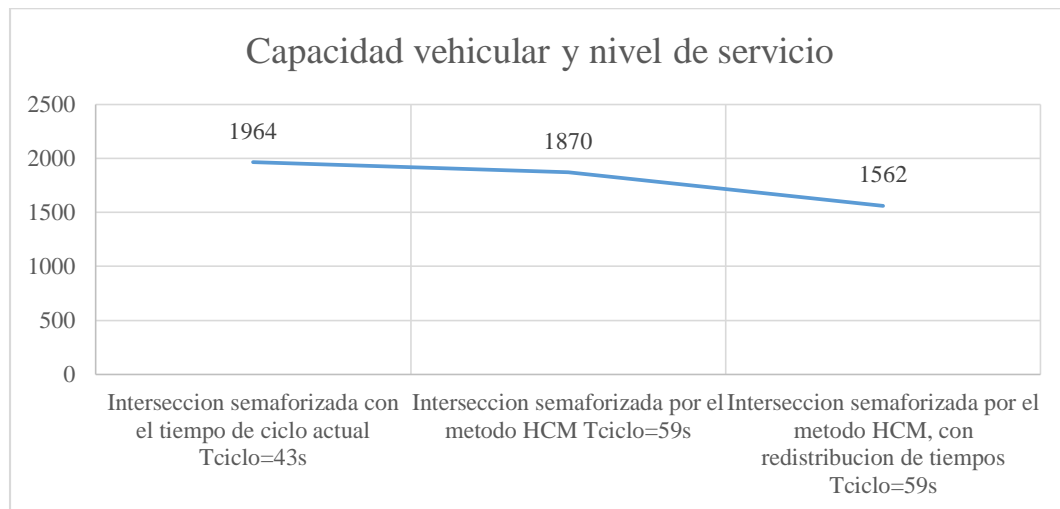
Con los resultados obtenidos se ha realizado la comparación del comportamiento del tráfico y la capacidad vehicular, así también las colas generadas por la interrupción de tránsito en los tiempos de rojo de la semaforización; finalmente se pudo evidenciar la mejora en el comportamiento del tráfico con el incremento del tiempo de ciclo producto del análisis por la metodología HCM y realizando una redistribución de tiempos de fase en función a los volúmenes vehiculares evitando de esta manera generar grandes colas, congestión y falta de libertad de maniobra en el tramo.

Figura N° 67: Colas generadas por la semaforización en vía derecha sentido sur



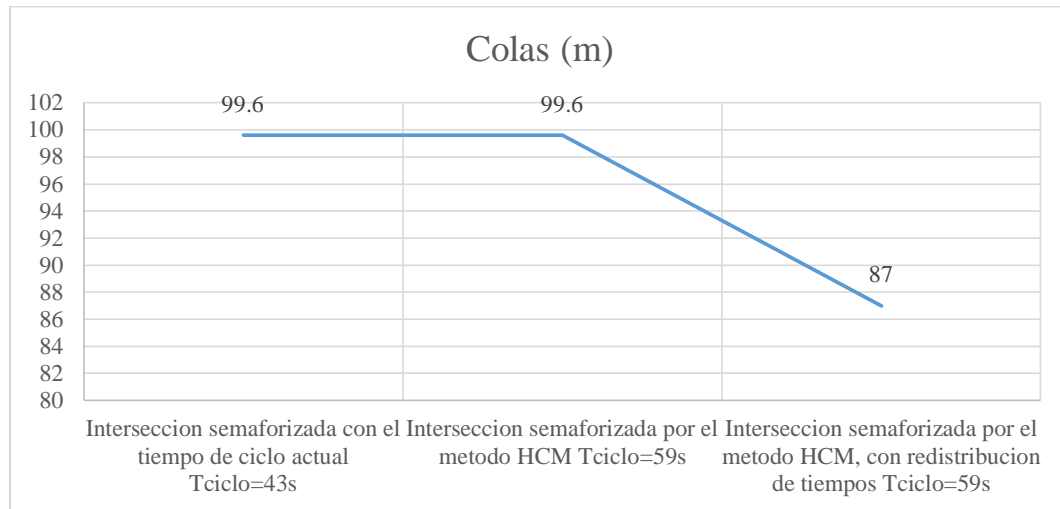
FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 68: Capacidad y NS por semaforización en vía derecha sentido sur



