

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERIA DE TRÁFICO

Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 28 define que:

La ingeniería de tráfico es una rama de la ingeniería que se ocupa de estudiar, analizar y buscar soluciones para que la interrelación entre usuarios peatones y conductores, vehículos públicos y privados, vías carreteras y calles puedan permitir una circulación adecuada y que de seguridad a los usuarios. Esta rama de la Ingeniería tiene como principales objetivos el planeamiento, el trazado y la explotación de las redes viarias, de forma que la circulación de personas y vehículos sea:

- Segura.
- Rápida.
- Eficaz.

Se ocupa de estudiar las características de los cuatro elementos fundamentales del tránsito: el conductor, el peatón el vehículo y la vía así como las relaciones entre esos elementos. Como instrumentos básicos para adquirir la información necesaria, esta ciencia ha desarrollado métodos sistemáticos de captación de la misma que se denominan estudios de tráfico, gracias a estos estudios se pueden conocer datos tan importantes como el número de vehículos que circula por una vía en un tiempo determinado, sus velocidades, sus acciones mutuas, los lugares donde sus conductores desean estacionarlos, los sitios donde se concentran los accidentes de tránsito. El cálculo de las probabilidades y los métodos estadísticos son auxiliares eficacísimos para planear estos estudios y analizar sus resultados.

1.1. FUNCIÓN DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

Según el autor: Valdez Gonzales roldan Antonio pág. 45

El objetivo principal de la Ingeniería de Tráfico es conseguir que la circulación sea segura, rápida y económica. La Ingeniería de Tránsito analiza lo siguiente:

En las 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.

El señalamiento y dispositivos de control tienen la función, determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales.

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

- **Planeamiento.-**

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.

- **Organización de la ingeniería de tráfico.-**

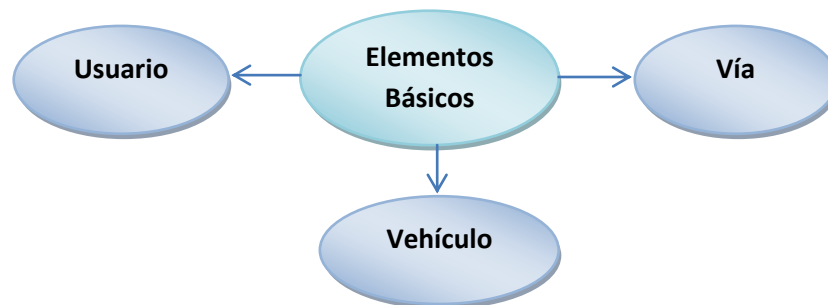
- Planificación de tráfico y transporte.
- Señalización y regulación semafórica.
- Dirección e ingeniería de tráfico.
- Evaluación y asesoramiento del impacto de tráfico.

- Simulación y modelamiento de transporte.
- Planes de transporte público.
- Política y planificación de aparcamientos.
- Proyectos de peatonalización y ciclo rutas.
- Sistemas de transporte inteligente
- Seguridad vial.
- Análisis financiero y económico de transporte.
- Encuestas e investigación de transporte.

1.2. ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL TRÁFICO

Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 39, 67 y 97

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



El Usuario, el Vehículo y la Vía o Vialidad

1.2.1. Elemento Usuario.-

El elemento usuario es la persona que está dentro de la circulación vehicular y peatonal siendo parte del problema pudiendo tomar dos posiciones que son:

- ~ Usuario Peatón
- ~ Usuario Conductor

- **Usuario Peatón.-**

Es el usuario que circula en las áreas peatonales dentro de los trazos urbanos o en las carreteras aledañas a esta de manera que en algunos puntos se cruzan los flujos peatonal y vehicular generando un problema, el usuario peatón si respetara sus áreas de circulación probablemente no generaría problema en el tráfico sin embargo en la práctica el usuario peatón es mucho más indisciplinado que el usuario conductor en que incumple las reglas y normas de tránsito y deja su seguridad física al conductor y no vela por sí mismo en su seguridad a partir de su forma de comportamiento.

Una de las características del peatón en su velocidad de circulación y siendo valores normales para ciudades de más de 100.000 habitantes que la velocidad esté entre 1 y 1,4 m/s en ciudades con menos de 100.000 habitantes la velocidad media del peatón es menor a 1 m/s.

El usuario peatón tiene una mayor incidencia en el problema de tráfico en las zonas urbanas no así en las carreteras donde su incidencia es mínima.

De acuerdo a estudios realizados se ha visto el problema mayor del usuario peatón es su conducta por ello la gran necesidad de incidir en educación vial orientada al mejor comportamiento y al respeto de normas y reglamentos para que se minimicen los accidentes causados por el usuario peatón.

- **Usuario conductor.-**

El conductor es considerado en forma individual o colectiva aquella persona que está encargada de conducir un vehículo motorizado que circula en medio del tráfico. Este elemento está sujeto a su comportamiento en función a su condición física, a las reacciones físicas y psicológicas que se puede tener al momento de conducir un vehículo.

Cualquier persona que no tenga impedimentos físicos puede ser apta para ser un usuario conductor siempre que adquiera los conocimientos y habilidad para conducir.

Una cualidad física muy importante en el usuario conductor es la visión que es la facultad que tiene una persona para visualizar el entorno que le rodea.

Existen algunos defectos en la visión que limita la posibilidad de ser conductor, es el daltonismo cuya la consecuencia es la no distinción de los colores.

Los conductores normalmente tienen una reacción física condicionada que está referida al aspecto de habilidad y hábito, siendo normal que un conductor cuanto más tiempo en años que tenga de conductor mayor habilidad adquirirá, en lo que se refiere al hábito un conductor adquiere un hábito determinado ya sea por la repetición de acciones en la forma de conducir o por los lugares en que conduce, se considera condicionada porque tiene ese efecto en el momento de la reacción.

Los conductores también tienen reacciones psicológicas denominadas no condicionadas que dependen más de aspectos emocionales a la que puede estar sometido el individuo en un solo momento. Entre algunos factores que modifican el comportamiento del individuo podemos citar: la fatiga, la embriaguez, los estados emocionales, las condiciones de tiempo y la época del año.

Se considera que un buen conductor debe tener las siguientes cualidades:

1. Poseer reacciones buenas a los estímulos visuales.

2. Calcular correctamente las distancias y velocidades de acuerdo con el movimiento de vehículos y peatones.
3. Ser rápidos y estar habituados a las situaciones de vivencia.
4. Tener aptitud mecánica y habilidad para el vehículo.
5. Ser personas que respetan las normas y el derecho de los demás.

1.2.2. Elemento Vía.-

El elemento vía es aquel elemento que físicamente permite el espacio necesario para la circulación de los vehículos.

En este elemento reconocemos en las vías de zonas urbanas a la vía urbana o calle y en las zonas rurales a la carreta.

Las características de la vía que está relacionada con la problemática del tráfico son básicamente:

- ~ Características geométricas
- ~ Características de circulación

1.2.2.1. Características geométricas.-

Entre las características geométricas de la vía tenemos las siguientes:

- ~ Ancho de carril
- ~ Ancho de calzada
- ~ Sección transversal
- ~ Pendiente
- ~ Intersección

❖ Ancho de carril.-

Este elemento de la vía condiciona la capacidad vehicular es decir a mayor ancho de carril mayor capacidad vehicular para referencia tenemos algunos valores normalizados de anchos de carril tanto en vías urbanas como en carreteras.

<u>ANCHO DE CARRIL</u>	
<u>Vías Urbanas</u>	<u>Carreteras</u>
2,5 m	2,50 m
3,0 m	3,05 m
3,5 m	3,35 m
4,0 m	3,50 m
	3,65 m

❖ **Ancho de calzada.-**

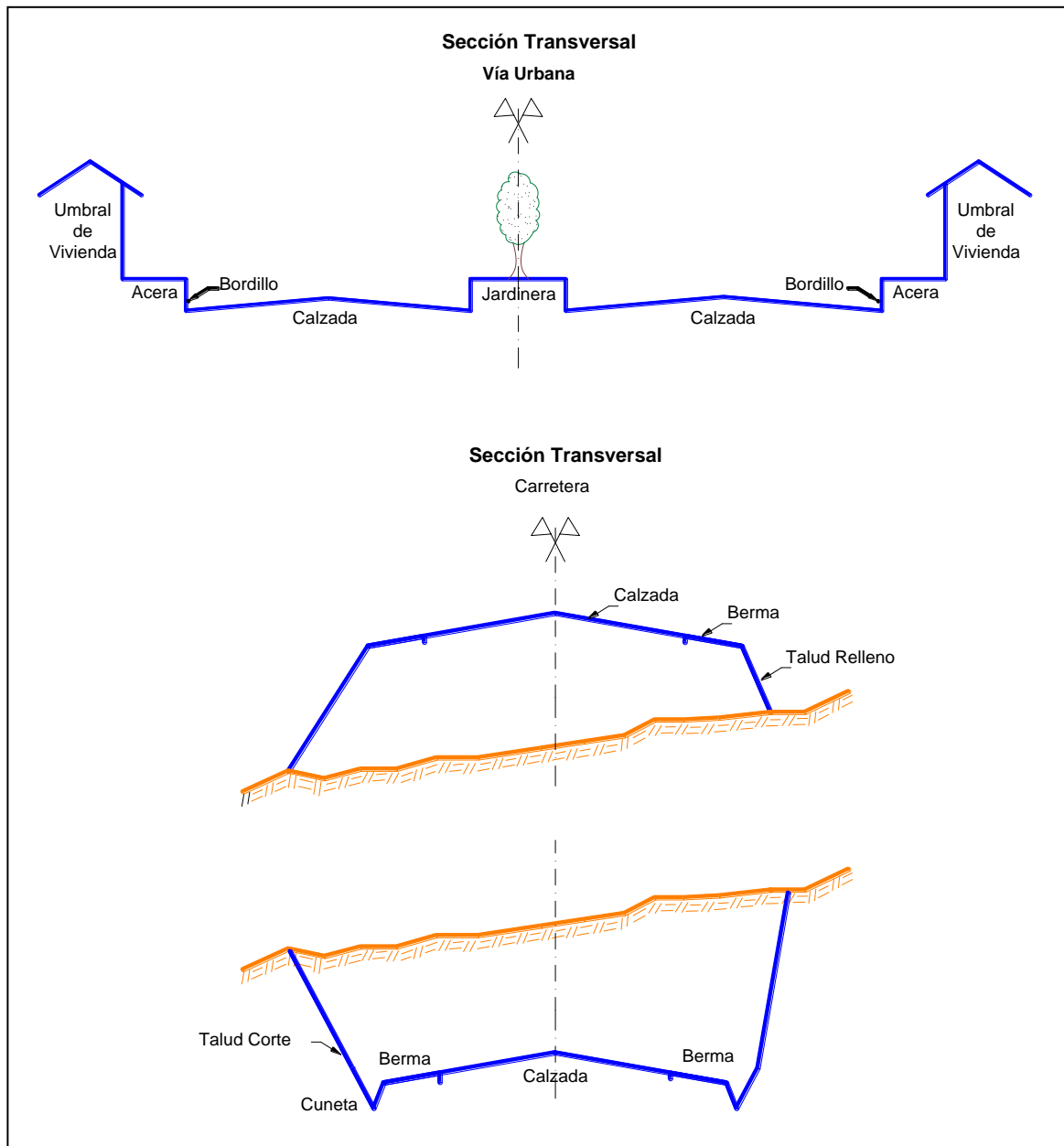
Los anchos de calzada de las vías están relacionadas con el número de carriles por sentido que pueda tener la vía urbana de la carretera, el ancho de calzada afecta directamente a la capacidad vehicular, al volumen de tráfico, a la velocidad de circulación y a las áreas de estacionamiento lateral, por lo tanto es una característica geométrica muy influyente en la circulación del tráfico.

Se tienen algunos valores tanto en vías urbanas como en carreteras.

<u>ANCHO DE CALZADA</u>	
<u>Vías Urbanas</u>	<u>Carreteras</u>
5,0 m	5,0 m
6,0 m	6,8 m
7,0 m	6,7 m
8,0 m	7,0 m
9,0 m	7,5 m
10,0 m	10,5 m

❖ Sección transversal.-

La sección transversal de la carretera o de la vía urbana está relacionada con los dos aspectos anteriores es decir el ancho de carril y el ancho de calzada y otros elementos geométricos adicionales como ser aceras bordillos, jardineras, talud de corte, talud de relleno, etc.



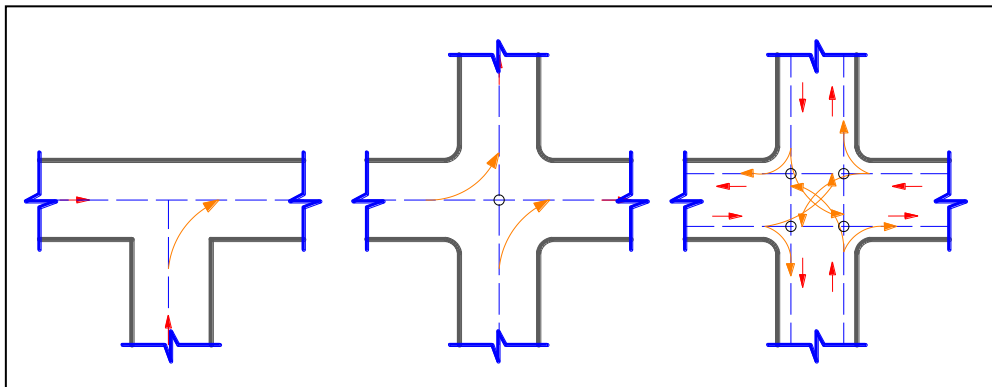
❖ **Pendiente.-**

Otro de los aspectos geométricos que influye en la circulación de los vehículos es la pendiente longitudinal de las vías es decir que a mayor pendiente menor velocidad y a menor volumen de tráfico y a menor pendiente mayor velocidad y mayor volumen de tráfico.

Las pendientes que se utilizan en vías urbanas están en el orden de 0,5% a 4,0% y en las carreteras de 0,5% a 12,0%

❖ **Intersección.-**

La intersección es un elemento geométrico particular de las vías urbanas y ocasionalmente en carreteras es donde concluye dos flujos vehiculares en distintos sentidos por lo tanto es un elemento fundamental del análisis de tráfico.



1.2.3. Elemento vehículo.-

En ciertos países, la incorporación de mayor cantidad de vehículos no sólo 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.

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).

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 aún 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.

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.

1.3. PARÁMETROS FUNDAMENTALES DEL TRÁFICO

1.3.1. Volumen e intensidad

VOLUMEN.- El volumen de tráfico de una carretera está determinado por el número y tipo de vehículos que pasan por un punto dado durante un periodo de tiempo específico. (Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 152)

- Si la unidad de tiempo en el tramo es el día, se define el Volumen de Tráfico Diario (T. D.).
- Si la unidad de tiempo en el tramo es el año, se define el Volumen de Tráfico Anual (TA.).

El tráfico anual (TA.) y el tráfico diario (TD.) están relacionados a la factibilidad y la estadística técnico-económica.

- Si la unidad de tiempo en el tramo es la hora, se define el Volumen de tráfico Horario (TH.).

El Tráfico Horario está estrechamente ligado a la determinación de número de carriles, el ancho de plataforma y algunas características geométricas en el alineamiento horizontal y vertical de carreteras.

El Tráfico Promedio Diario (TPD), sirve para justificar el diseño, clasificar la categoría de camino y hacer estudios de justificación técnico-económica.

El TPD, en general, es representativo de los volúmenes vehiculares en determinada época del año. El período de conteo, debe ser superior a tres y menor a treinta días.

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se establece mediante el método de conteo y es el resultado del conteo de vehículos durante 24 hrs. al día durante y los 365 días del año.

Los volúmenes de tráfico (*TPDA*) y (*TPD*), sirven para justificar el diseño, clasificar la categoría de camino y hacer estudios de justificación técnico-económica.

INTENSIDAD.-Es el dato básico para la realización de cualquier estudio de planeamiento y explotación de redes varias, la intensidad de circulación. Para conocerla es necesaria contar o aforar el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la red. Esta operación puede realizarse manualmente o por medio de aparatos especiales y puede hacerse clasificando más o menos detalladamente los tipos de vehículos que circulan.

Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasan a través de una sección fija de una carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas con vehículos / Hora y vehículos / día. Cuando se emplea como unidad los vehículos / hora se habla de intensidad horaria, y cuando se utilizan los vehículos / día se habla de la intensidad diaria.

La intensidad es la característica más importante de la circulación vial ya que las demás pueden relacionarse con ella más o menos fácilmente.

Para medirla se realizan aforos en determinadas secciones de la carretera, bien manualmente o automáticamente utilizando aparatos contadores. Estos aforos se realizan durante periodos más o menos largos, y se obtiene así un registro de los valores de la intensidad durante dichos periodos.

La variación de la intensidad a lo largo del tiempo presenta gran importancia. Como valor representativo de la misma durante el periodo de medida, se suele adoptar la intensidad diaria (u horaria si el periodo de medida es menor a un día) media de todas las registradas. Generalmente el periodo de aforo se extiende durante un año, y la

intensidad media diaria durante el año (IMD) es la magnitud más utilizada para caracterizar la intensidad en las carreteras, y se puede definir como el número total de vehículos que ha pasado por una sección de la carretera durante un año determinado dividido entre 365.

1.3.2. Velocidad.-

La velocidad se ha manifestado siempre como una respuesta al deseo del humano de comunicarse rápidamente desde el momento en que él mismo inventó los medios de transporte. En este sentido, la velocidad se ha convertido en uno de los principales indicadores utilizado para medir la calidad de operación a través de un sistema de transporte. A su vez, los conductores, considerados de una manera individual, miden parcialmente la calidad de su viaje por su habilidad y libertad en conservar uniforme la velocidad deseada. Se sabe, además, por experiencia que el factor más simple a considerar en la selección de una ruta específica para ir de un origen a un destino, consiste en la minimización de las demoras, lo cual obviamente se logrará con una velocidad buena y sostenida y que ofrezca seguridad. Esta velocidad está bajo el control del conductor, y su uso determinará la distancia recorrida, el tiempo de recorrido y el ahorro de tiempo, según la variación de ésta.

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 205)

La importancia de la velocidad, como elemento básico para el proyecto de un sistema vial, queda establecida por ser un parámetro de cálculo de la mayoría de los demás elementos del proyecto. Finalmente, un factor que hace la velocidad muy importante en el tránsito es que la velocidad de los vehículos actuales ha sobrepasado los límites para lo que diseñada la carretera actual y las calles, por lo que la mayor parte de los reglamentos resultan obsoletos.

Así, por todas las razones anteriores, la velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía, de tal manera que siempre se garantice la seguridad.

1.3.3. Densidad.-

La densidad vehicular es la cantidad de vehículos por unidad de longitud que normalmente se toma de un km. Este parámetro es resultante de las dos anteriores es decir de la velocidad y del volumen de tráfico, cuya relación será:

$$Densidad = \frac{Volumen \left(\frac{veh}{km} \right)}{Velocidad}$$

Sin embargo en los últimos años la densidad vehicular no sólo está siendo determinada, si no está siendo medida apoyada en algunos instrumentos como video que nos permite enfocar determinadas longitudes donde se puede contabilizar en número de vehículos permitirá encontrar la densidad que tiene una vía.

En los últimos años el parámetro densidad ha sido incorporado en los niveles de servicio de las vías urbanas y carretera de manera que este parámetro adquiera mayor importancia al momento de calificar el nivel de servicio de una vía.

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 212)

RELACIONES ENTRE INTENSIDAD – VELOCIDAD – DENSIDAD

Relación entre factores fundamentales:

- a) Velocidad – Volumen o Intensidad
- b) Velocidad –Densidad
- c) Volumen o Intensidad –Densidad

a) Velocidad – Volumen o Intensidad.-

La relación que existe entre estos dos factores es que a mayor volumen disminuye la velocidad hasta llegar a un punto inestable, donde pasa a ser la velocidad de variaciones pequeñas sin un incremento considerable del volumen.

b) Velocidad –Densidad.-

Los factores de velocidad y densidad también se correlacionan dentro del comportamiento del tráfico y su relación entre estas es que cuanto más aumenta la densidad menor es la velocidad.

c) Volumen o Intensidad –Densidad.-

Al igual que en los otros factores fundamentales existe una relación directa de comportamiento de tráfico entre el cual el volumen y la densidad cambiando a la forma opuesta en la zona inestable.

1.4. OTROS PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS DEL TRÁFICO

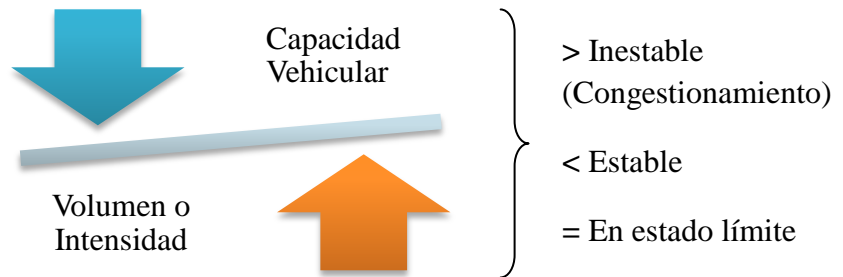
1.4.1. Capacidad y nivel de servicio.-

CAPACIDAD VIAL

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pag. 326)

Se define como capacidad a una sección de carretera como el máximo número de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar dicha sección durante un determinado período de tiempo normalmente de una hora para unas condiciones particulares de la vía y del tráfico. Dicho de otra forma, es la máxima intensidad capaz de albergar una vía sin colapsarse.

$$Capacidad = \frac{Cantidad \cdot maxima \cdot de \cdot vehiculos}{tiempo} \left(\frac{veh}{hr} \right)$$



Para determinar la capacidad de un sistema vial, rural o urbano, no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones físicas y de operación.