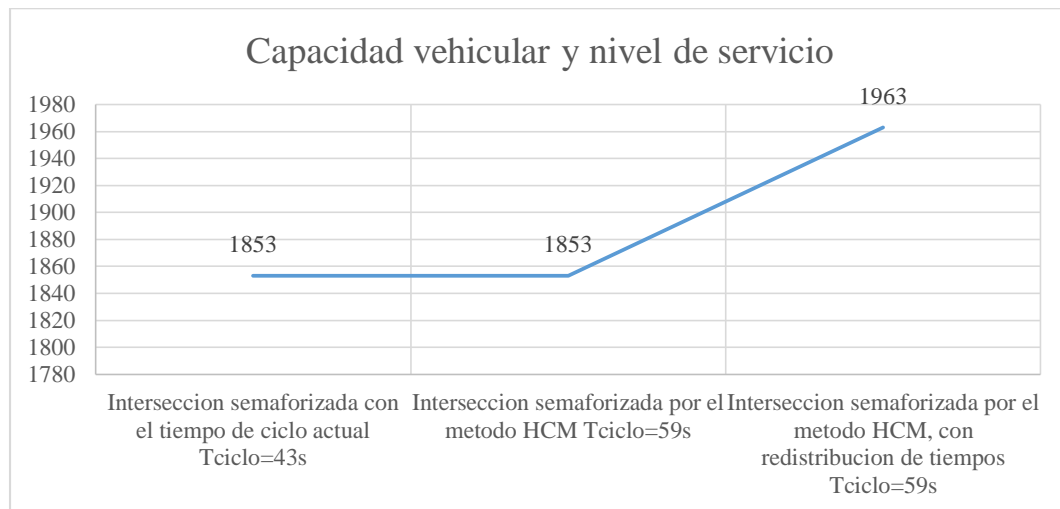
FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 69: Colas generadas por la semaforización en vía central sentido norte



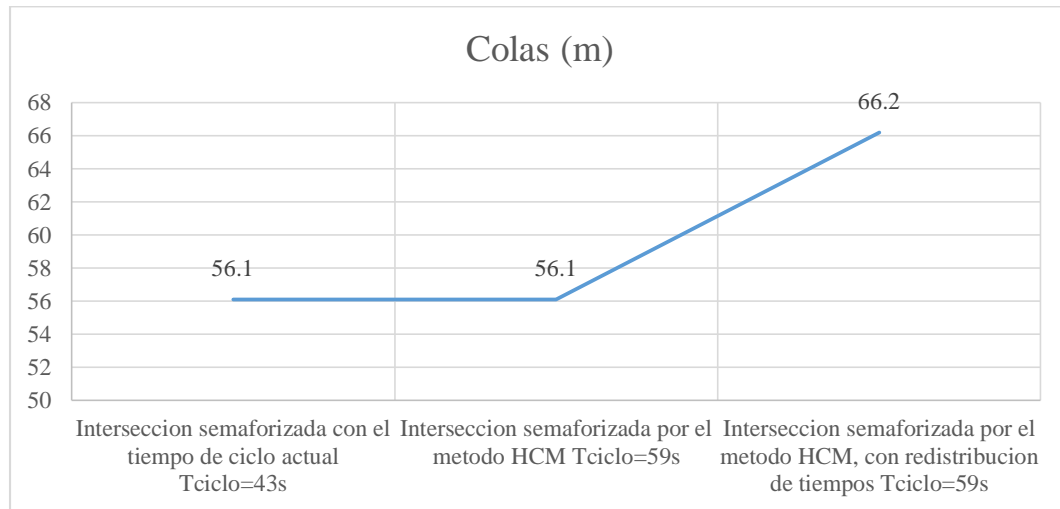
FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 70: Capacidad y NS por semaforización en vía central sentido norte