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

NIVEL DE SERVICIO

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 328)

El concepto de nivel de servicio se utiliza para evaluar la calidad del flujo. Es “una medida cualitativa que descubre las condiciones de operación de un flujo de vehículos y/o personas, y de su percepción por los conductores o pasajeros”. Estas condiciones se describen en términos de factores como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones a la circulación, la comodidad, las conveniencias y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel del servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, etc. Entre los externos están las características fijas, tales como el ancho de los carriles, la distancia libre lateral, el ancho de cunetas, las pendientes, etc.

Para cada tipo de infraestructura se definen 6 niveles de servicio, para los cuales se disponen de procedimientos de análisis, se les otorga una letra desde la A hasta la F siendo el nivel de servicio (NS) A el que representa las mejores condiciones operativas, y el NS F, las peores.

Las condiciones de operación de estos niveles, para sistemas de flujo ininterrumpido son las siguientes:

~ *Nivel de Servicio A*

Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito.

El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, pasajero o peatón, es excelente.



~ *Nivel de Servicio B*

Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas, sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra en relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.



~ *Nivel de Servicio C*

Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.



~ *Nivel de Servicio D*

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.



~ *Nivel de Servicio E*

El funcionamiento está en el, o cerca del, límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a “ceder el paso”. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.



~ *Nivel de Servicio F*

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto o calzada, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.

Normalmente se acepta que el volumen de tránsito al que se puede dar servicio en las condiciones de parada y arranque del NS F es inferior que el posible al NS E; en consecuencia el flujo de servicio E es el valor que corresponde a la capacidad de la infraestructura.



1.4.2. Señalización.-

La señalización es otro parámetro dentro de la ingeniería de tráfico cuyo objetivo es que a través de señales se pueda ayudar al ordenamiento tanto en zonas urbanas como en carreteras.

Los dispositivos para regular el tráfico son los medios físicos que se emplean para indicar detalladamente a los usuarios de las vías públicas la forma correcta y segura de transitar por ellas a fin de evitar accidentes y demoras innecesarias. Entre las funciones de estos dispositivos se encuentran prevenir a conductores y peatones sobre peligros existentes y guiarlos en su recorrido por las vías; divulgar oportunamente disposiciones de las leyes y reglamentos de tráfico, así como dar a conocer restricciones específicas que se impongan a la circulación en una vía o en parte de la misma; y asignar alternativamente el derecho de paso a distintas corrientes vehiculares.

Los dispositivos que se usan para regular la circulación son las llamadas señales de tránsito, las marcas en las vías y sus inmediaciones, los semáforos y otros más.

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pag. 118)

1.4.2.1. Tipos de señalización.-

- a) Señalización horizontal
- b) Señalización vertical

a) SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

Son las indicaciones en forma de rayas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, dentro o adyacentes a las vías de circulación,

así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito e indicar la presencia de obstáculos, sin distraer la atención del conductor.

Por su uso, las marcas pueden estar sobre el pavimento, en las guarniciones para prohibición de estacionamiento, y en obstáculos adyacentes a la superficie de rodamiento.

Las marcas sobre el pavimento son todas las rayas como: central sencilla continua o discontinua, adicional continua para prohibir el rebase, central doble continua, separadoras de carriles, en las orillas de calzada, canalizadoras, de parada, para cruce de peatones, con espaciamiento logarítmico, y para estacionamiento. Estas marcas también incluyen los símbolos y letras para cruces de ferrocarril y usos de carriles.

Las marcas en obstáculos se usan para indicar la presencia de guarniciones, parapetos, aleros, pilas y estribos, postes, cabezales, defensas, muros de contención y árboles.

Los colores de las marcas serán blanco o amarillo, y en algún caso negro sin ser una norma, sirviendo solamente como guía para lograr un contraste en pavimentos de color claro.

TIPOS DE MARCAS

Existen 5 tipos de marcas y son las siguientes:

- Separación de carriles
- Separación de sentidos
- Línea de parada

- Cruce de peatones
- Línea de distancia de freno

Separación de carriles.- Línea segmentada de color blanco cuyo espesor es de 10 cm y longitud de 3 a 5 cm pero normalmente hay una relación entre la separación sobre la señal es igual a 0.60.

A mayor velocidad mayor separación en la señal.

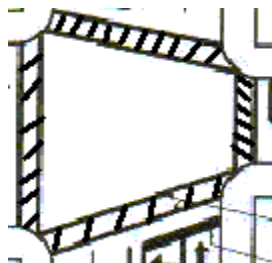
La señal blanca permite la circulación sobre la señal o cruzar sobre la señal.



Separación de sentidos.- La señal amarilla es restrictiva no permite cruzar de un carril a otro.



Cruce de peatones.- Más conocidos como líneas de cebras, éstas son de color blanco y el ancho son de 1.50 a 4 m.



Línea de parada.- Se ubica en la confluencia de las tangentes de los ocahves son de color blanco y su espesor es de 0.4 a 0.5 m.



Línea de distancia de frenado.- Son de color amarillo, en algunos casos coinciden con el eje de la vía su espesor es de 0.1 m.

b) SEÑALIZACIÓN VERTICAL

- 1.-Señales restrictivas
- 2.-Señales Preventivas
- 3.-Señales informativas

1.- SEÑALIZACIÓN RESTRICTIVAS

Las señales restrictivas, identificadas con el código SR, tienen como función expresar en la carretera o calle alguna fase del Reglamento de Tránsito, para su cumplimiento por parte del usuario. En general, tienden a restringir algún movimiento del mismo, recordándole la existencia de alguna prohibición o limitación reglamentada. Infringir las indicaciones de una señal restrictiva acarreará las sanciones previstas por las autoridades de tránsito.

Las señales restrictivas de acuerdo a su uso se clasifican en los siguientes grupos:

- De derecho de paso o de vía.
- De inspección.
- De velocidad máxima o mínima.
- De movimientos o circulación.

- De mandato por restricciones y prohibiciones.
- De estacionamiento.

Vistas transversales de señales restrictivas:



Significado de las señales restrictivas

SR-6 Alto

SR-7 Ceda el paso.

SR-8 Inspección.

SR-9 Velocidad máxima permitida.

SR-10 Vuelta continua hacia la derecha.

SR-11 Circulación.

SR-11A Circulación.

SR-12 Sólo vuelta hacia la izquierda.

SR-13 Conserve su derecha

SR-14 Doble circulación

SR-15 Altura libre máxima

SR-16 Anchura máxima

SR-17 Peso restringido

SR-18 Prohibido rebasar

SR-19 Parada prohibida

SR-20 No parar

SR-21 Estacionamiento permitido

- en un corto periodo
- SR-22 Prohibido estacionarse
- SR-23 Prohibida la vuelta a la derecha
- SR-24 Prohibida la vuelta a la izquierda
- SR-25 Prohibido el retorno
- SR-26 Prohibido seguir de frente
- SR-27 Prohibido el paso a bicicletas, vehículos pesados y motocicletas
- SR-28 Prohibido el paso de vehículos de tracción animal
- SR-29 Prohibido el paso de maquinaria pesada
- SR-30 Prohibido el paso de bicicletas
- SR-31 Prohibido el paso de peatones
- SR-32 Prohibido el paso de vehículos pesados
- SR-33 Prohibido el uso de señales acústicas

2.- SEÑALIZACIÓN PREVENTIVAS

Las señales preventivas, identificadas con el código SP, tienen como función dar al usuario un aviso anticipado para prevenirlo de la existencia, sobre o a un lado de la carretera o calle, de un peligro potencial y su naturaleza. Así se cumple con la Regla de Oro del Tránsito que dice: "que no deben existir cambios bruscos". La señal por sí misma debe provocar que el conductor adopte medidas de precaución, y llamar su atención hacia una reducción de su velocidad o a efectuar una maniobra con el interés de su propia seguridad o la de otro vehículo o peatón.

Las señales preventivas deberán instalarse siempre que una investigación o estudio de tránsito indique que existe una condición de peligro potencial. Las características que pueden justificar el uso de señales preventivas, son las siguientes:

- Cambios en el alineamiento horizontal y vertical por la presencia de curvas.
- Presencia de intersecciones con carreteras o calles, y pasos a nivel con vías de ferrocarril.
- Reducción o aumento del número de carriles y cambios de anchura del pavimento.
- Pendientes peligrosas.
- Proximidad de un cruce donde existe un semáforo o donde se debe hacer un alto.
- Pasos peatonales y cruces escolares.
- Condiciones deficientes en la superficie de la carretera o calle, como presencia de huecos y protuberancias.
- Presencia de derrumbes, grava suelta, etc.
- Aviso anticipado de dispositivos de control por obras de construcción.

La ubicación de las señales preventivas en sentido *longitudinal* será antes del riesgo que se trate de señalar, a una distancia que depende de la velocidad de aproximación. En sentido *lateral* las señales se fijarán en uno o dos postes colocados a un lado del acotamiento en carreteras o sobre la banqueta en calles, a las distancias y alturas que se especifican en la figura.



Significado de las señales preventivas

SP-6	Curva	SP-20	Estrechamiento simétrico
SP-7	Codo	SP-21	Estrechamiento asimétrico
SP-8	Curva inversa	SP-22	Puente móvil
SP-9	Codo inverso	SP-23	Puente angosto
SP-10	Camino sinuoso		
SP-11	Cruce de caminos	SP-24	Anchura libre
SP-12	Entronque en T	SP-25	Altura libre
SP-13	Entronque en delta	SP-26	Vado
SP-14	Entronque lateral oblicuo	SP-27	Termina pavimento
SP-15	Entronque en Y	SP-28	Superficie derrapante
SP-16	Glorieta	SP-29	Pendiente peligrosa
SP-17	Incorporación de tránsito	SP-30	Zona de derrumbes
SP-18	Doble circulación	SP-31	SP-6Alto próximo
SP-19	Salida	SP-32	Peatones

SP-33 Escolares

SP-36 Semáforo

SP-34 Ganado

SP-37 Camino dividido

SP-35 Cruce de ferrocarril

SP-38 Ciclistas

SP-35 Maquinaria agrícola

SP-39 Grava suelta

3.- SEÑALES INFORMATIVAS

Las *señales informativas*, identificadas con el código SI, tienen como *función* guiar al usuario a lo largo de su itinerario por calles y carreteras e informarle sobre nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés, servicios, kilometrajes y ciertas recomendaciones que conviene observar.

Las señales informativas, de acuerdo a la información que den, se clasifican en:

- De identificación (SR).
- De destino (SID).
- De recomendación (SIR) e información general (SIG).
- De servicios y turísticas, de servicios (SIS) y turísticas (SIT).

Señales informativas de identificación

Identificadas con el código SR, tienen *como función identificar* las calles según su nombre y nomenclatura, y las carreteras según su número de ruta y/o kilometraje.

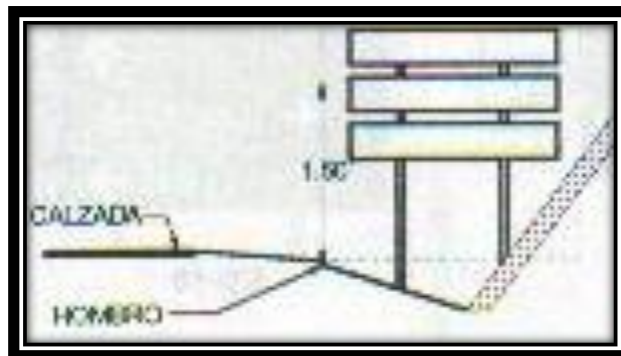
En la figura se ilustran las señales informativas de identificación y su ubicación general.



Señales informativas de destino

Identificadas con el código SID, tienen *como función informar* a los usuarios sobre el nombre y la ubicación de cada uno de los destinos que se presentan a lo largo de su recorrido.

La figura ilustra los diferentes tipos de señales informativas de destino, y muestra su ubicación lateral y altura.



Señales informativas de recomendación

Identificadas con el código SIR, tienen *como función recordar* a los usuarios determinadas recomendaciones o disposiciones de seguridad que conviene observar durante su recorrido por calles y carreteras.

Señales de información general

Identificadas con el código SIG, tienen como función proporcionar a los usuarios, información general de carácter poblacional y geográfico, así como indicar nombres de obras importantes en la carretera, límites políticos, ubicación de casetas de cobro, puntos de inspección y sentidos de circulación del tránsito.

En la figura se ilustran las señales informativas de recomendación e información general.



Señales informativas de servicios y turísticas

Identificadas con los códigos SIS y SIT, tienen como función informar a los usuarios la existencia de un servicio o de un lugar de interés turístico y/o recreativo.

En la figura se ilustran las señales informativas de servicios y turísticas.



Significado de las señales informativas de servicios y turísticas

Aeropuerto	Chalana
Alberque	Depósito de basura
Área recreativa	Estacionamiento
Auxilio turístico	Estacionamiento para casas rodantes
Campamento	Estación de ferrocarril
Gasolinera	Teleférico
Helipuerto	Teléfono
Hotel o motel	Transbordador
Información	Acueducto
Metro	Artesanías
Mecánico	Balneario
Médico	Cascada
Muelle	Gruta
Parada de autobuses	Lago o laguna
Parada de tranvía	Monumento colonial
Parada de trolebús	Parque nacional
Restaurante	Playa
Sanitarios	
Taxi	

CAPÍTULO II

ANÁLISIS Y PROYECCIÓN DE VOLÚMENES DE TRÁFICO

2.1.GENERALIDADES

Al igual que muchos sistemas dinámicos, los medios físicos y estáticos del tránsito, tales como carreteras, calles, intersecciones, terminales, etc., están sujetos a ser cargados por volúmenes de tránsito, con características espaciales y temporales, es decir ocupan espacio y se producen en un intervalo de tiempo. Estas distribuciones son interpretadas como la necesidad de las personas de desplazarse a través de un espacio y en un determinado tiempo.

Al proyectar una calle, avenida, paso peatonal o similar, es de suma importancia determinar el volumen de tránsito que circulará por el servicio proyectado, a lo que se suma la variación, tasa de crecimiento y de su composición, errores durante esta fase llevan a que el proyecto sirva por escaso tiempo, o que no sea la solución buscada. En la actualidad nuestro país a sufrido de este mal, basados en proyectos hechos al azar.

El punto de partida inicial, para análisis de tránsito es el conteo de vehículos, mismos que entregan los siguientes datos:

- Volumen
- Tasa de Flujo
- Capacidad

Estos 3 parámetros están relacionados estrechamente, sin embargo cada uno representa un distinto factor.

El volumen expresa el número de vehículos que circulan por un punto en un intervalo de tiempo.

La tasa de flujo es la frecuencia a la cual los vehículos, durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente.

La capacidad es el número máximo de vehículos que el sistema puede servir durante un tiempo específico, en un punto determinado. Es una característica del sistema vial y representa su oferta. La capacidad tiene dos formas de medirse, una que es la estimada, o proyectada, y que se tendrá en un proyecto nuevo, en el que aún no ha sido usado el sistema en su máxima capacidad, y la capacidad real, que es el valor exacto cuando el sistema está trabajando al límite.

Éstos términos resultan algo confusos a primera vista, pero en su conjunto forman una dinámica de tráfico, que define a la cantidad de vehículos que esperan ser servidos (demanda), distintos de los que son servidos (volumen) y de los que pueden ser servidos (capacidad), con esto se determina que cuando la demanda es menor a la capacidad, el volumen es igual a la demanda, sin embargo esto no sucede en puntos en donde se tiene un problema.

Estos son los principales parámetros para el estudio de tránsito, a continuación se analizarán detenidamente cada uno de ellos.

2.2.VOLUMEN DE TRÁFICO

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 152)

Se define como volumen de tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado. Se expresa como:

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

Donde:

Q = Vehículos que pasan por una unidad de tiempo (vehiculos / hora)

N = número total de vehículos que pasan (vehiculos)

T = periodo determinado (unidad de tiempo)

2.2.1. Tipos de volúmenes de tráfico.-

❖ Volúmenes de tránsito absoluto o total.-

Es el número total de vehículos que pasan durante el lapso de tiempo determinado. Dependiendo de la duración del lapso de tiempo determinado, se tienen los siguientes volúmenes de tránsito absolutos o totales:

Tránsito anual (TA).-Es el número total de vehículos que pasan durante un año. En este caso, $T = 1$ año.

Tránsito mensual (TM).- Es el número total de vehículos que pasan durante un mes. En este caso, $T = 1$ mes.

Tránsito semanal (TS).- Es el número total de vehículos que pasan durante una semana. En este caso, $T = 1$ semana.

Tránsito diario (TD).- Es el número total de vehículos que pasan durante un día. En este caso, $T = 1$ día.

Tránsito horario (TH).- Es el número total de vehículos que pasan durante una hora. En este caso, $T=1$ hora.

Tasa de flojo o flujo (q).- Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora. En este caso, $T < 1$ hora.

❖ Volúmenes de tránsito promedio diario.-

Dentro de los volúmenes de tráfico considerando que el concepto general es de la relación de número de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera o

calle en un periodo de tiempo, si ese periodo de tiempo es de un día o 24 horas el volumen determinado recibe el nombre de Tránsito Diario, si ese conteo o aforo es realizado por varios días el valor promedio es conocido como Tránsito Promedio Diario. Normalmente se estipula que un estudio de volúmenes de tráfico completo debe tener un tiempo de duración de registro de un año, por lo tanto los valores de Tránsito Diario que se obtengan serán de Tránsito Promedio Diario Anual. En la práctica sólo instituciones públicas pueden tener registros permanentes, para proyectos específicos los estudios que se realizan son en periodos cortos siendo significativo por lo menos de 3 meses de registro con mayor intensidad de horas registradas.

De acuerdo al número de días de periodo, se presentan los siguientes volúmenes de transito promedio diarios, dados en vehículos por día:

1. **Tránsito promedio diario anual (TPDA)** $TPDA = \frac{TA}{365}$
2. **Tránsito promedio diario mensual (TPDM)** $TPDM = \frac{TM}{30}$
3. **Tránsito promedio diario semanal (TPDS)** $TPDS = \frac{TS}{7}$

❖ **Volúmenes de tránsito horarios**

Los volúmenes horarios a diferencia de los volúmenes diarios dentro de los estudios de ingeniería de tráfico son más significativos porque nos muestran las características de circulación en cuanto al número de vehículos en cada hora correspondiente a un día y en todo el transcurso de un año eso permite trabajar estadísticamente y formar polígonos de frecuencia, histogramas, determinar horas pico, determinar variaciones horarias, etc.

Si bien es más importante tener información del tráfico horario, también es cierto que resulta más costoso obtener esta información debiendo tenerse mayor personal, mayores puntos de aforo y por lo tanto un mayor costo.

Cuando no es posible tener información sobre el Tránsito Promedio Horario se puede utilizar la relación establecida por la AASTHO y por la AIPCR organismos que han estudiado el efecto del volumen del tráfico quienes establecen la sgte. relación:

$$\text{TPH} = (12\% - 15\%) \text{TPD}$$

Con base en la hora seleccionada, se definen los siguientes volúmenes de tránsito horarios, dados en vehículos por hora:

Volumen horario de máxima demanda (VHMD).- Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular.

Volumen horario de proyecto (VHP).- Es el volumen de tránsito horario que servirá para determinar las características geométricas de la vialidad.

2.2.2. Procedimiento de aforos.-

(Según el autor: Kraemer Heilperno Carlos Sánchez. pág. 112)

Para realizar los voumenes de tráfico se tienen dos tipos de procedimientos que son:

- ~ Procedimiento manual
- ~ Procedimiento automatico

❖ **Procedimiento manual.-**

Para lograr los resultados del volumen de tráfico que pasa por una sección, vía urbana o carretera por el procedimiento manual se debe seguir el siguiente proceso:

1. Se determina los puntos de aforo.
2. Se determina las horas de aforo
3. Se determina el tipo de composición para aforar.
4. Se realiza el proceso de aforo.

❖ **Procedimiento automático.-**

Los métodos automáticos para el conteo de volúmenes de tráfico son aquellos que utilizan elementos eléctricos electromagnéticos, ondas de frecuencia o rayos láser para realizar conteos de paso de vehículos en las vías urbanas o carreteras.

Los primeros que aparecieron para el conteo automático fueron los eléctricos que estaban formados por una membrana que cruzaba transversalmente la vía dentro de la cual se colocaba el cable eléctrico que con el paso del vehículo originaba un pulso eléctrico y este pulso eléctrico daba origen a un contador que registraba la cantidad de pulsos eléctricos, la ventaja de este sistema es el conteo automático, la desventaja es que no puede diferenciar el tipo de vehículos en el número de ejes que tiene el vehículo por lo que puede haber una distinción del valor registrado.

Otra forma automática de contabilizar el volumen de tráfico es a través de bucles electromagnéticos que genera un campo electromagnético cuyo paso de cada vehículo por ese campo electromagnético genera un registro en el contador.

Otros métodos automáticos como ser las ondas eléctricas, electromagnéticas o rayos láser están siendo utilizadas en países desarrollados colocando sensores en los diferentes puntos de aforo de manera que contabilice el paso del vehículo que

además es registrado por una cámara de video para visualizar y clasificar el vehículo tanto por su número de ejes, tipo de vehículo y categoría de público o privado, todo este registro es centralizado en un centro de cómputo cuyo objetivo es mantener el historial diario y horario del tráfico.

2.2.3. Uso de los volúmenes de tráfico.-

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 159)

Los volúmenes de tránsito son comúnmente utilizados en cualquiera de los casos que a continuación se describen:

Proyecto:

- Aplicación a normas de proyectos geométricos.
- Requerimientos de nuevas carreteras.
- Análisis estructural de superficies de rodamiento.
- Análisis de capacidad y niveles de servicio.
- Caracterización de flujos vehiculares
- Zonificación de velocidades
- Estudio de estacionamientos

2.2.4. Características de los volúmenes de tráfico.-

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 161)

Los volúmenes de tráfico siempre deben considerarse dinámicos, por lo que son únicamente válidos en el periodo de tiempo durante el cual se tomó la muestra, debido a que sus variaciones son generalmente periódicas, es importante tener un conocimiento de sus características, para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo.

Es fundamental, en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año.

2.2.4.1. Distribución y composición del volumen de tráfico.-

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 162)

La distribución de los volúmenes de tráfico por carriles debe ser considerado tanto en planeación como en la circulación en calles y carreteras. Cuando se tiene más de un carril, es recomendable realizar las mediciones dando mayor importancia al carril del medio, ya que es en él, por donde circula estadísticamente de forma más fluida el tránsito.

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

- En vías urbanas de 3 o 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 lento.
- 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.

2.2.5. Variación del volumen de tráfico.-

VARIACIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 163)

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tráfico dentro de una misma hora de máxima demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo periodo máximo. En cualquiera de estos casos, es importante conocer la variación del volumen dentro de las horas de máxima demanda y cuantificar la duración de los flujos máximos, para así realizar la planeación de los controles del tránsito para estos periodos durante el día, tales como prohibición de estacionamientos, prohibición de ciertos movimientos de vuelta y disposición de los tiempos de los semáforos.

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que el flujo sea constante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo muchos mayores a las de la hora misma. Para la hora de máxima demanda, se llama factor de la hora de máxima demanda, FHMD, a la relación entre el volumen horario de máxima demanda, VHMD, y el flujo máximo, $q_{m\acute{a}x}$, que se presenta durante un periodo dado dentro de dicha hora. Matemáticamente se expresa como:

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

Donde:

N = número de periodos durante la hora de máxima demanda

Los periodos dentro de la hora de máxima demanda pueden ser de 5, 10 o 15 minutos, utilizándose este último con mayor frecuencia, en cuyo caso el factor de la hora de máxima demanda es:

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

Para periodos de 5 minutos, el factor de la hora de máxima demanda es:

$$FHMD = \frac{VHMD}{12(q_{max})}$$

El factor de la hora de máxima demanda es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos. Indica la forma como están distribuidos los flujos máximos dentro de la hora. Su mayor valor es la unidad, lo que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos durante toda la hora. Valores bastantes menores que la unidad indican concentraciones de flujos máximos en periodos cortos dentro de la hora.

❖ Variación horaria del volumen de tráfico.-

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 166)

Las variaciones de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, dependen del tipo de ruta, según las actividades del sector, puesto que hay rutas de tipo turístico, agrícola, comercial, etc.

En zonas agrícolas las variaciones horarias dentro de la época de cosecha son críticas, puede ser que en ciertas horas de la noche no haya absolutamente un vehículo y sin embargo a determinadas horas del día hay una cantidad de vehículos que pueden llegar a saturar una carretera de dos carriles. En el caso de una carretera de tipo turístico, durante los días de la semana existe un tránsito más o menos normal a lo largo de todas las horas, pero los sábados y domingos pueden llegar a volúmenes altos, concentrándose varias horas del día con demandas máximas. Continuando con este ejemplo se puede suponer al día sábado, de las 8 de la mañana a las 11 o 12 el volumen horario es muy grande, en la tarde baja y en la noche es bastante pequeño.

El domingo, en la mañana presenta volúmenes horarios medianos, y en la tarde máximos, en las horas de regreso a la ciudad, ocurriendo largas filas de automóviles. Son variaciones horarias que ocurren en cualquier parte del mundo, que se pueden prever mediante los estudios necesarios.

En las ciudades se tiene una variación típica de la siguiente manera, la madrugada empieza con bajo volumen de vehículos, el cual se va incrementando hasta alcanzar las cifras máximas entre las 7:30 y las 9:30 horas. De las 9:30 a las 13:00 horas vuelve a bajar y empieza a ascender para llegar a otro máximo entre las 13:00 y 14:00 horas.

Vuelve de nuevo a disminuir entre las 14:00 y 17:00 horas, en que asciende a un máximo por tercera vez entre las 17:00 y las 20:00 horas. De esta hora en adelante tiende a bajar al mínimo en la madrugada.

En zonas urbanas, para el caso de intersecciones, se acostumbra a tomar los datos de volúmenes de tránsito según sus movimientos direccionales.

❖ **Variación diaria del volumen de tráfico.-**

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 168)

Al igual que durante el día existen variaciones respecto al horario y las actividades normales del sector analizado, así también ocurren variaciones de un día respecto de otro, para las carreteras principales de lunes a viernes los volúmenes son muy estables, los máximos, generalmente se registran durante el fin de semana ya sea el sábado o el domingo, debido a que durante estos días, por estas vías circula una demanda de usuarios de tipo turístico. En carreteras secundarias de tipo agrícola, los máximos volúmenes se presentan entre semana, considerando días especiales por salida de productos a ferias u otros. En las calles de la ciudad, la variación de los

volúmenes de tránsito diario no es muy pronunciada entre semana, esto es, están más o menos distribuidos en los días laborables.

También vale la pena mencionar, con referencia a la variación diaria de los volúmenes de tránsito tanto nivel urbano como rural, que se presentan máximos aquellos días de eventos especiales como Navidad, Semana Santa, fin de año, competencias deportivas nacionales e internacionales, etc.

❖ **Variación mensual del volumen de tráfico.-**

(Según el autor: Cal y Mayor, Rafael Cárdenas g., James pág. 175)

Hay meses que las calles y carreteras llevan mayores volúmenes que otros, presentando variaciones notables. Los más altos volúmenes de tránsito se registran en Semana Santa, en las vacaciones escolares y a fin de año por las fiestas y vacaciones navideñas del mes de diciembre. Por esta razón los volúmenes de tránsito promedio diarios que caracterizan cada mes son diferentes, dependiendo también, de la categoría y del tipo de servicio que presten las calles y carreteras. Sin embargo, el patrón de variación de cualquier vialidad no cambia grandemente de año a año, a menos que ocurran cambios importantes en su diseño, en los usos de la tierra, o construyan nuevas calles o carreteras que funcionen como alternas.

2.3.MÉTODOS PARA DETERMINAR LOS VOLÚMENES DE TRÁFICO FUTURO

Los métodos que se analizarán son los siguientes:

2.3.1. Método de la tasa de crecimiento.-

(Según el autor: Ing. Sergio Oscar Raño pág. 17)

Para la determinación del tránsito futuro se utiliza la siguiente expresión:

$$TMDAn = TMDAo * (1 + i)^{(n-1)}$$

Donde:

TMDAn: Es el tránsito medio diario anual proyectado

TMDAo: Es el tránsito medio diario anual inicial

i: Es la tasa de crecimiento

n: Es el año de análisis

2.3.2. Métodos econométricos (regresiones lineales).-

(Según el autor: Alfredo Baronio-Ana Vianco pág. 125)

Diccionarios especializados definen econometría como “la aplicación de técnicas matemáticas y estadísticas a la economía en el estudio de problemas, análisis de datos, el desarrollo y la prueba de teorías y modelos.”

En efecto, cuando un economista plantea un determinado modelo en el cual existe una variable dependiente de otras variables explicativas a través de una determinada especificación funcional, esta es susceptible de ser estimada con datos de la realidad. En casos simples, el modelo no requiere estar especificado demasiado formalmente, pues en muchos casos es aceptada cierta relación entre variables. Esto es en breve lo que se entiende por econometría.

Los tres principales usos de la econometría son:

- 1) Medición de Parámetros (estimación de modelos)
- 2) Prueba de Hipótesis
- 3) Predicción o Proyección.

El análisis de regresión estudia la relación de dependencia de una variable dependiente en una o más variables explicativas, con el objetivo de estimar y/o predecir resultados promedio o poblacionales de la primera, en términos de valores conocidos o fijos (en muestras repetidas) de las últimas. El aspecto común de todos los modelos de regresión es entonces la existencia de variables dependientes (Y) que son explicadas por una serie de variables independientes (X's).

Los modelos econométricos pueden ser lineales o no lineales en los parámetros. Son lineales cuando la variable explicada (dependiente) puede ser escrita como una combinación lineal de las variables explicativas (independientes). Se trabajara solamente con modelos lineales.

Ejemplo: Modelo Lineal:

$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$, es un modelo lineal en los parámetros. Los parámetros a estimar o incógnitas son los coeficientes β , mientras que las variables explicativas son X e Y rezagada. La variable explicada o endógena es Y.

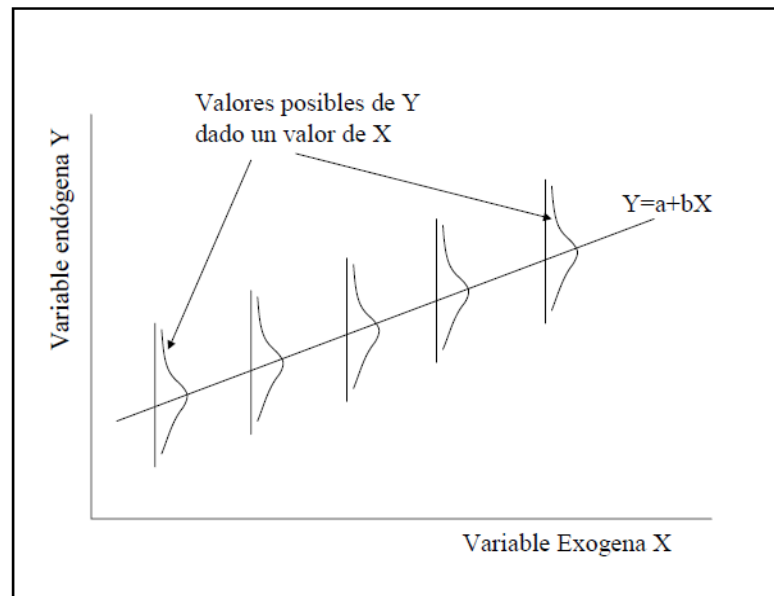
El objetivo del método es determinar el mejor ajuste a la línea, lo que implica estimar el intercepto y la pendiente de la recta de mejor ajuste a los puntos de la grafica.

Se busca que no exista una desviación o error entre cada valor observado de Y y cada valor predicho por la recta (\hat{Y}), entonces el mejor ajuste será el que minimice tales errores.

Puesto que habrá errores positivos y negativos, una posibilidad es encontrar la recta óptima (es decir el parámetro de intercepto y pendiente) minimizando la suma

cuadrada de los errores, procedimiento llamado Mínimos Cuadrados Ordinarios. Estos parámetros de intercepto y pendiente son llamados también parámetros de posición.

Es conveniente suponer que Y es una variable aleatoria, es decir las observaciones de Y son sucesos observados en un experimento, y que éstos tienen alguna distribución como se muestra a continuación.



Los mínimos cuadrados permiten ajustar una línea recta de la forma:

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X_i$$

De modo que los valores que se calculen para los dos coeficientes cumplan con el siguiente requisito: minimizar la suma de las diferencias al cuadrado entre cada valor observado en los datos y cada valor estimado a lo largo de la línea de tendencia, es decir:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \text{minimo}$$

Para obtener la recta estimada se calcula la pendiente y la intercepción con:

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)}{n}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n}} = \frac{\Sigma(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\Sigma(X - \bar{X})^2}$$

$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta}\bar{X}$$

Y dado que:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \qquad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde:

α : Intersección de la recta

β : Pendiente de la recta

Al trabajar con datos de una serie de tiempo deben codificarse los valores de X_i asignándole códigos crecientes de enteros: 1, 2, 3, 4, ..., n.

Para ajustar la línea de tendencia a los años observados de la serie, solo se substituyen los valores codificados correspondientes a X_i , en la ecuación.

2.3.3. Series temporales (Holt-Winter).-

(Según el autor: Alfredo Baronio-Ana Vianco pág. 155)

Una serie temporal es una secuencia de N observaciones ordenadas y equidistantes cronológicamente. Un modelo que tiene en cuenta la tendencia, en términos lineales, es el de Holt-Winter.

El modelo de Holt-Winter es una ampliación perfeccionada del alisamiento exponencial, pues al incorporar la tendencia general de crecimiento o de decrecimiento permite estimaciones a medio y largo plazo, superando así las restricciones que mostraban tanto las medias móviles como el suavizamiento

exponencial. Por tanto, este método es especialmente aconsejable cuando la serie histórica muestre cierta tendencia a crecer o decrecer.

Para usar este método, en un momento i es necesario estimar el valor de la serie suavizada (e_i) y el valor de la tendencia (T_i) de acuerdo con las siguientes formulas:

$$e = \alpha * (e_{i-1} + T_{i-1}) + (1 - \alpha) * Y_i$$

Donde T es un factor de variación definido a partir de otra nueva constante de alisado para la tendencia, β :

$$T = \beta * T_{i-1} + (1 - \beta) * (e_i - e_{i-1})$$

De forma que la ecuación de predicción adoptaría la forma:

$$VTPDA = e_n + T_n * n$$

Donde:

e_i : Representa el nivel de la serie suavizada en el periodo i

T : Representa el valor de la componente de tendencia para el periodo i

Y_i : Representa el valor observado de la serie en el periodo i

α y β : Son constantes de suavización subjetivamente asignadas y comprendidas entre cero y uno.

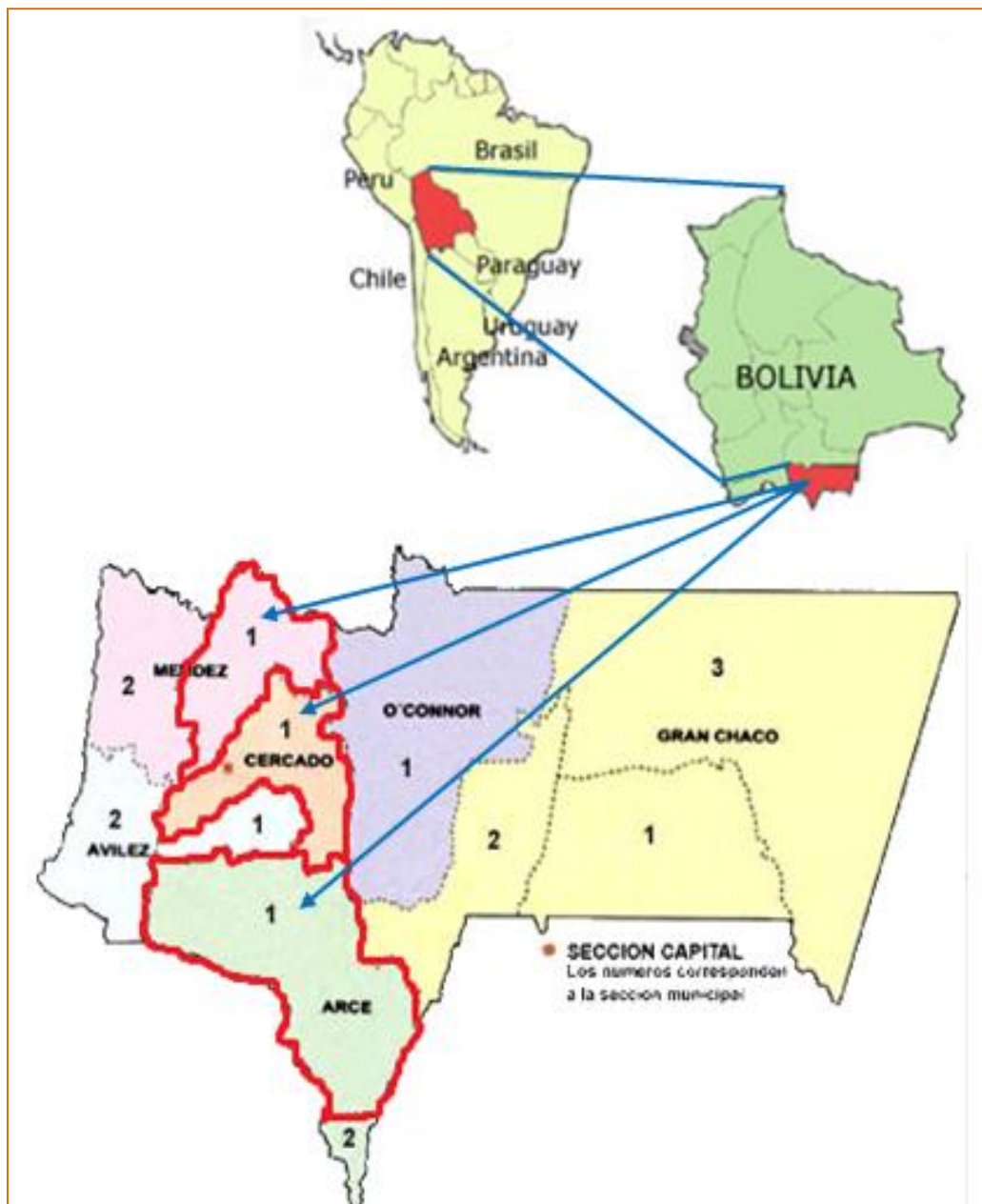
Para comenzar los cálculos se establece que $e_2 = Y_2$; y, además que $T_2 = Y_2 - Y_1$, posteriormente se eligen los valores de α y β .

Para que el pronóstico sea el mejor posible, los valores de α y β deberían ser los óptimos. Para esto un requerimiento importante es que α y β sean bastante menores que uno. En particular es recomendable que α no exceda de 0,60 aproximadamente.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.-



El estudio es realizado en tres tramos de carreteras de la red Fundamental del departamento de Tarija, estos son:

TRAMO 1: (Cruce Panamericano - Padcaya), este tramo está ubicado en el departamento de Tarija entre la provincia Cercado donde inicia en el Cruce Panamericano con las siguientes coordenadas: 21°31'54''S 64°43'52''O elevación 1874 m.s.n.m. y la provincia Aniceto Arce, finalizando en Padcaya con las siguientes coordenadas: 21°53'14''S 64°42'46''O elevación 2041 m.s.n.m.

Este tramo forma parte de una de las carreteras más importantes del departamento de Tarija como acceso y salida hacia el norte del país.

TRAMO 2: (Tarija - Puerta Al Chaco), este tramo está ubicado en el departamento de Tarija en la provincia Cercado, donde inicia en la ciudad de Tarija con las siguientes coordenadas: 21°31'54''S 64°43'52''O elevación 1874 m.s.n.m. y finaliza en la Puerta al Chaco con las siguientes coordenadas: 21°33'58.98''S 64°40'11,94''O elevación 1873 m.s.n.m.

Este tramo forma parte de una de las carreteras más importantes del departamento de Tarija como acceso y salida hacia el este del departamento como ser a Yacuiba, Villamontes, etc.

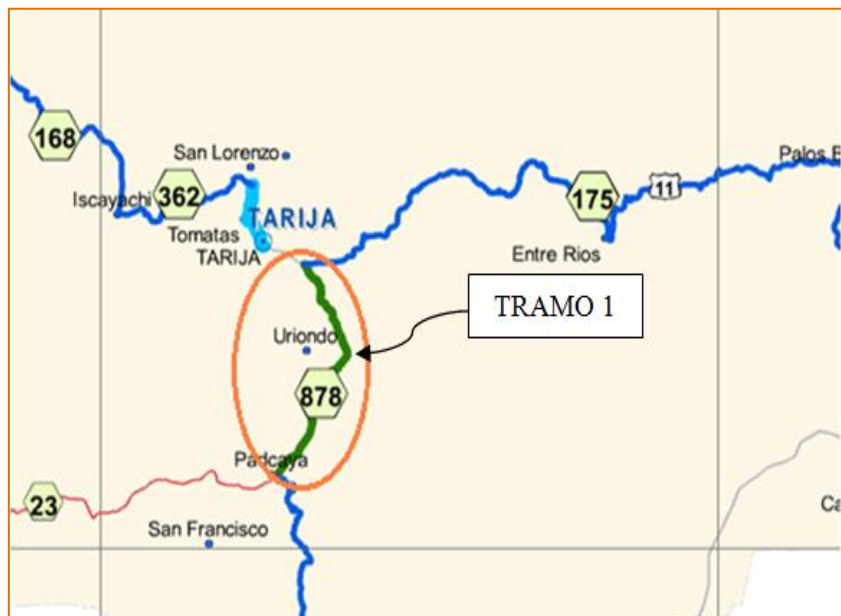
TRAMO 3: (Tarija – San Lorenzo), este tramo está ubicado en el departamento de Tarija entre la provincia Cercado donde inicia en la ciudad de Tarija con las siguientes coordenadas: 21°31'54''S 64°43'52''O elevación 1874 m.s.n.m. y la provincia Méndez donde finaliza en San Lorenzo con las siguientes coordenadas: 21°26'41,29''S 64°45'15,92''O elevación 1876 m.s.n.m.