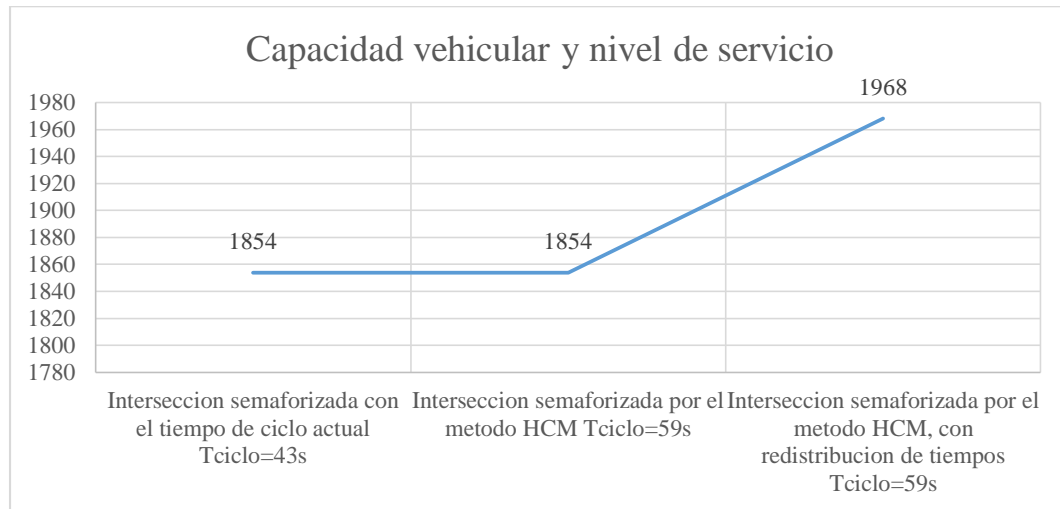
FUENTE: Elaboración propia.

Figura N° 71: Colas generadas por la semaforización en vía izquierda doble sentido



FUENTE: Elaboración Propia.

Figura N° 72: Capacidad y NS por semaforización en vía izquierda doble sentido

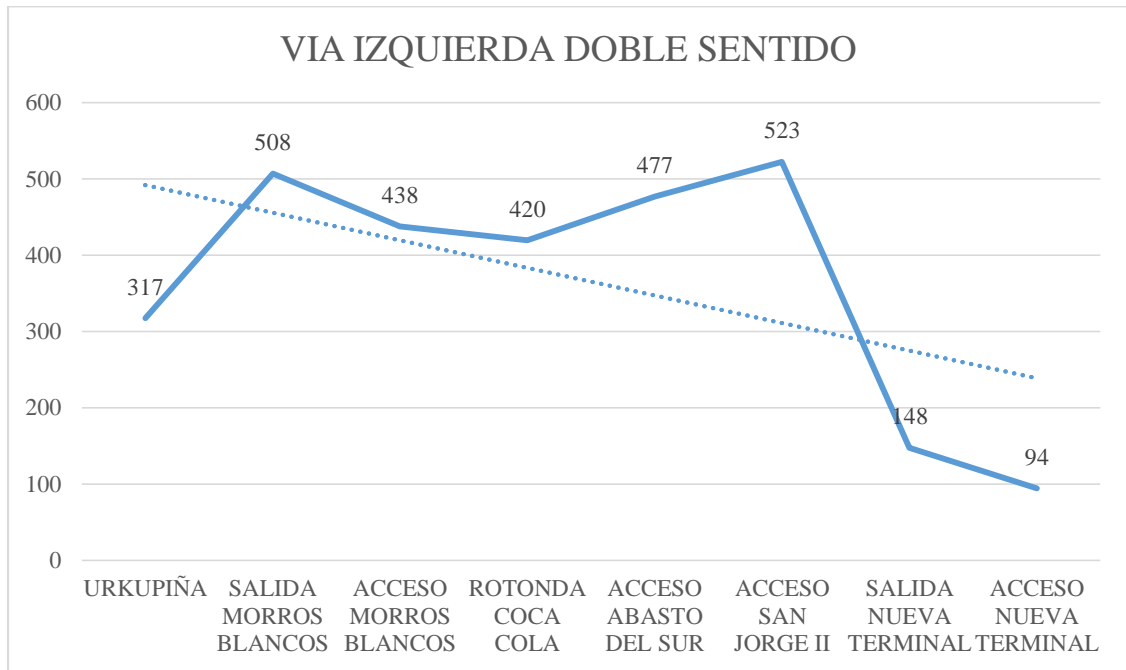


FUENTE: Elaboración propia.

4.11 Análisis y valoración del TPH

A continuación se presentan las gráficas del comportamiento de TPH, que va de forma decreciente en cuanto a lo largo del tramo; esta función se comporta de esta manera debido a que la afluencia de personas, negocios, viviendas, fuentes laborales y centros públicos son mucho menores en los tramos finales.

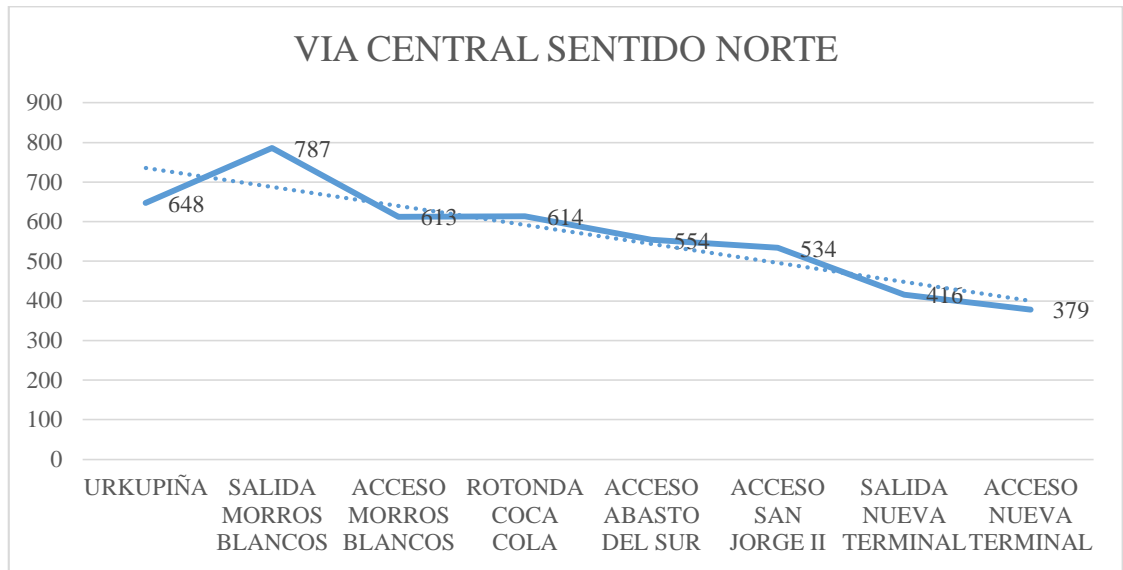
Figura N° 73: Análisis del TPH en la vía izquierda doble sentido del tramo



FUENTE: Elaboración propia.

La gráfica se muestra de esta manera, observando los picos en la intersección av. Panamericana-av. Fray Quebracho (Esq. surtidor Tacuarandi, salida rotonda Morros Blancos), debido a que se trata de una salida altamente concurrida por tratarse de una conexión de la zona Morros Blancos con la vía principal que conecta con el centro de la ciudad; y la intersección av. Panamericana-av. Juan de Dios Mealla Otálora (Cruce de acceso a la zona San Jorge II), la cual es una intersección que conecta con otra de las zonas con una importante cantidad de habitantes como lo es la zona de San Jorge II, además de contar con una salida y acceso del mercado Abasto del Sur, es por ello que se convierte en un cruce estratégico en la circulación vehicular.