Este tramo forma parte de una de las carreteras más importantes del departamento de Tarija como acceso y salida hacia el sur del departamento como ser a Bermejo y también como ruta internacional hacia el país de Argentina.

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.-

Dentro del área que comprende todo el estudio, se distinguirán tres sub-áreas con distintas características, donde se tomarán los siguientes tramos para el correspondiente estudio:

Las actuaciones previstas con carácter general, en las sub-áreas definidas, se resumen en: Tramo Cruce Panamericano-Padcaya con coordenadas mencionadas anteriormente, con sentidos de circulación del tráfico vehicular de acceso y salida de la ciudad de Tarija. En este tramo el aforo se realiza en Calamuchita con coordenadas: $21^{\circ}42'27,44''\text{S}$ $64^{\circ}36'15,34''\text{O}$ es un punto intermedio del tramo.





Tramo Tarija-Puerta El Chaco con coordenadas mencionadas anteriormente, con sentidos de circulación del tráfico vehicular de acceso y salida de la ciudad de Tarija. En este tramo el aforo se realiza en El Portillo con coordenadas: $21^{\circ}33'58,98''S$ $64^{\circ}40'11,94''O$ es un punto intermedio del tramo.





Tramo Tarija-San Lorenzo con coordenadas mencionadas anteriormente, con sentidos de circulación del tráfico vehicular de acceso y salida de la ciudad de Tarija. En este tramo el aforo se realiza en El Rancho con coordenadas: $21^{\circ}26'41,29''S$ $64^{\circ}45'15,92''O$ es un punto intermedio del tramo.





3.2.1. Datos históricos de tráfico en el área de estudio.-

Para la obtención de datos históricos del área de estudio, se necesitará de estudios de tráfico como ser volúmenes de tráfico diario anual de varios años de registro de todos los tramos en estudio.

ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS
GERENCIA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

ruta 01: DATOS HISTÓRICOS DEL TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) (En Vehículos)

TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL		AÑO					
TRAMO	Estación	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Tarija-San Lorenzo	310	1031	1190	1494	1399	1221	1049
Cruce Panamericano-Padcaya	316	220	165	168	193	228	713
Tarija-PuertA el Chaco	380	80	96	101	187	569	590

Fuente: PROVIAL (Microempresas en coordinación de la GCV - ABC)

TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL		AÑO			
TRAMO	Estación	2004	2005	2006	2007
Tarija-San Lorenzo	310	1097	1219	1317	1484
Cruce Panamericano-Padcaya	316	645	878	1039	1240
Tarija-PuertA el Chaco	380	587	636	689	789

Fuente: PROVIAL (Microempresas en coordinación de la GCV - ABC)

3.3. RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ESTUDIO.-

Para comenzar a realizar el estudio de volúmenes primero se tuvo que determinar las horas pico del tráfico vehicular en el lapso de un día, contando de forma manual para luego obtener la gráfica de volúmenes, esto se hizo para los tres tramos en estudio y se determinaron las horas pico, que para los tres tramos son 7:00 a 8:00, 12:00 a 13:00 y 18:00 a 19:00.

Para el TRAMO 1 (Cruce Panamericano-Padcaya) se realizó el aforo en la altura del cruce a Calamuchita.

TRAMO 1	
Tiempo (hrs)	N° de vehículos
7:00 - 8:00	344
8:00 - 9:00	219
9:00 - 10:00	178
10:00 - 11:00	179
11:00 - 12:00	204
12:00 - 13:00	253
13:00 - 14:00	197
14:00 - 15:00	203
15:00 - 16:00	168
16:00 - 17:00	182
17:00 - 18:00	189
18:00 - 19:00	264
19:00 - 20:00	220

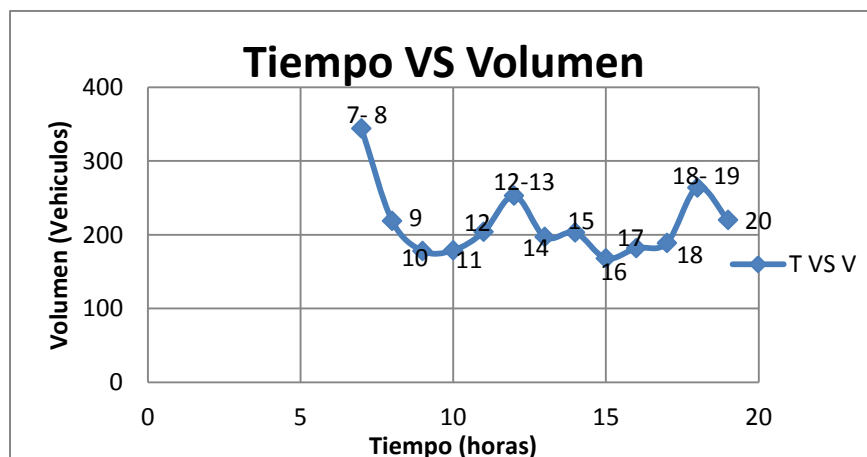


Gráfico Nro. 1

Para el TRAMO 2 (Tarija-Puerta el Chaco) se realizó el aforo en la altura del Portillo.

TRAMO 2	
Tiempo (hrs)	N° de vehículos
7:00 - 8:00	160
8:00 - 9:00	138
9:00 - 10:00	122
10:00 - 11:00	99
11:00 - 12:00	111
12:00 - 13:00	164
13:00 - 14:00	123
14:00 - 15:00	99
15:00 - 16:00	101
16:00 - 17:00	95
17:00 - 18:00	113
18:00 - 19:00	172
19:00 - 20:00	117

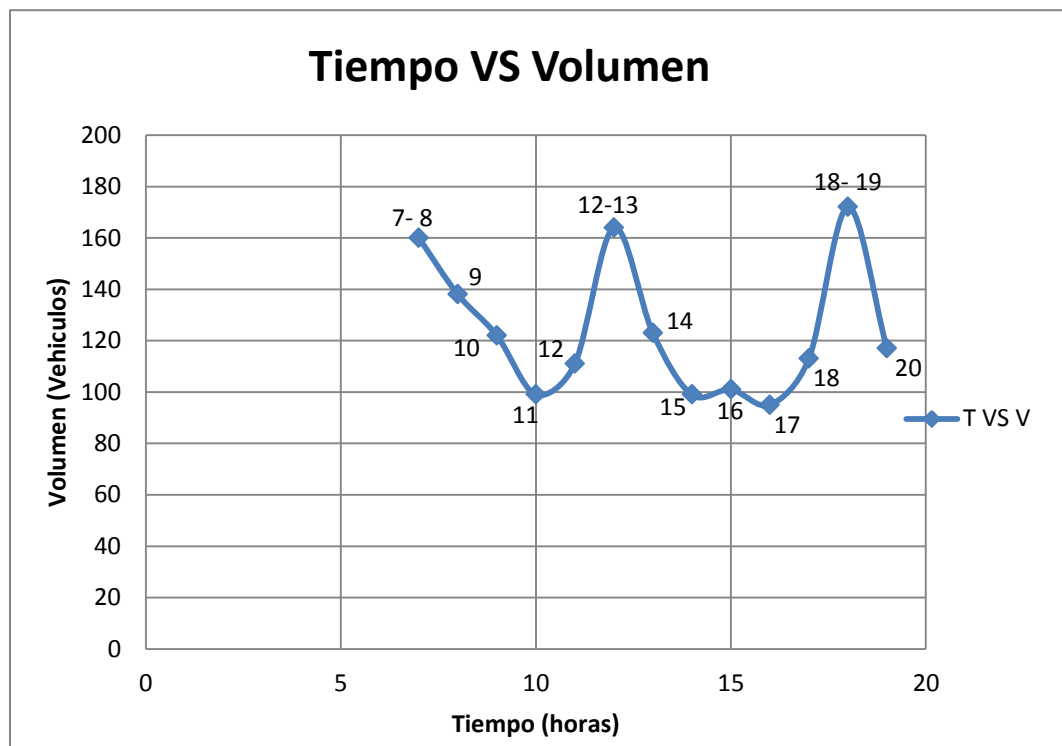


Gráfico Nro. 2

Para el TRAMO 3 (Tarija-San Lorenzo) se realizó el aforo en la altura de El Rancho.

TRAMO 3	
Tiempo (hrs)	N° de vehículos
7:00 - 8:00	293
8:00 - 9:00	217
9:00 - 10:00	211
10:00 - 11:00	199
11:00 - 12:00	195
12:00 - 13:00	223
13:00 - 14:00	178
14:00 - 15:00	197
15:00 - 16:00	190
16:00 - 17:00	170
17:00 - 18:00	213
18:00 - 19:00	254
19:00 - 20:00	215

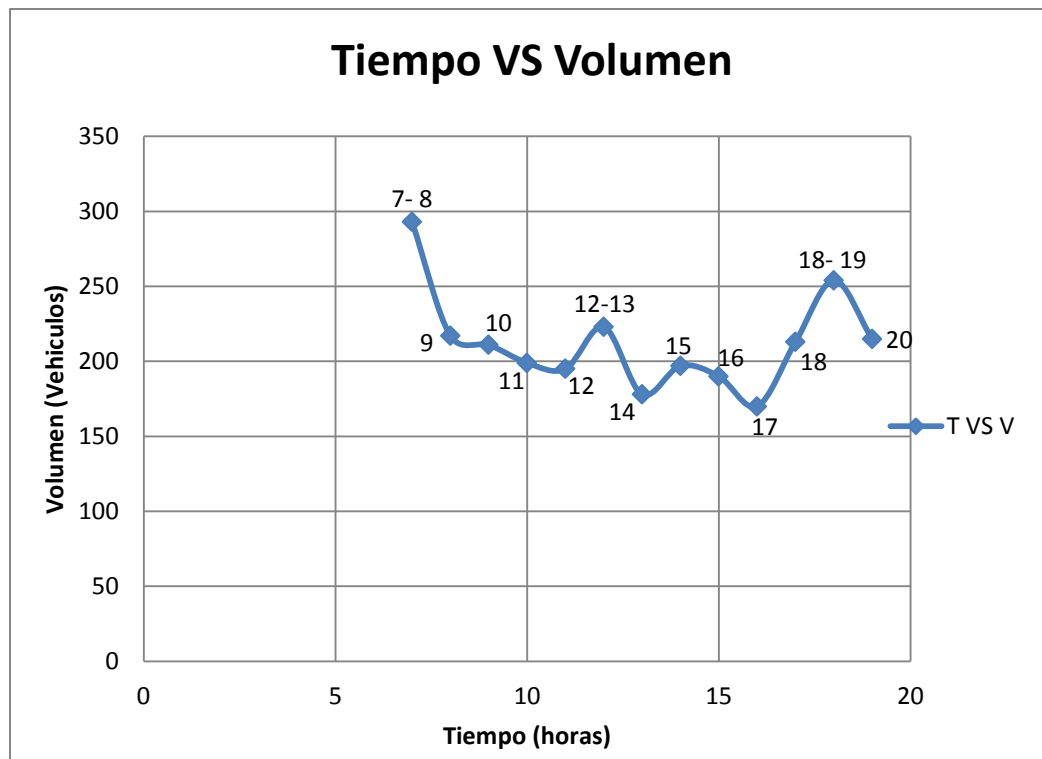


Gráfico Nro. 3

Una vez determinadas las horas pico se llevó a cabo el estudio de volúmenes de tráfico, mediante un conteo manual en el lapso de 15 días, esto se realizó para cada tramo en estudio.

3.3.1. Aforo manual de volúmenes tráfico.-

Para el procedimiento del aforo manual de los volúmenes de tránsito se determinó los puntos de aforo, a los cuales se les identificó como:

- Cruce Calamuchita: que está en el tramo Cruce Panamericano-Padcaya, en dicho tramo el conteo se hizo tomando en cuenta los dos sentidos del flujo vehicular, tanto de ida como de vuelta a la ciudad de Tarija.



- El Portillo: que está en el tramo Tarija-Puerta el Chaco, para el conteo se tomó en cuenta los dos sentidos de los vehículos, los que salen y los que ingresan a la ciudad de Tarija.



- El Rancho: que está en el tramo Tarija San Lorenzo, el conteo se hizo tomando en cuenta los dos sentidos del flujo vehicular, tanto de ida como de vuelta a la ciudad de Tarija.



Para realizar el aforo se categorizó al tráfico vehicular utilizando tablas, donde se los categoriza como livianos (Automóviles y vagonetas, Camionetas, Minibuses); buses (Microbuses, Bus mediano con dos ejes, Bus grande con dos o más ejes); camiones (Camión Mediano con dos ejes, Camión grande con dos ejes, Camión

grande con tres ejes) y otros (Camión semirremolque, Camión con remolque, Otros vehículos), esto se realizó en los tres tramos en estudio y en las diferentes horas pico ya determinadas con anterioridad.

3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS.-

Una vez obtenidas las tablas de volúmenes de aforos se obtuvo los volúmenes totales para todas las horas pico y de todos los días.

Para el procesamiento de datos del estudio se comenzó con los volúmenes totales de las horas pico, agrupándolos en días y horas.

3.4.1. Determinación del volumen de proyecto.-

Luego de tener los datos agrupados se procesó, comenzando con una depuración de datos usando la expresión siguiente:

Valores de K para distintos niveles de confiabilidad

Nivel de Confiabilidad (%)	K
89.6	1.5
90.0	1.64
95.0	1.96
96.0	2.0
98.1	2.5

$$TP = MEDIA \pm k * Desviacion$$

Ref. Apuntes de clase

Donde se tomó como K un valor de 2 para un nivel de confiabilidad del 96%.

Para la depuración de datos se los agrupó todos los volúmenes horarios a las mismas horas como ser 7:00 a 8:00 (tomando en cuenta todos los días de aforo); 12:00 a 13:00 y 18:00 a 19:00.

Se tomó en cuenta como límite superior la siguiente expresión.

$$TP = MEDIA + k * Desviacion$$

Y como límite inferior toma la siguiente expresión.

$$TP = MEDIA - k * Desviacion$$

$$MEDIA = \frac{\sum v}{n}$$

$$DESVIACION = \sqrt{\frac{\sum [f_i * (v_i - MEDIA)^2]}{n - 1}}$$

Luego de obtener los límites superior e inferior se depuró los datos que se encuentran fuera del rango establecido y se procedió a realizar la media para tomar ese valor como el volumen medio horario.

Tramo 1 (Cruce panamericano-Padcaya) Estación Calamuchita

HORA	VOLUMEN	
7:00 a 8:00	298	
12:00 a 13:00	263	
18:00 a 19:00	268	
MEDIA	276	veh / hora

Una vez obtenido el (*VTPH*), este volumen se transformó a (*VTPDA*)

Para realizar la transformación se utilizó la relación de volúmenes, establecida por la AASTHO y por la AIPCR organismos que han estudiado el efecto del volumen del tráfico quienes establecen dicha relación que está a continuación. Aunque esta relación se puede utilizar cuando no es posible tener información sobre el Tráfico

Promedio Horario, pero en este caso se tiene ese dato y lo que se encuentra es el tráfico promedio diario.

Las relaciones de TPD y TPH es aproximadamente la siguiente relación:

$$TPH = (12\% - 15\%)TPD$$

Despejando la ecuación tenemos:

$$TPH = (12\% - 15\%)TPD$$

$$TPD = \frac{TPH}{(12\% - 15\%)} \quad (\text{Adoptando el } 12\%)$$

El tráfico promedio diario es:

$$TPD = \frac{276}{12} * 100 = 2300 \quad (\text{veh/día})$$

Tramo 2 (Tarija-Puerta el Chaco) Estación el Portillo

HORA	VOLUMEN	
7:00 a 8:00	158	
12:00 a 13:00	157	
18:00 a 19:00	157	
MEDIA	157	Veh. / hora

Una vez obtenido el (*VTPH*), este volumen se transformó a (*VTPDA*)

Para realizar la transformación se utilizó la relación de volúmenes, establecida por la AASTHO y por la AIPCR organismos que han estudiado el efecto del volumen del tráfico quienes establecen dicha relación que está a continuación. Aunque esta

relación se puede utilizar cuando no es posible tener información sobre el Tráfico Promedio Horario, pero en este caso se tiene ese dato y lo que se encuentra es el tráfico promedio diario.

Las relaciones de TPD y TPH es aproximadamente la siguiente relación:

$$TPH = (12\% - 15\%)TPD$$

Despejando la ecuación tenemos:

$$TPH = (12\% - 15\%)TPD$$

$$TPD = \frac{TPH}{(12\% - 15\%)} \quad (\text{Adoptando el } 12\%)$$

El tráfico promedio diario es:

$$TPD = \frac{157}{12} * 100 = 1310 \quad (\text{veh/día})$$

Tramo 3 (Tarija-San Lorenzo) Estación el Rancho

HORA	VOLUMEN	
7:00 a 8:00	305	
12:00 a 13:00	240	
18:00 a 19:00	270	
MEDIA	272	veh / hora

Una vez obtenido el (*VTPH*), este volumen se transformó a (*VTPDA*)

Para realizar la transformación se utilizó la relación de volúmenes, establecida por la AASTHO y por la AIPCR organismos que han estudiado el efecto del volumen del tráfico quienes establecen dicha relación que está a continuación. Aunque esta relación se puede utilizar cuando no es posible tener información sobre el Tráfico Promedio Horario, pero en este caso se tiene ese dato y lo que se encuentra es el tráfico promedio diario.

Las relaciones de TPD y TPH es aproximadamente la siguiente relación:

$$TPH = (12\% - 15\%)TPD$$

Despejando la ecuación tenemos:

$$TPH = (12\% - 15\%)TPD$$

$$TPD = \frac{TPH}{(12\% - 15\%)} \quad (\text{Adoptando el } 12\%)$$

El trafico promedio diario es:

$$TPD = \frac{272}{12} * 100 = 2263 \quad (\text{veh/día})$$

3.4.2. Determinación del índice de crecimiento.-

Se determina el índice de crecimiento vehicular para la ciudad de Tarija tomando en cuenta tres indicadores debido a que no se cuenta con buena información sobre el tráfico vehicular y así poder obtener un índice de crecimiento con mayor seguridad, estos indicadores son: Parque automotor, Producto interno bruto por año y

departamento a precios básicos y PIB de transporte y almacenamiento por año y departamento a precios básicos.

Para cada indicador se determina el índice de crecimiento por cada año y de todos los años de registro, para sacar un índice de crecimiento promedio de cada indicador.

Posteriormente se determinó el índice de crecimiento promedio, de los índices de crecimientos promedios de cada indicador y con las fórmulas mencionadas anteriormente se determinó la desviación y media, para obtener el rango superior e inferior para realizar la depuración de datos, los cuales estuvieron dentro del rango establecido.

	ÍNDICE DE CRECIMIENTO (%)
PARQUE AUTOMOTOR	12,29
PRODUCTO INTERNO BRUTO	10,24
PIB DE TRANS. Y ALMC.	4,90
Media	9,14
Desviación	3,82
Med+2Desv (Rango Sup.)	16,78
Med-2Desv (Rango Inf.)	1,51

ÍNDICE DE CRECIMIENTO ADOP.	9,14	%
------------------------------------	------	---

3.5. APLICACIÓN DE MÉTODOS DE PROYECCIÓN DEL TRÁFICO

Por norma los proyectos viales tienen una vida útil de 20 años o más, en ese sentido se determina la proyección de volúmenes de tráfico para un periodo de 20 años para cada tramo, es decir desde el año 2014 hasta el año 2033.

Con el volumen de tráfico medio diario anual de cada tramo (datos históricos), se realiza la proyección del volumen de tráfico por diferentes métodos y para cada tramo.

3.5.1. Método de la tasa de crecimiento.-

La proyección del volumen de tráfico por este método se determina con el índice de crecimiento determinado con anterioridad en todos los tramos.

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE TRÁFICO PROYECTADO

Para la determinación del volumen de tráfico futuro se utiliza la siguiente expresión:

$$TMD_n = TMD_{A_0} * (1 + i)^{(n-1)}$$

Donde:

TMD_n: Es el tráfico medio diario anual proyectado

TMD_{A₀}: Es el tráfico medio diario anual inicial

i: Índice de crecimiento

n: Es el año de análisis

TRAMO 1 (CRUCE PANAMERICANO-PADCAYA) ESTACIÓN CALAMUCHITA

La proyección se realiza con el índice de crecimiento calculado anteriormente de 9,14%, y también para un índice de menos uno del índice real calculado 8,14% y con más uno del índice real calculado 10,14%, para ver cuanta variación hay en los resultados. Y la proyección se determina con el volumen de tráfico promedio diario anual del año 2007.

Para la proyección se inicia con $n=7$ (proyección que corresponde al año 2014) y no con $n=1$, debido a que primero se completó datos históricos para 6 años y la proyección termina con $n=26$ (proyección que corresponde al año 2033). Para un mejor entendimiento ver en anexo 4.

DATOS:

VTMDAo = 1240 (veh/día) (Año 2007)

Periodo de proyección = 20 (años)

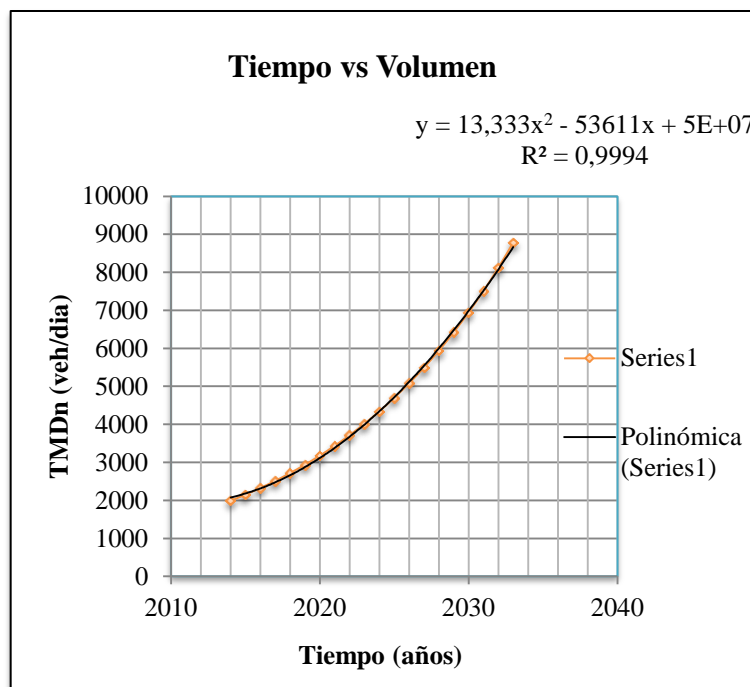
Proyección del volumen de tráfico para un índice de crecimiento de 8,14%

$$TMDn = TMDAo * (1 + i)^{(n-1)}$$

AÑO	TMDo (veh/día)	i (%)	TMDn (veh/día)
2014	1240	8,14	1983
2015	1240	8,14	2145
2016	1240	8,14	2319
2017	1240	8,14	2508
2018	1240	8,14	2712
2019	1240	8,14	2933
2020	1240	8,14	3171
2021	1240	8,14	3430

2022	1240	8,14	3709
2023	1240	8,14	4011
2024	1240	8,14	4337
2025	1240	8,14	4690
2026	1240	8,14	5072
2027	1240	8,14	5485
2028	1240	8,14	5931
2029	1240	8,14	6414
2030	1240	8,14	6936
2031	1240	8,14	7501
2032	1240	8,14	8111
2033	1240	8,14	8772

AÑO	TMDn (veh/día)
2014	1983
2015	2145
2016	2319
2017	2508
2018	2712
2019	2933
2020	3171
2021	3430
2022	3709
2023	4011
2024	4337
2025	4690
2026	5072
2027	5485
2028	5931
2029	6414
2030	6936
2031	7501
2032	8111
2033	8772



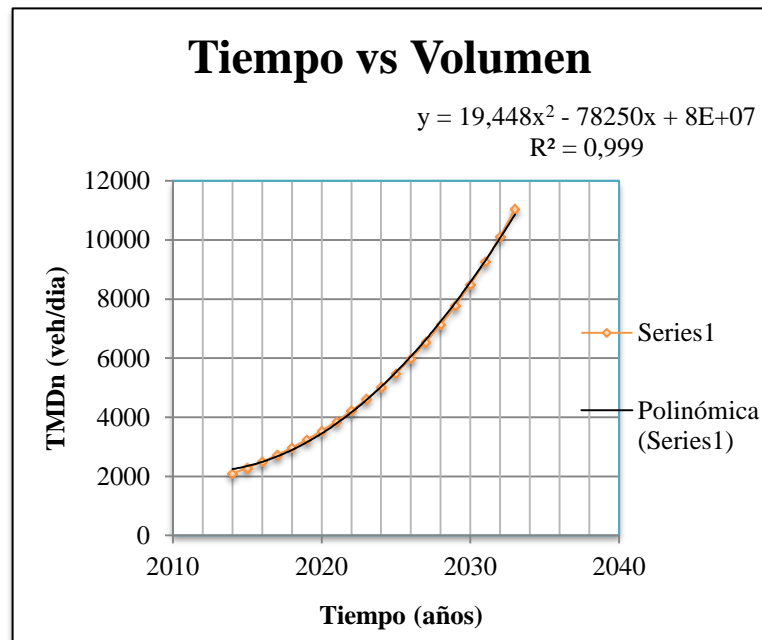
Proyección del volumen de tráfico para un índice de crecimiento de 9,14%

$$TMD_n = TMD_{Ao} * (1 + i)^{(n-1)}$$

AÑO	TMD_o (veh/día)	i (%)	TMD_n (veh/día)
2014	1240	9,14	2096
2015	1240	9,14	2288
2016	1240	9,14	2497
2017	1240	9,14	2726
2018	1240	9,14	2975
2019	1240	9,14	3247
2020	1240	9,14	3544
2021	1240	9,14	3868
2022	1240	9,14	4221
2023	1240	9,14	4608
2024	1240	9,14	5029
2025	1240	9,14	5489
2026	1240	9,14	5991
2027	1240	9,14	6539
2028	1240	9,14	7136
2029	1240	9,14	7789
2030	1240	9,14	8501
2031	1240	9,14	9279
2032	1240	9,14	10127
2033	1240	9,14	11053

AÑO	TMD_n (veh/día)
2014	2096
2015	2288
2016	2497
2017	2726
2018	2975

2019	3247
2020	3544
2021	3868
2022	4221
2023	4608
2024	5029
2025	5489
2026	5991
2027	6539
2028	7136
2029	7789
2030	8501
2031	9279
2032	10127
2033	11053



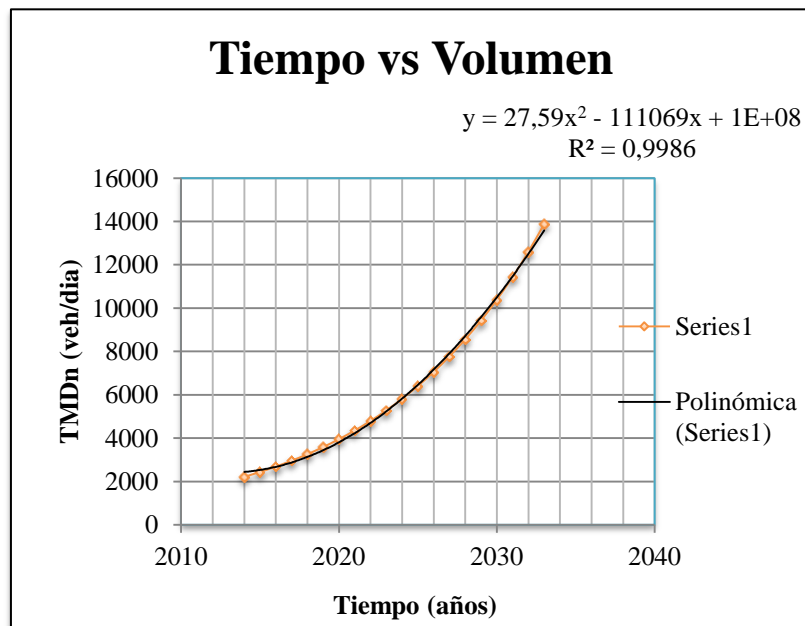
Proyección del volumen de tráfico para un índice de crecimiento de 10,14%

$$TMD_n = TMD_{Ao} * (1 + i)^{(n-1)}$$

AÑO	TMD _o (veh/día)	i (%)	TMD _n (veh/día)
2014	1240	10,14	2214
2015	1240	10,14	2438
2016	1240	10,14	2685
2017	1240	10,14	2958
2018	1240	10,14	3257
2019	1240	10,14	3588
2020	1240	10,14	3952
2021	1240	10,14	4352
2022	1240	10,14	4793
2023	1240	10,14	5280
2024	1240	10,14	5815

2025	1240	10,14	6405
2026	1240	10,14	7054
2027	1240	10,14	7769
2028	1240	10,14	8557
2029	1240	10,14	9425
2030	1240	10,14	10380
2031	1240	10,14	11433
2032	1240	10,14	12592
2033	1240	10,14	13869

AÑO	TMDn (veh/día)
2014	2214
2015	2438
2016	2685
2017	2958
2018	3257
2019	3588
2020	3952
2021	4352
2022	4793
2023	5280
2024	5815
2025	6405
2026	7054
2027	7769
2028	8557
2029	9425
2030	10380
2031	11433
2032	12592
2033	13869



TRAMO 2 (TARIJA-PUERTA EL CHACO) ESTACIÓN EL PORTILLO

La proyección se realiza con el índice de crecimiento calculado anteriormente de 9,14%, y también para un índice de menos uno del índice real calculado 8,14% y con más uno del índice real calculado 10,14%, para ver cuanta variación hay en los resultados. Y la proyección se determina con el volumen de tráfico promedio diario anual del año 2007.

Para la proyección se inicia con $n=7$ (proyección que corresponde al año 2014) y no con $n=1$, debido a que primero se completó datos históricos para 6 años y la proyección termina con $n=26$ (proyección que corresponde al año 2033). Para un mejor entendimiento ver en anexo 4.

DATOS:

$VTMDA_o = 789$ (veh/día) (Año 2007)

Periodo de proyección = 20 (años)

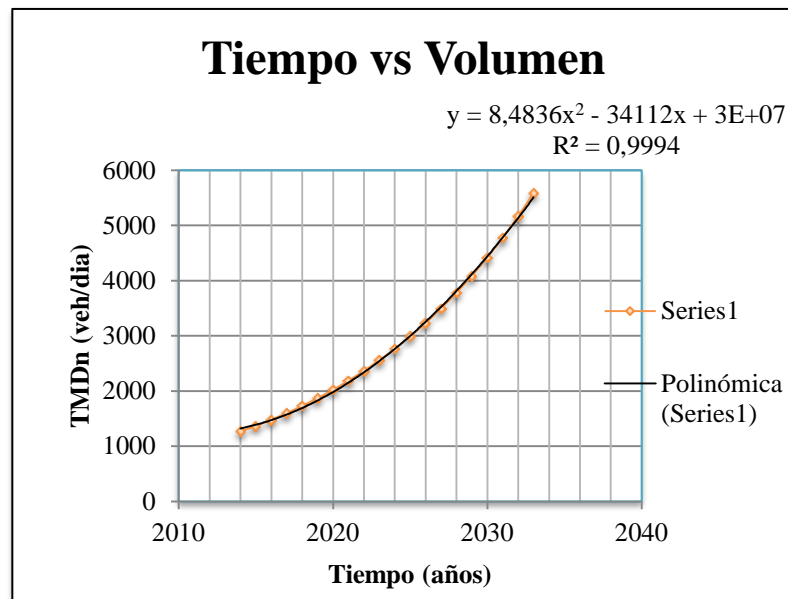
Proyección del volumen de tráfico para un índice de crecimiento de 8,14%

$$TMD_n = TMDA_o * (1 + i)^{(n-1)}$$

AÑO	TMD _o (veh/día)	i (%)	TMD _n (veh/día)
2014	789	8,14	1262
2015	789	8,14	1365
2016	789	8,14	1476
2017	789	8,14	1596
2018	789	8,14	1726
2019	789	8,14	1866
2020	789	8,14	2018
2021	789	8,14	2182

2022	789	8,14	2360
2023	789	8,14	2552
2024	789	8,14	2760
2025	789	8,14	2984
2026	789	8,14	3227
2027	789	8,14	3490
2028	789	8,14	3774
2029	789	8,14	4081
2030	789	8,14	4413
2031	789	8,14	4773
2032	789	8,14	5161
2033	789	8,14	5581

AÑO	TMDn (veh/día)
2014	1262
2015	1365
2016	1476
2017	1596
2018	1726
2019	1866
2020	2018
2021	2182
2022	2360
2023	2552
2024	2760
2025	2984
2026	3227
2027	3490
2028	3774
2029	4081
2030	4413
2031	4773
2032	5161
2033	5581



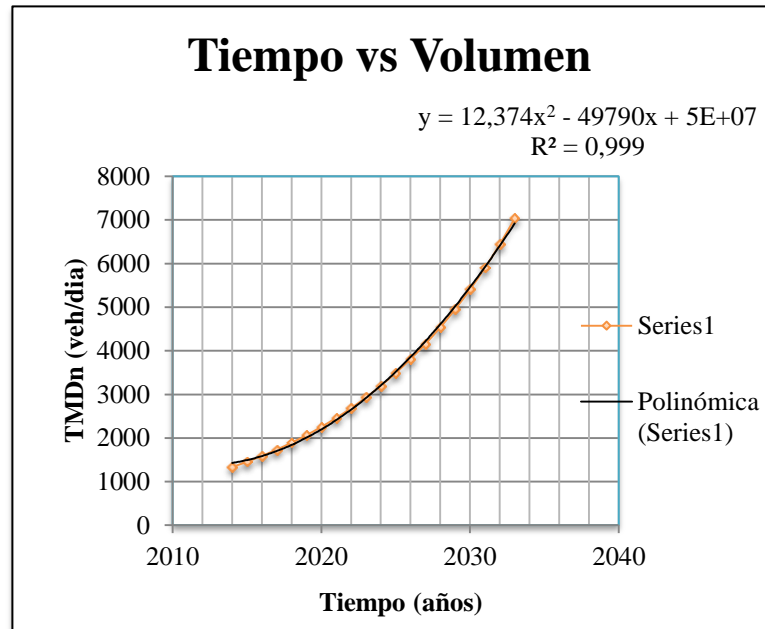
Proyección del volumen de tráfico para un índice de crecimiento de 9,14%

$$TMD_n = TMD_{A_0} * (1 + i)^{(n-1)}$$

AÑO	TMD₀ (veh/día)	i (%)	TMD_n (veh/día)
2014	789	9,14	1334
2015	789	9,14	1456
2016	789	9,14	1589
2017	789	9,14	1734
2018	789	9,14	1893
2019	789	9,14	2066
2020	789	9,14	2255
2021	789	9,14	2461
2022	789	9,14	2686
2023	789	9,14	2932
2024	789	9,14	3200
2025	789	9,14	3492
2026	789	9,14	3812
2027	789	9,14	4160
2028	789	9,14	4541
2029	789	9,14	4956
2030	789	9,14	5409
2031	789	9,14	5904
2032	789	9,14	6444
2033	789	9,14	7033

AÑO	TMD_n (veh/día)
2014	1334
2015	1456
2016	1589
2017	1734
2018	1893

2019	2066
2020	2255
2021	2461
2022	2686
2023	2932
2024	3200
2025	3492
2026	3812
2027	4160
2028	4541
2029	4956
2030	5409
2031	5904
2032	6444
2033	7033



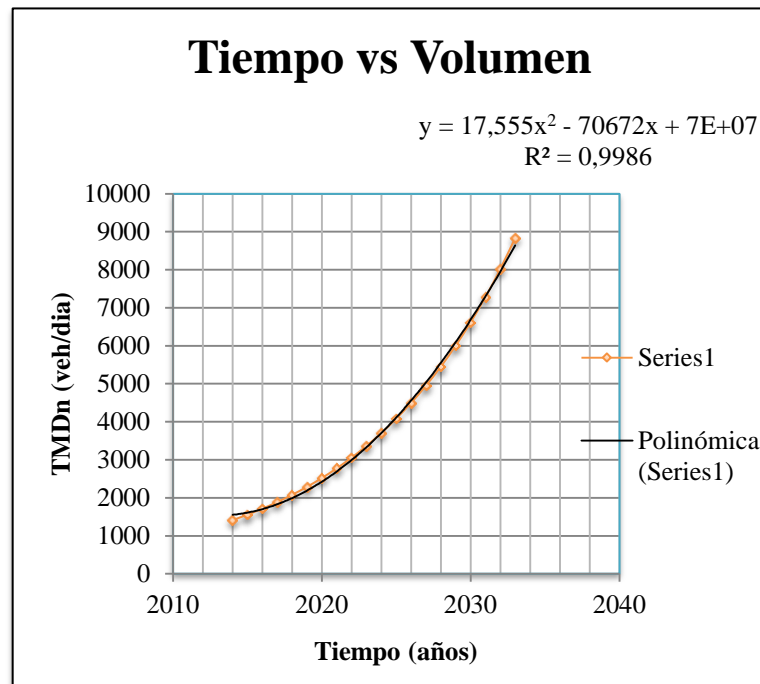
Proyección del volumen de tráfico para un índice de crecimiento de 10,14%

$$TMDn = TMDAo * (1 + i)^{(n-1)}$$

AÑO	TMDo (veh/día)	i (%)	TMDn (veh/día)
2014	789	10,14	1408
2015	789	10,14	1551
2016	789	10,14	1709
2017	789	10,14	1882
2018	789	10,14	2073
2019	789	10,14	2283
2020	789	10,14	2514
2021	789	10,14	2769
2022	789	10,14	3050
2023	789	10,14	3359
2024	789	10,14	3700
2025	789	10,14	4075

2026	789	10,14	4488
2027	789	10,14	4943
2028	789	10,14	5445
2029	789	10,14	5997
2030	789	10,14	6605
2031	789	10,14	7275
2032	789	10,14	8012
2033	789	10,14	8825

AÑO	TMDn (veh/día)
2014	1408
2015	1551
2016	1709
2017	1882
2018	2073
2019	2283
2020	2514
2021	2769
2022	3050
2023	3359
2024	3700
2025	4075
2026	4488
2027	4943
2028	5445
2029	5997
2030	6605
2031	7275
2032	8012
2033	8825



TRAMO 3 (TARIJA-SAN LORENZO) ESTACIÓN EL RANCHO

La proyección se realiza con el índice de crecimiento calculado anteriormente de 9,14%, y también para un índice de menos uno del índice real calculado 8,14% y con más uno del índice real calculado 10,14%, para ver cuanta variación hay en los resultados. Y la proyección se determina con el volumen de tráfico promedio diario anual del año 2007.

Para la proyección se inicia con $n=7$ (proyección que corresponde al año 2014) y no con $n=1$, debido a que primero se completó datos históricos para 6 años y la proyección termina con $n=26$ (proyección que corresponde al año 2033). Para un mejor entendimiento ver en anexo 4.