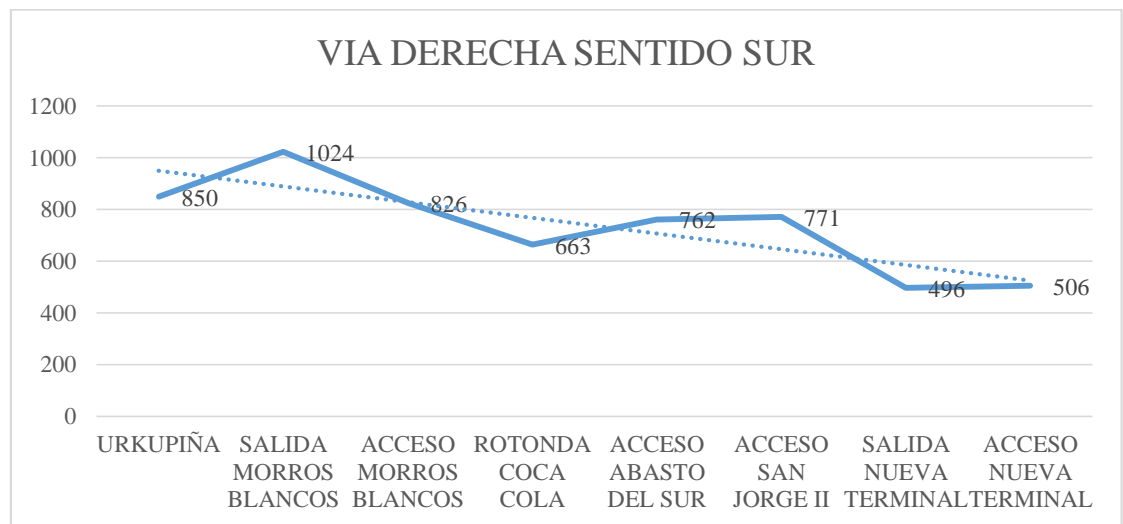
Figura N° 74: Análisis del TPH en la vía central sentido norte del tramo



FUENTE: Elaboración propia.

Al tratarse de la vía central, la cual se utiliza como una vía en velocidad, para quienes requieren recorrer largas distancias en el tramo se observa de manera más uniforme, teniendo un solo pico en la intersección av. Panamericana-av. Fray Quebracho (Esq. surtidor Tacuarandi, salida rotonda Morros Blancos), que lógicamente es utilizada como transporte rápido de tal vía central de los conductores e esta zona para llegar al centro de la ciudad.

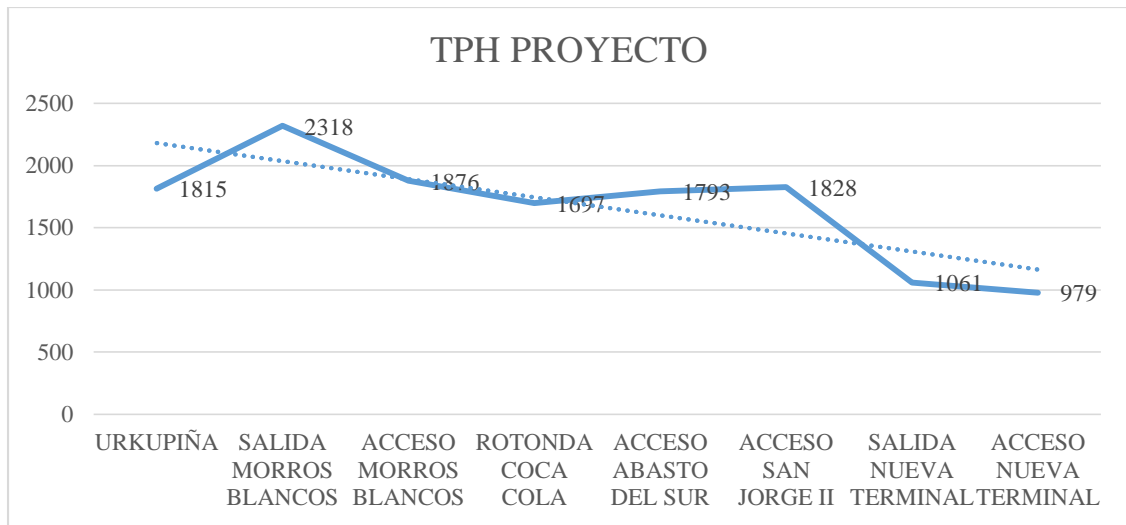
Figura N° 75: Análisis del TPH en la vía derecha sentido sur



FUENTE: Elaboración propia.