DATOS:

VTMDAo = 1484 (veh/día) (Año 2007)

Periodo de proyección = 20 (años)

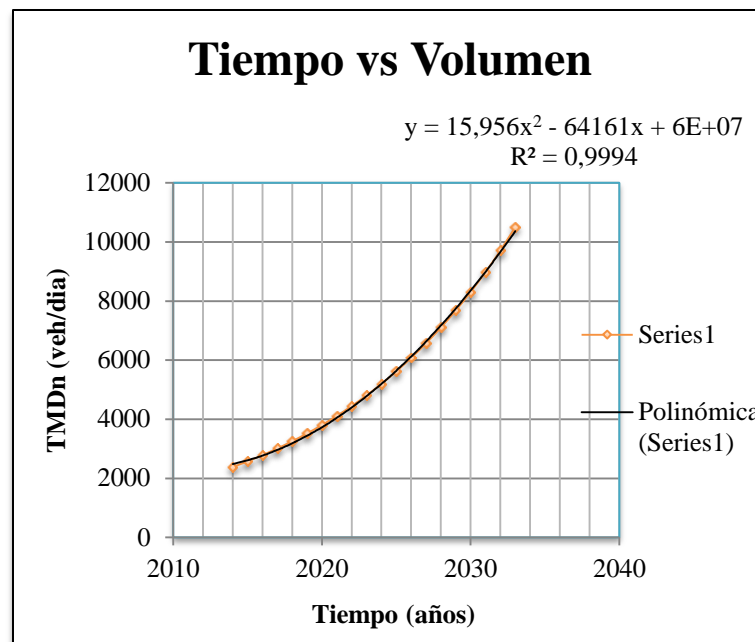
Proyección del volumen de tráfico para un índice de crecimiento de 8,14%

$$TMDn = TMDAo * (1 + i)^{(n-1)}$$

AÑO	TMDo (veh/día)	i (%)	TMDn (veh/día)
2014	1484	8,14	2373
2015	1484	8,14	2566
2016	1484	8,14	2775
2017	1484	8,14	3001
2018	1484	8,14	3246
2019	1484	8,14	3510
2020	1484	8,14	3796
2021	1484	8,14	4104
2022	1484	8,14	4439

2023	1484	8,14	4800
2024	1484	8,14	5191
2025	1484	8,14	5613
2026	1484	8,14	6070
2027	1484	8,14	6564
2028	1484	8,14	7098
2029	1484	8,14	7676
2030	1484	8,14	8301
2031	1484	8,14	8977
2032	1484	8,14	9707
2033	1484	8,14	10498

AÑO	TMDn (veh/día)
2014	2373
2015	2566
2016	2775
2017	3001
2018	3246
2019	3510
2020	3796
2021	4104
2022	4439
2023	4800
2024	5191
2025	5613
2026	6070
2027	6564
2028	7098
2029	7676
2030	8301
2031	8977
2032	9707
2033	10498



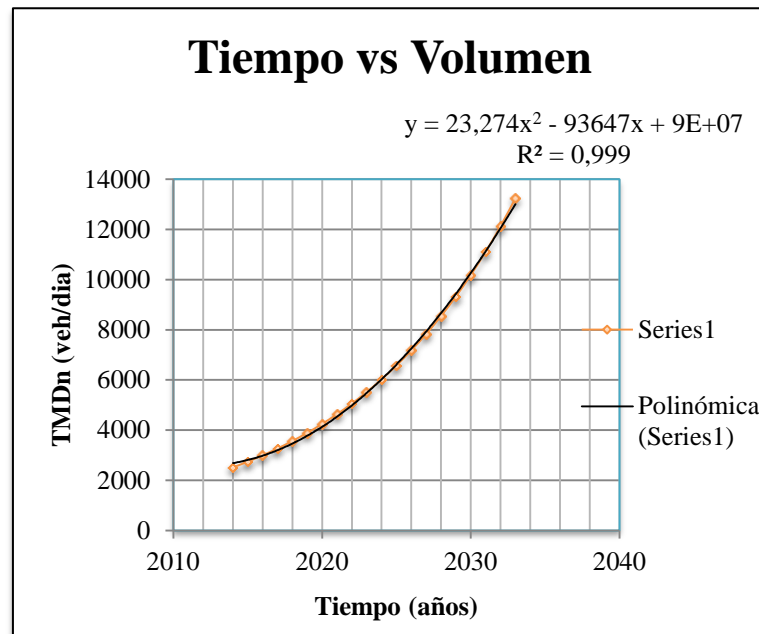
Proyección del volumen de tráfico para un índice de crecimiento de 9,14%

$$TMD_n = TMD_{Ao} * (1 + i)^{(n-1)}$$

AÑO	TMD_o (veh/día)	i (%)	TMD_n (veh/día)
2014	1484	9,14	2509
2015	1484	9,14	2738
2016	1484	9,14	2989
2017	1484	9,14	3262
2018	1484	9,14	3560
2019	1484	9,14	3886
2020	1484	9,14	4241
2021	1484	9,14	4629
2022	1484	9,14	5052
2023	1484	9,14	5514
2024	1484	9,14	6018
2025	1484	9,14	6569
2026	1484	9,14	7170
2027	1484	9,14	7825
2028	1484	9,14	8541
2029	1484	9,14	9322
2030	1484	9,14	10174
2031	1484	9,14	11105
2032	1484	9,14	12120
2033	1484	9,14	13229

AÑO	TMD_n (veh/día)
2014	2509
2015	2738
2016	2989
2017	3262
2018	3560

2019	3886
2020	4241
2021	4629
2022	5052
2023	5514
2024	6018
2025	6569
2026	7170
2027	7825
2028	8541
2029	9322
2030	10174
2031	11105
2032	12120
2033	13229



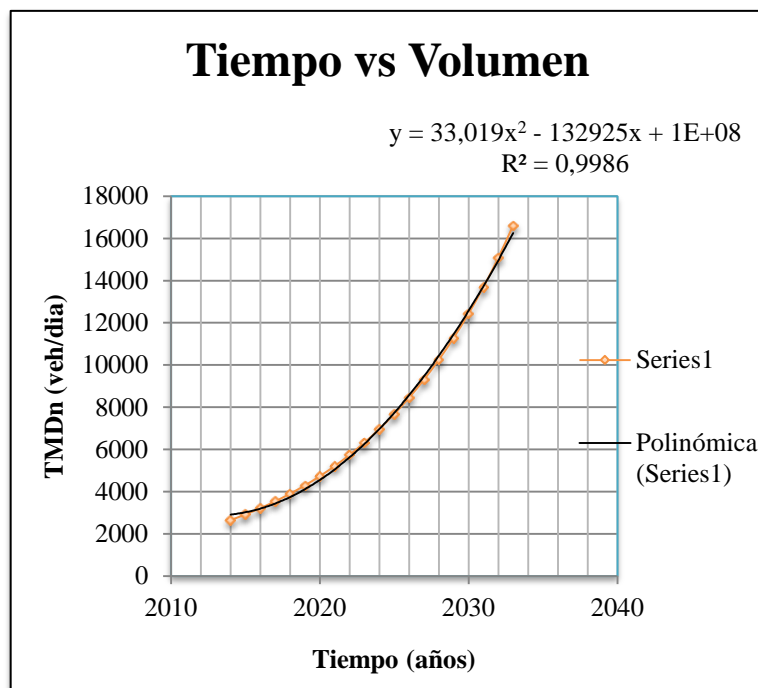
Proyección del volumen de tráfico para un índice de crecimiento de 10,14%

$$TMDn = TMDA_o * (1 + i)^{(n-1)}$$

AÑO	TMD _o (veh/día)	i (%)	TMD _n (veh/día)
2014	1484	10,14	2649
2015	1484	10,14	2918
2016	1484	10,14	3214
2017	1484	10,14	3539
2018	1484	10,14	3898
2019	1484	10,14	4294
2020	1484	10,14	4729
2021	1484	10,14	5209
2022	1484	10,14	5737
2023	1484	10,14	6318
2024	1484	10,14	6959
2025	1484	10,14	7665
2026	1484	10,14	8442

2027	1484	10,14	9298
2028	1484	10,14	10241
2029	1484	10,14	11279
2030	1484	10,14	12423
2031	1484	10,14	13683
2032	1484	10,14	15070
2033	1484	10,14	16598

AÑO	TMDn (veh/día)
2014	2649
2015	2918
2016	3214
2017	3539
2018	3898
2019	4294
2020	4729
2021	5209
2022	5737
2023	6318
2024	6959
2025	7665
2026	8442
2027	9298
2028	10241
2029	11279
2030	12423
2031	13683
2032	15070
2033	16598



3.5.2. Métodos econométricos (Regresiones lineales simples).-

Con los volúmenes de tráfico medio diario anual de cada tramo (datos históricos desde el año 2004 hasta el año 2007), se determinan los valores de la intercepción (α) y pendiente (β) de la recta, de este método con los cuales se realiza la proyección del volumen de tráfico para un periodo de 20 años en cada tramo (año 2014 – año 2033).

Para la determinación de la proyección del volumen de tráfico por este método se realiza con la siguiente expresión.

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X_i$$

Donde:

Y_i = VTPDA (Volumen de Proyección)

α y β = Intercepción y pendiente de la recta

X_i = Es el número de años de proyección

TRAMO 1 (CRUCE PANAMERICANO-PADCAAYA) ESTACIÓN CALAMUCHITA

Determinación de la intercepción y pendiente de la recta (α y β)

Año	X	Y (veh/día)	$(X_i - \bar{X})$	$(Y_i - \bar{Y})$	$(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$	$(X_i - \bar{X})^2$
2004	1	645	-1,50	-305,50	458,25	2,25
2005	2	878	-0,50	-72,50	36,25	0,25
2006	3	1039	0,50	88,50	44,25	0,25
2007	4	1240	1,50	289,50	434,25	2,25
Σ	10	3802	0	0	973	5

$$n = 4$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = 10/4 = 2,50$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} = 3802/4 = 950,50$$

Determinamos el valor de β

$$\hat{\beta} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2} = 973/5 = 194,60$$

Determinamos el valor de α

$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta}\bar{X} = 950,50 - (194,60 * 2,50) = 464,00$$

Con los valores de α y β determinados anteriormente, la proyección se inicia con $Y_i=7$ (proyección que corresponde al año 2014) y no con $Y_i=1$, debido a que primero se completó datos históricos para 6 años y la proyección termina con $Y_i=26$ (proyección que corresponde al año 2033). Para un mejor entendimiento ver anexo 5.

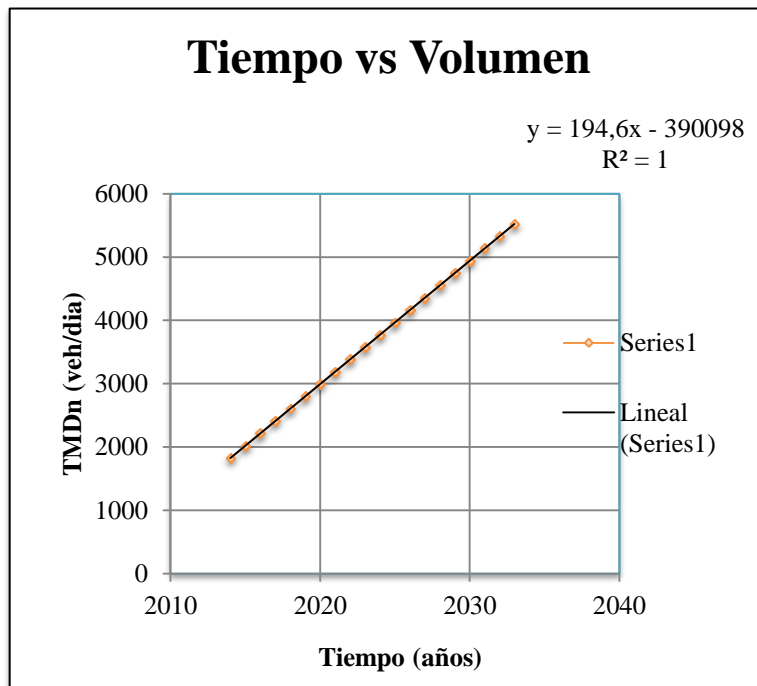
Determinación del volumen de tráfico proyectado con la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X_i$$

Año	α	β	Y (veh/día)
2014	464,00	194,60	1826
2014	464,00	194,60	2021
2014	464,00	194,60	2215
2014	464,00	194,60	2410
2014	464,00	194,60	2605
2014	464,00	194,60	2799
2014	464,00	194,60	2994
2014	464,00	194,60	3188
2014	464,00	194,60	3383
2014	464,00	194,60	3578

2014	464,00	194,60	3772
2014	464,00	194,60	3967
2014	464,00	194,60	4161
2014	464,00	194,60	4356
2014	464,00	194,60	4551
2014	464,00	194,60	4745
2014	464,00	194,60	4940
2014	464,00	194,60	5134
2014	464,00	194,60	5329
2014	464,00	194,60	5524

Año	TPDA (veh/día)
2014	1826
2015	2021
2016	2215
2017	2410
2018	2605
2019	2799
2020	2994
2021	3188
2022	3383
2023	3578
2024	3772
2025	3967
2026	4161
2027	4356
2028	4551
2029	4745
2030	4940
2031	5134
2032	5329
2033	5524



TRAMO 2 (TARIJA-PUERTA EL CHACO) ESTACIÓN EL PORTILLO

Determinación de la intercepción y pendiente de la recta (α y β)

Año	X	Y (veh/día)	$(X_i - \bar{X})$	$(Y_i - \bar{Y})$	$(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$	$(X_i - \bar{X})^2$
2004	1	587	-1,50	-88,57	132,85	2,25
2005	2	636	-0,50	-39,59	19,80	0,25
2006	3	689	0,50	14,31	7,16	0,25
2007	4	789	1,50	113,85	170,77	2,25
Σ	10	2701	0	0	331	5

$$n = 4$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = 10/4 = 2,50 \quad \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} = 2701/4 = 675,15$$

Determinamos el valor de β

$$\hat{\beta} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2} = 331/5 = 66,11$$

Determinamos el valor de α

$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta}\bar{X} = 675,15 - (66,11 * 2,50) = 509,87$$

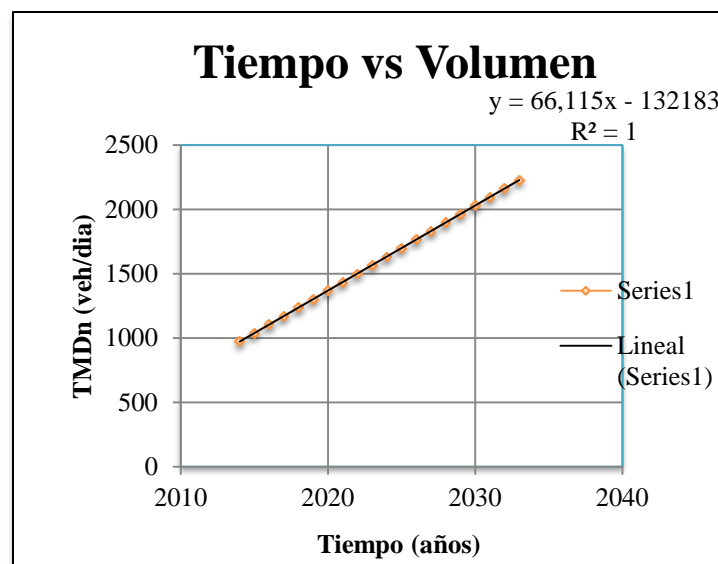
Con los valores de α y β determinados anteriormente, la proyección se inicia con $Y_i=7$ (proyección que corresponde al año 2014) y no con $Y_i=1$, debido a que primero se completó datos históricos para 6 años y la proyección termina con $Y_i=26$ (proyección que corresponde al año 2033). Para un mejor entendimiento ver anexo 5.

Determinación del volumen de tráfico proyectado con la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X_i$$

Año	α	β	Y (veh/día)
2014	509,87	66,11	973
2014	509,87	66,11	1039
2014	509,87	66,11	1105
2014	509,87	66,11	1171
2014	509,87	66,11	1237
2014	509,87	66,11	1303
2014	509,87	66,11	1369
2014	509,87	66,11	1435
2014	509,87	66,11	1502
2014	509,87	66,11	1568
2014	509,87	66,11	1634
2014	509,87	66,11	1700
2014	509,87	66,11	1766
2014	509,87	66,11	1832
2014	509,87	66,11	1898
2014	509,87	66,11	1964
2014	509,87	66,11	2031
2014	509,87	66,11	2097
2014	509,87	66,11	2163
2014	509,87	66,11	2229

Año	TPDA (veh/día)
2014	973
2015	1039
2016	1105
2017	1171
2018	1237
2019	1303
2020	1369
2021	1435
2022	1502
2023	1568



2024	1634
2025	1700
2026	1766
2027	1832
2028	1898
2029	1964
2030	2031
2031	2097
2032	2163
2033	2229

TRAMO 3 (TARIJA-SAN LORENZO) ESTACIÓN EL RANCHO

Determinación de la intercepción y pendiente de la recta (α y β)

Año	X	Y (veh/día)	$(X_i - \bar{X})$	$(Y_i - \bar{Y})$	$(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$	$(X_i - \bar{X})^2$
2004	1	1097	-1,50	-182,25	273,38	2,25
2005	2	1219	-0,50	-60,25	30,13	0,25
2006	3	1317	0,50	37,75	18,88	0,25
2007	4	1484	1,50	204,75	307,13	2,25
Σ	10	5117	0	0	630	5

$$n = 4$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{10}{4} = 2,50$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} = \frac{5117}{4} = 1279,25$$

Determinamos el valor de β

$$\hat{\beta} = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum(X - \bar{X})^2} = \frac{630}{5} = 125,90$$

Determinamos el valor de α

$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta}\bar{X} = 1279,25 - (125,90 \cdot 2,50) = 964,50$$

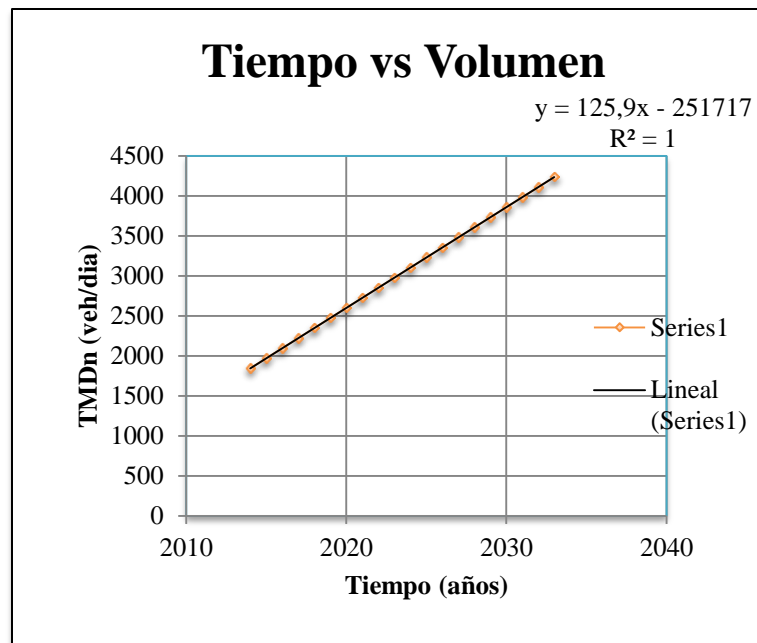
Con los valores de α y β determinados anteriormente, la proyección se inicia con $Y_i=7$ (proyección que corresponde al año 2014) y no con $Y_i=1$, debido a que primero se completó datos históricos para 6 años y la proyección termina con $Y_i=26$ (proyección que corresponde al año 2033). Para un mejor entendimiento ver anexo 5.

Determinación del volumen de tráfico proyectado con la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X_i$$

Año	α	β	Y (veh/día)
2014	964,50	125,90	1846
2015	964,50	125,90	1972
2016	964,50	125,90	2098
2017	964,50	125,90	2224
2018	964,50	125,90	2349
2019	964,50	125,90	2475
2020	964,50	125,90	2601
2021	964,50	125,90	2727
2022	964,50	125,90	2853
2023	964,50	125,90	2979
2024	964,50	125,90	3105
2025	964,50	125,90	3231
2026	964,50	125,90	3357
2027	964,50	125,90	3483
2028	964,50	125,90	3608
2029	964,50	125,90	3734
2030	964,50	125,90	3860
2031	964,50	125,90	3986
2032	964,50	125,90	4112
2033	964,50	125,90	4238

Año	TPDA (veh/día)
2014	1846
2015	1972
2016	2098
2017	2224
2018	2349
2019	2475
2020	2601
2021	2727
2022	2853
2023	2979
2024	3105
2025	3231
2026	3357
2027	3483
2028	3608
2029	3734
2030	3860
2031	3986
2032	4112
2033	4238



3.5.3. Series temporales (Holt-Winter).-

Con los volúmenes de tráfico medio diario anual de cada tramo (datos históricos desde el año 2004 hasta el año 2007) y adoptando valores de las constantes de suavización (α y β) se determinan los valores del nivel de la serie suavizada (e) y de la componente de tendencia (T) con los cuales se realiza la proyección del volumen de tráfico para un periodo de 20 años en cada tramo (año 2014 – año 2033).

Para realizar la proyección por este método se adoptan valores de α y β (constantes de suavización) que estén en un rango entre cero y uno, los valores que se adoptan para la proyección son: α y $\beta=0,10$ hasta $0,60$, haciendo variar éstos de manera de establecer la verdadera incidencia en los resultados, de estos coeficientes.

La proyección del volumen por este método se determina con la siguiente expresión:

$$VTPDA = e + T * n$$

Donde:

VTPDA= Volumen de tráfico proyectado

e = Valor del nivel de la serie suavizada

T = Valor de la componente de tendencia

n = Es el número de años de proyección

Determinamos los valores del nivel de la serie suavizada (e) con la siguiente expresión:

$$e = \alpha * (e_{i-1} + T_{i-1}) + (1 - \alpha) * Y_i$$

Determinamos los valores de las componentes de tendencia (T) con la siguiente expresión:

$$T = \beta * T_{i-1} + (1 - \beta) * (e_i - e_{i-1})$$

Donde:

e_i : Representa el nivel de la serie suavizada en el periodo i

T: Representa el valor de la componente de tendencia para el periodo i

Y_i : Representa el valor observado de la serie en el periodo i

α y β : Son constantes de suavización subjetivamente asignadas y comprendidas entre (0,10 - 0,60).

TRAMO 1 (CRUCE PANAMERICANO-PADCAYA) ESTACIÓN CALAMUCHITA

Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,10$

Para comenzar los cálculos se establece que $e_2=Y_2$; y, además que $T_2=Y_2-Y_1$.

Datos	
α	0,1
β	0,1

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,9
$1 - \beta$	0,9

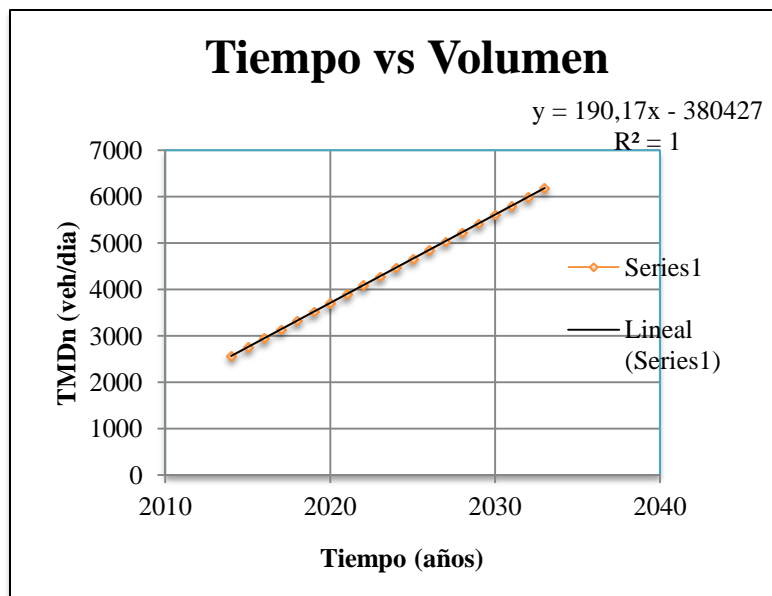
Año	Y (veh/día)	e	T
2004	645		
2005	878	878	233
2006	1039	1046	175
2007	1240	1238	190

Con los valores de (e) y (T) determinados anteriormente, la proyección se inicia con $n=7$ (proyección que corresponde al año 2014) y no con $n=1$, debido a que primero se completó datos históricos para 6 años y la proyección termina con $n=26$ (proyección que corresponde al año 2033). Para un mejor entendimiento ver anexo 6.

La proyección del volumen de tráfico se determina con la siguiente expresión:

$$VTPDA = e + T * n$$

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1238	190	2569
2015	1238	190	2759
2016	1238	190	2950
2017	1238	190	3140
2018	1238	190	3330
2019	1238	190	3520
2020	1238	190	3710
2021	1238	190	3900
2022	1238	190	4091
2023	1238	190	4281
2024	1238	190	4471
2025	1238	190	4661
2026	1238	190	4851
2027	1238	190	5041
2028	1238	190	5232
2029	1238	190	5422
2030	1238	190	5612
2031	1238	190	5802
2032	1238	190	5992
2033	1238	190	6182



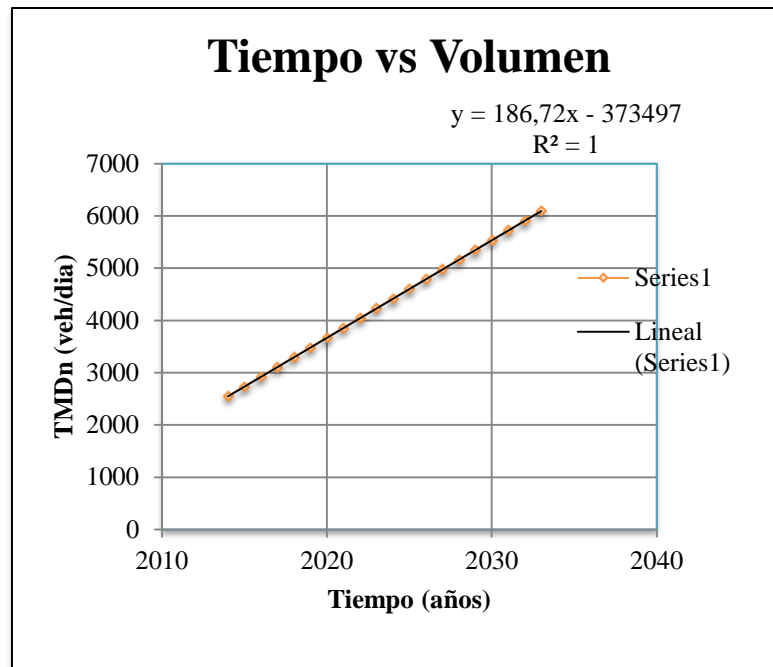
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,20$

Datos	
α	0,2
β	0,2

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,8
$1 - \beta$	0,8

Año	Y(veh/día)	e	T
2004	645		
2005	878	878	233
2006	1039	1053	187
2007	1240	1240	187

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1240	187	2547
2015	1240	187	2734
2016	1240	187	2921
2017	1240	187	3107
2018	1240	187	3294
2019	1240	187	3481
2020	1240	187	3667
2021	1240	187	3854
2022	1240	187	4041
2023	1240	187	4228
2024	1240	187	4414
2025	1240	187	4601
2026	1240	187	4788
2027	1240	187	4974
2028	1240	187	5161
2029	1240	187	5348
2030	1240	187	5535
2031	1240	187	5721
2032	1240	187	5908
2033	1240	187	6095



Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,30$

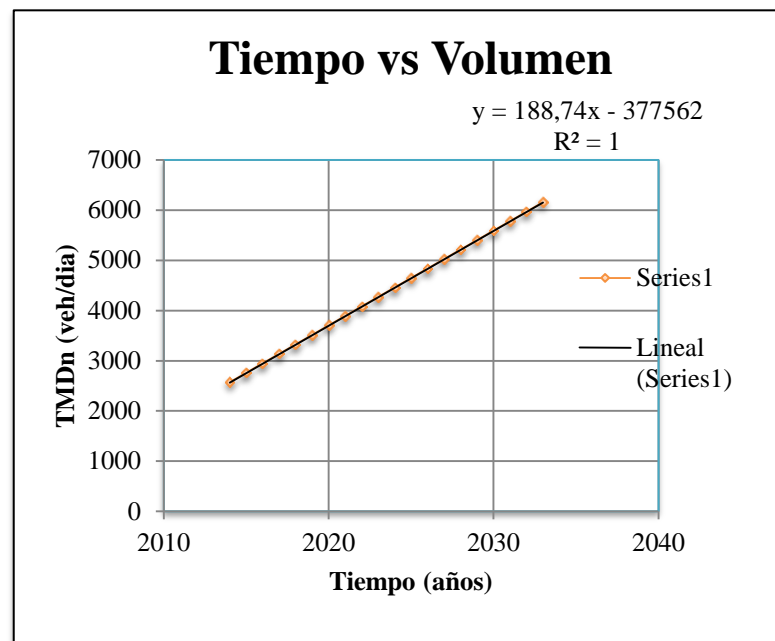
Datos	
α	0,3
β	0,3

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,7
$1 - \beta$	0,7

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	645		
2005	878	878	233
2006	1039	1061	198
2007	1240	1245	189

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1245	189	2567

2015	1245	189	2755
2016	1245	189	2944
2017	1245	189	3133
2018	1245	189	3322
2019	1245	189	3510
2020	1245	189	3699
2021	1245	189	3888
2022	1245	189	4077
2023	1245	189	4265
2024	1245	189	4454
2025	1245	189	4643
2026	1245	189	4832
2027	1245	189	5020
2028	1245	189	5209
2029	1245	189	5398
2030	1245	189	5587
2031	1245	189	5775
2032	1245	189	5964
2033	1245	189	6153



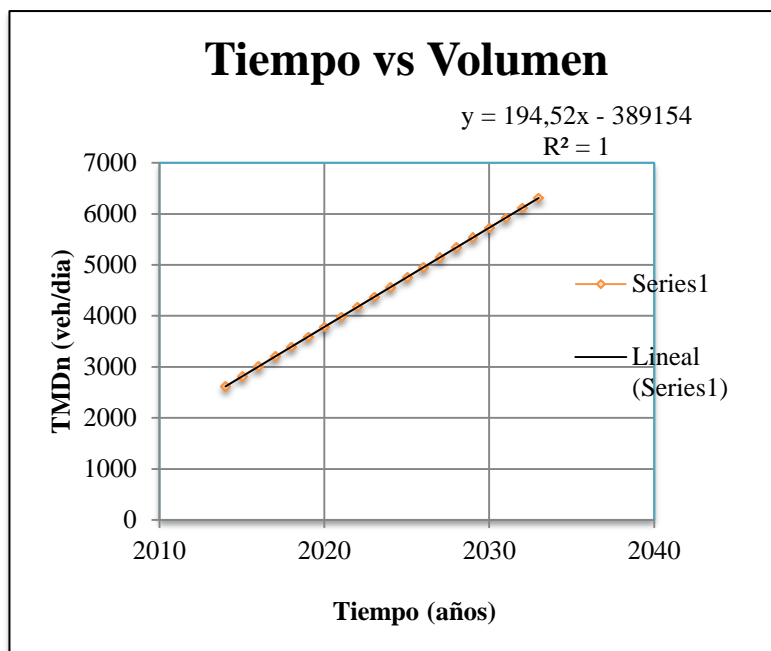
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,40$

Datos	
α	0,4
β	0,4

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,6
$1 - \beta$	0,6

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	645		
2005	878	878	233
2006	1039	1068	207
2007	1240	1254	195

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1254	195	2616
2015	1254	195	2810
2016	1254	195	3005
2017	1254	195	3199
2018	1254	195	3394
2019	1254	195	3588
2020	1254	195	3783
2021	1254	195	3977
2022	1254	195	4172
2023	1254	195	4366
2024	1254	195	4561
2025	1254	195	4755
2026	1254	195	4950
2027	1254	195	5144
2028	1254	195	5339
2029	1254	195	5533
2030	1254	195	5728
2031	1254	195	5923
2032	1254	195	6117
2033	1254	195	6312



Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,50$

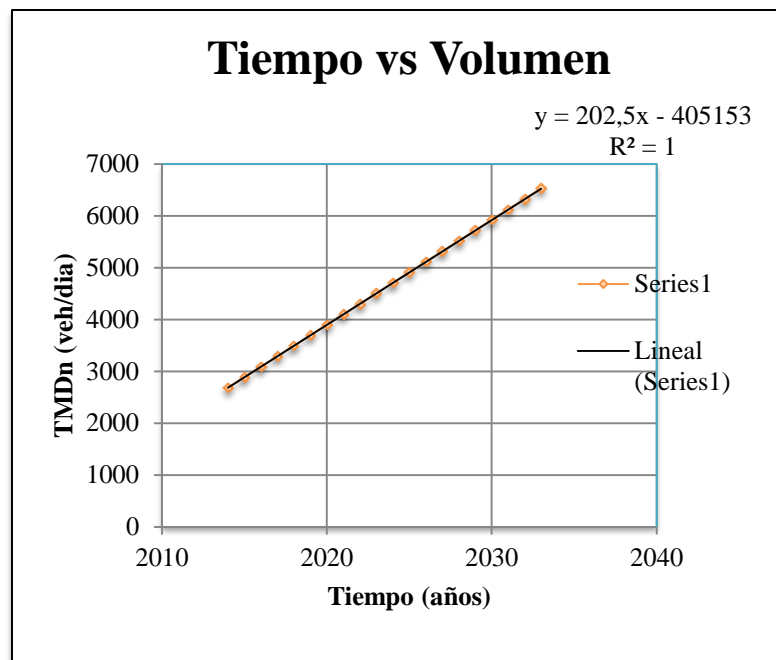
Datos	
α	0,5
β	0,5

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,5
$1 - \beta$	0,5

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	645		
2005	878	878	233
2006	1039	1075	215
2007	1240	1265	203

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1265	203	2683
2015	1265	203	2885
2016	1265	203	3088

2017	1265	203	3290
2018	1265	203	3493
2019	1265	203	3695
2020	1265	203	3898
2021	1265	203	4100
2022	1265	203	4303
2023	1265	203	4505
2024	1265	203	4708
2025	1265	203	4910
2026	1265	203	5113
2027	1265	203	5315
2028	1265	203	5518
2029	1265	203	5720
2030	1265	203	5923
2031	1265	203	6125
2032	1265	203	6328
2033	1265	203	6530



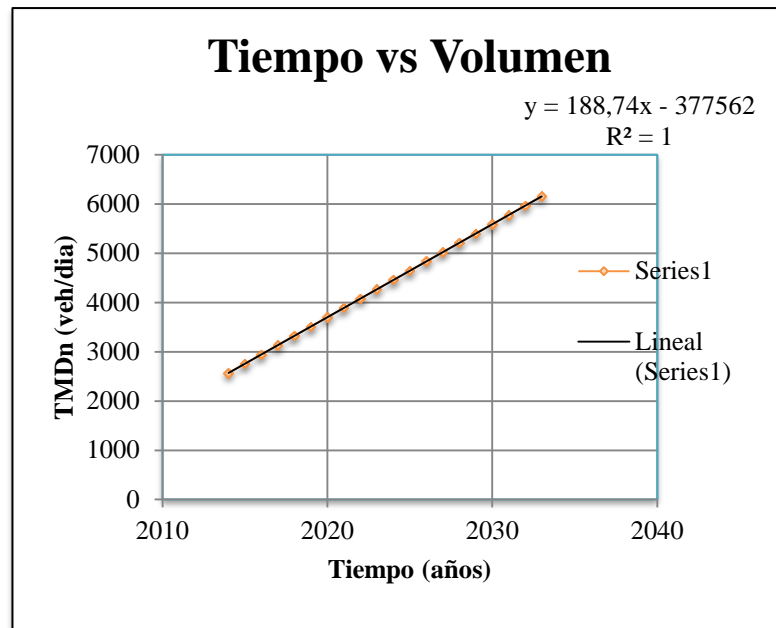
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,60$

Datos	
α	0,6
β	0,6

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,4
$1 - \beta$	0,4

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	645		
2005	878	878	233
2006	1039	1082	221
2007	1240	1278	211

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1278	211	2757
2015	1278	211	2969
2016	1278	211	3180
2017	1278	211	3391
2018	1278	211	3602
2019	1278	211	3814
2020	1278	211	4025
2021	1278	211	4236
2022	1278	211	4448
2023	1278	211	4659
2024	1278	211	4870
2025	1278	211	5081
2026	1278	211	5293
2027	1278	211	5504
2028	1278	211	5715
2029	1278	211	5927
2030	1278	211	6138
2031	1278	211	6349
2032	1278	211	6560
2033	1278	211	6772



TRAMO 2 (TARIJA-PUERTA EL CHACO) ESTACIÓN EL PORTILLO

Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,10$

Para comenzar los cálculos se establece que $e_2 = Y_2$; y, además que $T_2 = Y_2 - Y_1$.

Datos	
α	0,1
β	0,1

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,9
$1 - \beta$	0,9

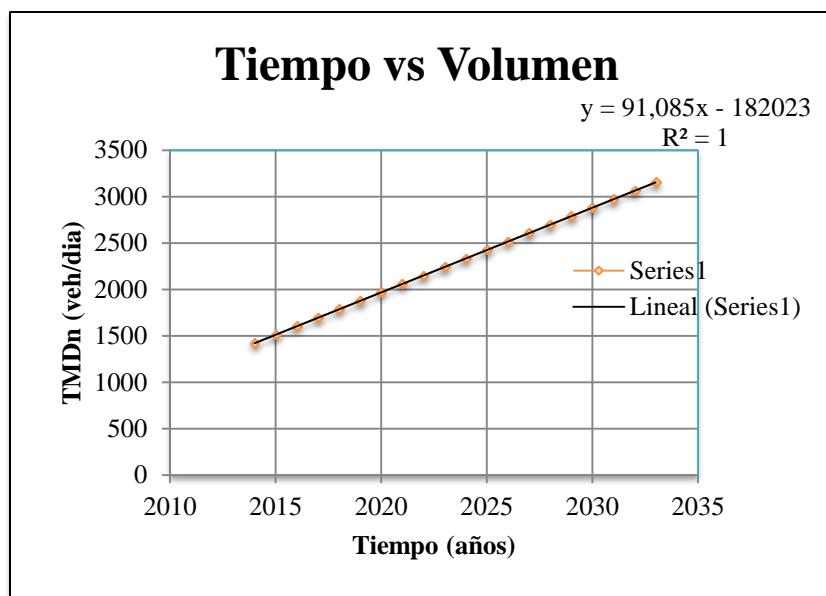
Año	Y (veh/día)	e	T
2004	587		
2005	636	636	49
2006	689	689	53
2007	789	784	91

Con los valores de (e) y (T) determinados anteriormente, la proyección se inicia con $n=7$ (proyección que corresponde al año 2014) y no con $n=1$, debido a que primero se completó datos históricos para 6 años y la proyección termina con $n=26$ (proyección que corresponde al año 2033). Para un mejor entendimiento ver anexo 6.

La proyección del volumen de tráfico se determina con la siguiente expresión:

$$VTPDA = e + T * n$$

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	784	91	1422
2015	784	91	1513
2016	784	91	1604
2017	784	91	1695
2018	784	91	1786
2019	784	91	1877
2020	784	91	1968
2021	784	91	2059
2022	784	91	2151
2023	784	91	2242
2024	784	91	2333
2025	784	91	2424
2026	784	91	2515
2027	784	91	2606
2028	784	91	2697
2029	784	91	2788
2030	784	91	2879
2031	784	91	2970
2032	784	91	3061
2033	784	91	3153



Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,20$

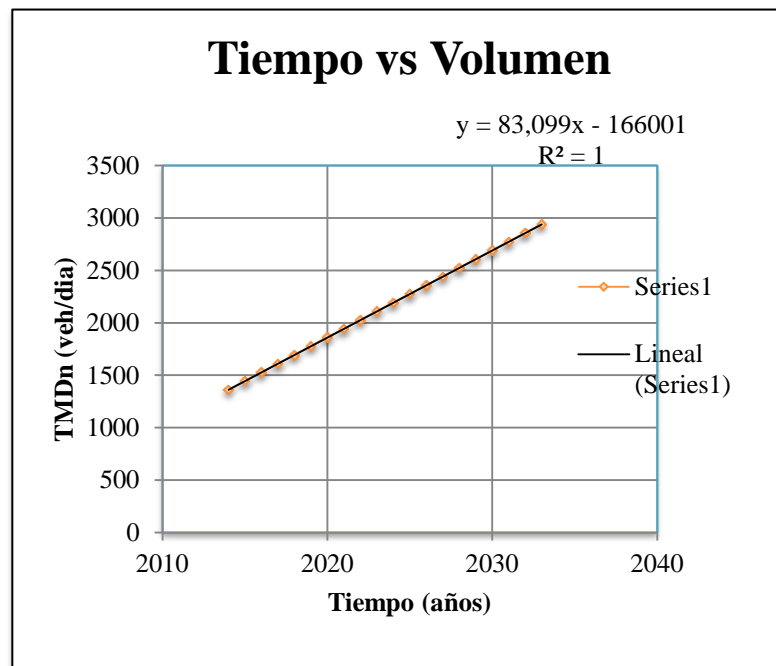
Datos	
α	0,2
β	0,2

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,8
$1 - \beta$	0,8

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	587		
2005	636	636	49
2006	689	688	52
2007	789	779	83

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	779	83	1361
2015	779	83	1444
2016	779	83	1527

2017	779	83	1610
2018	779	83	1693
2019	779	83	1777
2020	779	83	1860
2021	779	83	1943
2022	779	83	2026
2023	779	83	2109
2024	779	83	2192
2025	779	83	2275
2026	779	83	2358
2027	779	83	2441
2028	779	83	2524
2029	779	83	2608
2030	779	83	2691
2031	779	83	2774
2032	779	83	2857
2033	779	83	2940



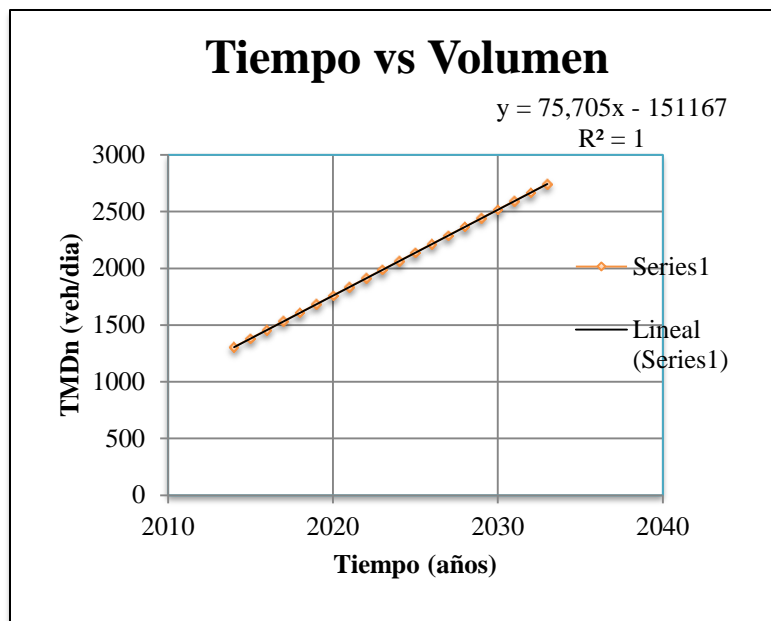
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,30$

Datos	
α	0,3
β	0,3

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,7
$1 - \beta$	0,7

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	587		
2005	636	636	49
2006	689	688	51
2007	789	774	76

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	774	76	1304
2015	774	76	1380
2016	774	76	1455
2017	774	76	1531
2018	774	76	1607
2019	774	76	1683
2020	774	76	1758
2021	774	76	1834
2022	774	76	1910
2023	774	76	1985
2024	774	76	2061
2025	774	76	2137
2026	774	76	2213
2027	774	76	2288
2028	774	76	2364
2029	774	76	2440
2030	774	76	2515
2031	774	76	2591
2032	774	76	2667
2033	774	76	2742



Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,40$

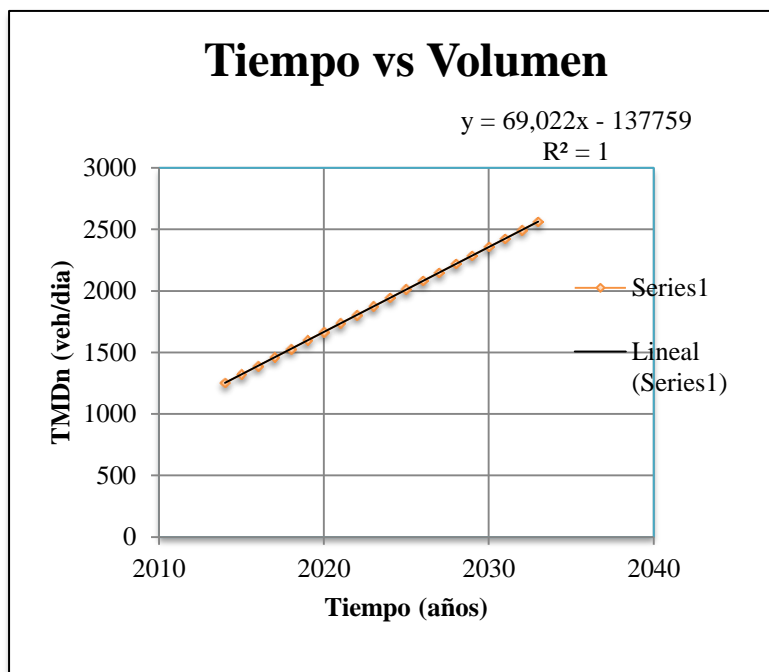
Datos	
α	0,4
β	0,4

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,6
$1 - \beta$	0,6

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	587		
2005	636	636	49
2006	689	687	51
2007	789	769	69