Evidentemente la vía derecha con sentido sur es también muy necesaria para el transporte de algunos conductores de camino a sus fuentes laborales como también a su domicilios por estas zonas, se muestra también el TPH regularmente uniforme en cada intersección estudiada observando los picos en la salida de la rotonda de la zona de Morros Blancos y el acceso a la zona de San Jorge II.

Figura N° 76: Análisis del TPH en la avenida triple vía



FUENTE: Elaboración del proyecto.

El TPH del proyecto es la gráfica tomando en cuenta las tres vías del tramo en estudio, de los cuales por influencia de la vía izquierda de dos carriles y dos sentidos influye bastante por la relación que tiene con la zona de Morros Blancos, el mercado Abasto del Sur y la zona de San Jorge II, zonas que son determinantes e identificadas como las más críticas del tramo en diferentes niveles.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El modelo computacional SIMCAR: Para la simulación en vías de dos carriles y vías multicarril, propuesto para su aplicación en la ciudad de Tarija.

El proceso de simulación bajo un modelo matemático el cual maneja dicho software, constituye un paso preliminar para el diseño, planeación e intervención de las vías en busca de alternativas que mejoren la calidad de transitabilidad y la organización dentro de tramos urbanos y rurales.

Según el software de simulación SIMCAR, es posible realizar el procesamiento de datos en vías multicarril y poder ejecutar la microsimulación de manera exitosa tomando en cuenta los datos medidos en campo que son fundamentales para la obtención de resultados precisos.

Para lograr de manera correcta y satisfactoria el desarrollo del proyecto de aplicación del software de simulación ha sido fundamental el proceso de aforo vehicular detallado y discretizado en diferentes tipos de vehículos, que por supuesto, dificulta el trabajo bajo presión del aforador e incluso ha sido necesaria la presencia de 2 aforadores en un mismo punto por las condiciones de la vía, así como también la utilización de cámaras para el registro de los vehículos que transitan por la intersección.

Además, es fundamental la obtención de los datos que corresponden a las características físicas y geométricas del tramo, haciendo necesario el levantamiento topográfico de casi 4km de triple vía que fueron determinantes a la hora de garantizar la precisión de los puntos y datos geométricos del proyecto.

Satisfactoriamente, tanto la simulación y el comportamiento vehicular como los resultados estadísticos del software, muestran una similitud lógica muy próxima a la situación observada en campo de cada tramo.

Finalmente, la capacidad vehicular y el nivel de servicio de cada una de las intersecciones muestran que la calidad de la vía requiere leves mejoras en algunas de las intersecciones más conflictivas por la cantidad de vehículos que en la actualidad circulan por esta ruta.

Cabe aclarar que el presente proyecto de aplicación, representa una aproximación académica juiciosa a la implementación de un software diseñado para condiciones específicas de la realidad colombiana; no obstante, el servidor donde se ha adquirido dicha herramienta aclara que es de uso libre y disponible para cualquier país de Latinoamérica, incluida Bolivia puntualmente.

5.2 Recomendaciones

A través del proceso de interacción con el software y observando la accesibilidad para su manejo de manera adecuada se recomienda:

Discretizar los tipos de vehículos de acuerdo a la necesidad y al objetivo del estudio a realizar.

Seleccionar dependiendo al tramo estudiado, la mejor alternativa en cuanto a la metodología para el conteo vehicular, con el fin de optimizar los resultados y evitar errores en el aforo manual clasificado.

Evaluar el rendimiento del aforador en el punto deseado, con el fin de mejorar la calidad y precisión de los resultados del conteo vehicular.

Realizar necesariamente el levantamiento topográfico del tramo que se desea estudiar, debido a que el software requiere de manera precisa los datos geométricos de la vía; sin un levantamiento previo es imposible llegar a la realidad del tramo estudiado debido a que las herramientas como Arcgis, Google Earth, Global Mapper, generan superficies de referencia y no son más que una aproximación.

Introducir de manera cuidadosa cada uno de los datos evitando incurrir en errores que podrían afectar la precisión de los resultados.

Aplicar el software principalmente en tramos relativamente largos como es el caso de avenidas, autopistas y carreteras, es decir para estudios en tramos y no así en intersecciones debido al detalle gráfico que muestra en las mismas.