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	769	69	1252
2015	769	69	1321
2016	769	69	1390

2017	769	69	1459
2018	769	69	1528
2019	769	69	1597
2020	769	69	1666
2021	769	69	1735
2022	769	69	1804
2023	769	69	1873
2024	769	69	1942
2025	769	69	2011
2026	769	69	2080
2027	769	69	2149
2028	769	69	2218
2029	769	69	2287
2030	769	69	2356
2031	769	69	2425
2032	769	69	2494
2033	769	69	2563



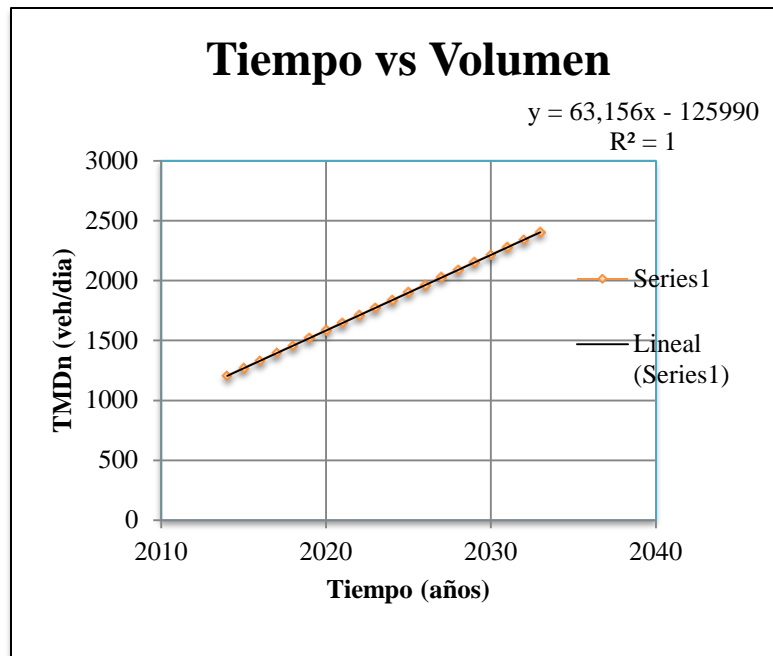
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,50$

Datos	
α	0,5
β	0,5

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,5
$1 - \beta$	0,5

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	587		
2005	636	636	49
2006	689	687	50
2007	789	763	63

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	763	63	1205
2015	763	63	1268
2016	763	63	1332
2017	763	63	1395
2018	763	63	1458
2019	763	63	1521
2020	763	63	1584
2021	763	63	1647
2022	763	63	1710
2023	763	63	1774
2024	763	63	1837
2025	763	63	1900
2026	763	63	1963
2027	763	63	2026
2028	763	63	2089
2029	763	63	2153
2030	763	63	2216
2031	763	63	2279
2032	763	63	2342
2033	763	63	2405



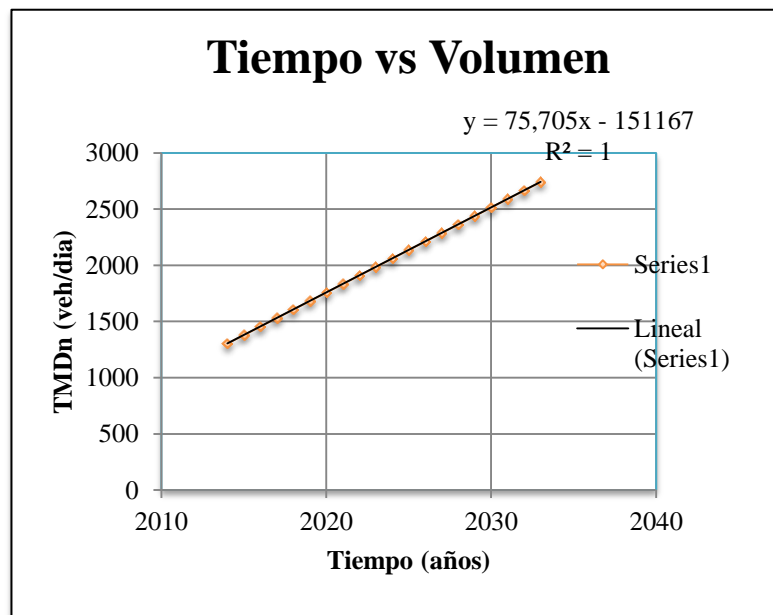
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,60$

Datos	
α	0,6
β	0,6

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,4
$1 - \beta$	0,4

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	587		
2005	636	636	49
2006	689	687	50
2007	789	757	58

Año	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	757	58	1165
2015	757	58	1223
2016	757	58	1281
2017	757	58	1339
2018	757	58	1398
2019	757	58	1456
2020	757	58	1514
2021	757	58	1572
2022	757	58	1630
2023	757	58	1689
2024	757	58	1747
2025	757	58	1805
2026	757	58	1863
2027	757	58	1921
2028	757	58	1980
2029	757	58	2038
2030	757	58	2096
2031	757	58	2154
2032	757	58	2212
2033	757	58	2271



TRAMO 3 (TARIJA-SAN LORENZO) ESTACIÓN EL RANCHO

Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,10$

Para comenzar los cálculos se establece que $e_2=Y_2$; y, además que $T_2=Y_2-Y_1$.

Datos	
α	0,1
β	0,1

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,9
$1 - \beta$	0,9

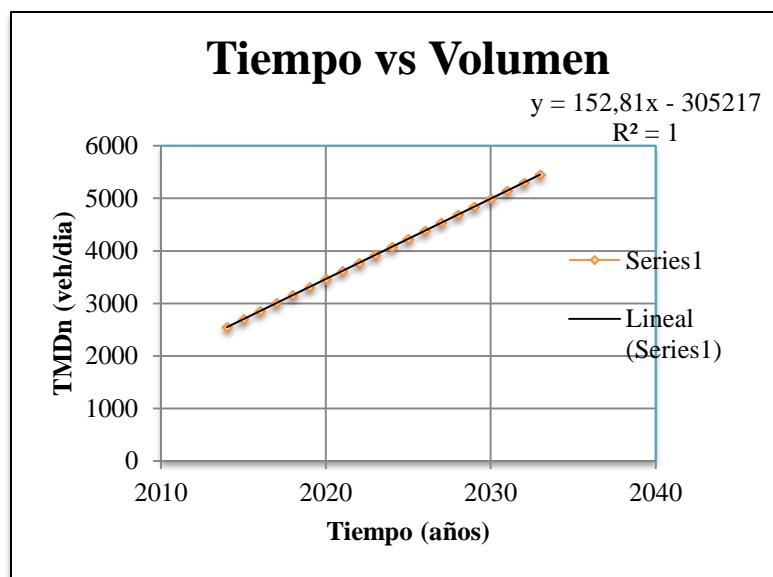
Año	Y (veh/día)	e	T
2004	1097		
2005	1219	1219	122
2006	1317	1319	103
2007	1484	1478	153

Con los valores de (e) y (T) determinados anteriormente, la proyección se inicia con $n=7$ (proyección que corresponde al año 2014) y no con $n=1$, debido a que primero se completó datos históricos para 6 años y la proyección termina con $n=26$ (proyección que corresponde al año 2033). Para un mejor entendimiento ver anexo 6.

La proyección del volumen de tráfico se determina con la siguiente expresión:

$$VTPDA = e + T * n$$

Años	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1478	153	2547
2015	1478	153	2700
2016	1478	153	2853
2017	1478	153	3006
2018	1478	153	3159
2019	1478	153	3312
2020	1478	153	3464
2021	1478	153	3617
2022	1478	153	3770
2023	1478	153	3923
2024	1478	153	4076
2025	1478	153	4228
2026	1478	153	4381
2027	1478	153	4534
2028	1478	153	4687
2029	1478	153	4840
2030	1478	153	4992
2031	1478	153	5145
2032	1478	153	5298
2033	1478	153	5451



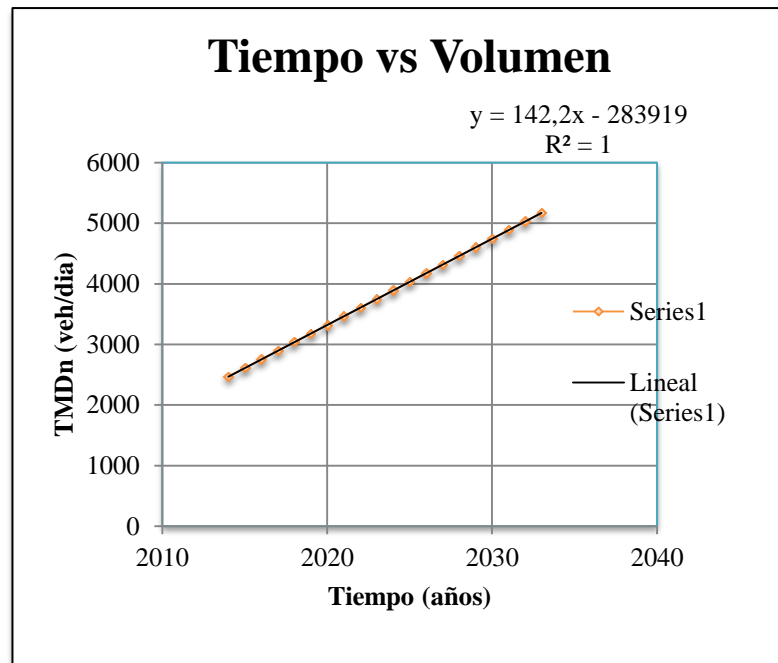
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,20$

Datos	
α	0,2
β	0,2

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,8
$1 - \beta$	0,8

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	1097		
2005	1219	1219	122
2006	1317	1322	107
2007	1484	1473	142

Años	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1473	142	2468
2015	1473	142	2610
2016	1473	142	2753
2017	1473	142	2895
2018	1473	142	3037
2019	1473	142	3179
2020	1473	142	3321
2021	1473	142	3464
2022	1473	142	3606
2023	1473	142	3748
2024	1473	142	3890
2025	1473	142	4032
2026	1473	142	4175
2027	1473	142	4317
2028	1473	142	4459
2029	1473	142	4601
2030	1473	142	4743
2031	1473	142	4886
2032	1473	142	5028
2033	1473	142	5170



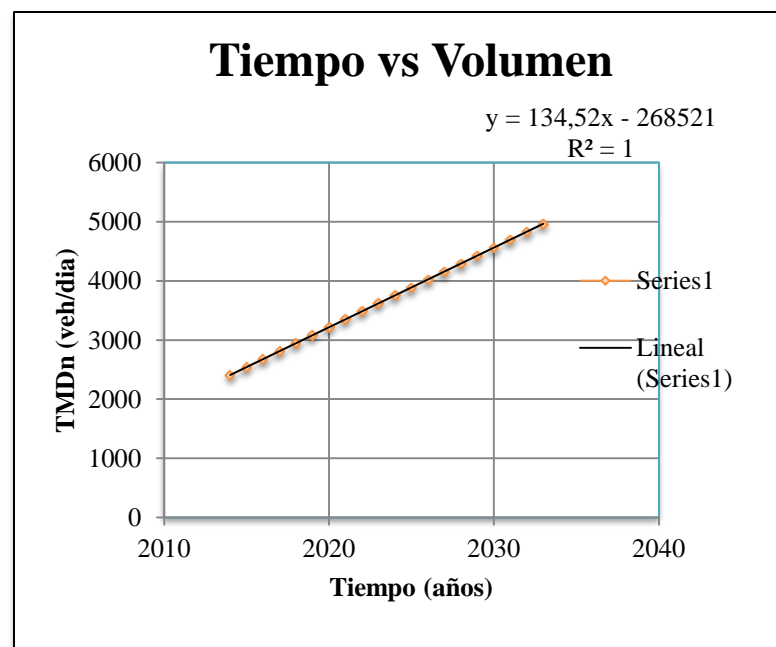
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,30$

Datos	
α	0,3
β	0,3

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,7
$1 - \beta$	0,7

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	1097		
2005	1219	1219	122
2006	1317	1324	110
2007	1484	1469	135

Años	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1469	135	2411
2015	1469	135	2545
2016	1469	135	2680
2017	1469	135	2814
2018	1469	135	2949
2019	1469	135	3083
2020	1469	135	3218
2021	1469	135	3352
2022	1469	135	3487
2023	1469	135	3622
2024	1469	135	3756
2025	1469	135	3891
2026	1469	135	4025
2027	1469	135	4160
2028	1469	135	4294
2029	1469	135	4429
2030	1469	135	4563
2031	1469	135	4698
2032	1469	135	4832
2033	1469	135	4967



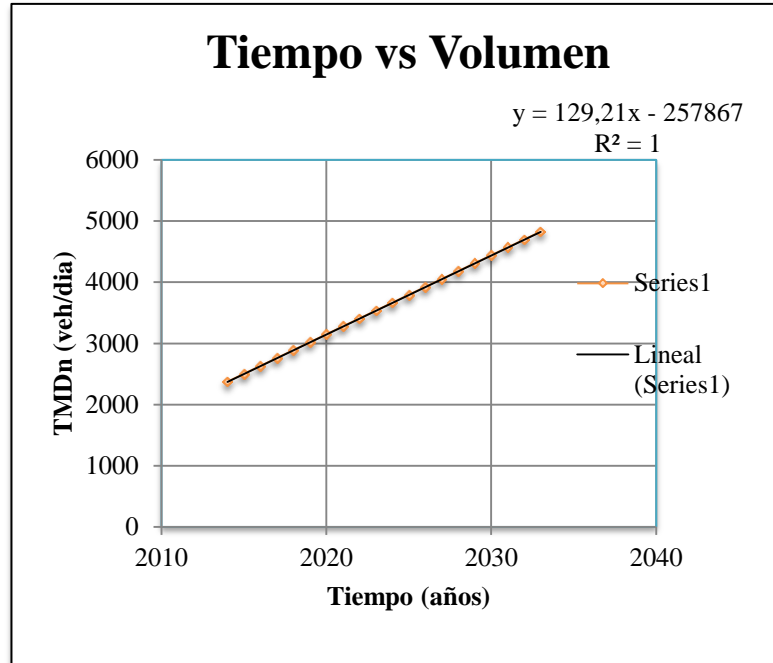
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,40$

Datos	
α	0,4
β	0,4

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,6
$1 - \beta$	0,6

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	1097		
2005	1219	1219	122
2006	1317	1327	113
2007	1484	1466	129

Años	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1466	129	2371
2015	1466	129	2500
2016	1466	129	2629
2017	1466	129	2759
2018	1466	129	2888
2019	1466	129	3017
2020	1466	129	3146
2021	1466	129	3275
2022	1466	129	3405
2023	1466	129	3534
2024	1466	129	3663
2025	1466	129	3792
2026	1466	129	3921
2027	1466	129	4051
2028	1466	129	4180
2029	1466	129	4309
2030	1466	129	4438
2031	1466	129	4568
2032	1466	129	4697
2033	1466	129	4826



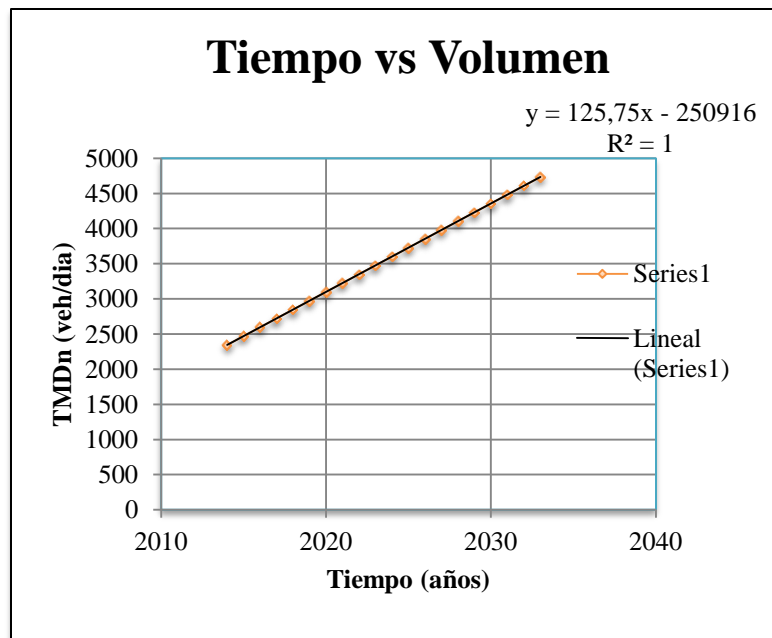
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,50$

Datos	
α	0,5
β	0,5

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,5
$1 - \beta$	0,5

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	1097		
2005	1219	1219	122
2006	1317	1329	116
2007	1484	1465	126

Años	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1465	126	2345
2014	1465	126	2471
2014	1465	126	2596
2014	1465	126	2722
2014	1465	126	2848
2014	1465	126	2974
2014	1465	126	3099
2014	1465	126	3225
2014	1465	126	3351
2014	1465	126	3477
2014	1465	126	3602
2014	1465	126	3728
2014	1465	126	3854
2014	1465	126	3980
2014	1465	126	4105
2014	1465	126	4231
2014	1465	126	4357
2014	1465	126	4483
2014	1465	126	4608
2014	1465	126	4734



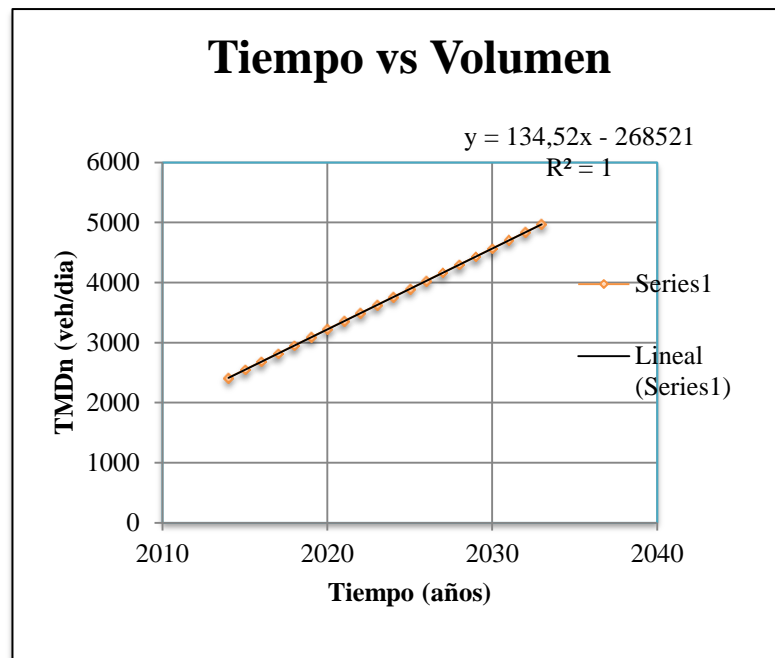
Determinación de la proyección de volúmenes para valores de α y $\beta = 0,60$

Datos	
α	0,6
β	0,6

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,4
$1 - \beta$	0,4

Año	Y (veh/día)	e	T
2004	1097		
2005	1219	1219	122
2006	1317	1331	118
2007	1484	1463	124

Años	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1463	124	2329
2015	1463	124	2453
2016	1463	124	2576
2017	1463	124	2700
2018	1463	124	2824
2019	1463	124	2947
2020	1463	124	3071
2021	1463	124	3195
2022	1463	124	3318
2023	1463	124	3442
2024	1463	124	3566
2025	1463	124	3689
2026	1463	124	3813
2027	1463	124	3937
2028	1463	124	4060
2029	1463	124	4184
2030	1463	124	4308
2031	1463	124	4431
2032	1463	124	4555
2033	1463	124	4679



3.5.4. Determinación de volúmenes de tráfico proyectado a partir del volumen determinado por el aforo.-

TRAMO 1 (CRUCE PANAMERICANO-PADCAAYA)

DATOS:

TPDA = 2300 (veh/día) (Volumen aforado)

$i = 9,14$ (%)

$$TMDn = 2300 * (1 + 9,14)^{(1-1)} = 2300 \text{ (veh/día)}$$

AÑO	n (años)	TMDo (veh/día)	i (%)	TMDn (veh/día)
213	1	2300	9,14	2300
2012	2	2300	9,14	2107
2011	3	2300	9,14	1931
2010	4	2300	9,14	1769
2009	5	2300	9,14	1621
2008	6	2300	9,14	1485

METODO DE HOLT-WINTER

Datos	
α	0,1
β	0,1

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,9
$1 - \beta$	0,9

$$e_3 = 0,10 * (1621 + 136) + (1 - 0,10) * 1769 = 1768$$

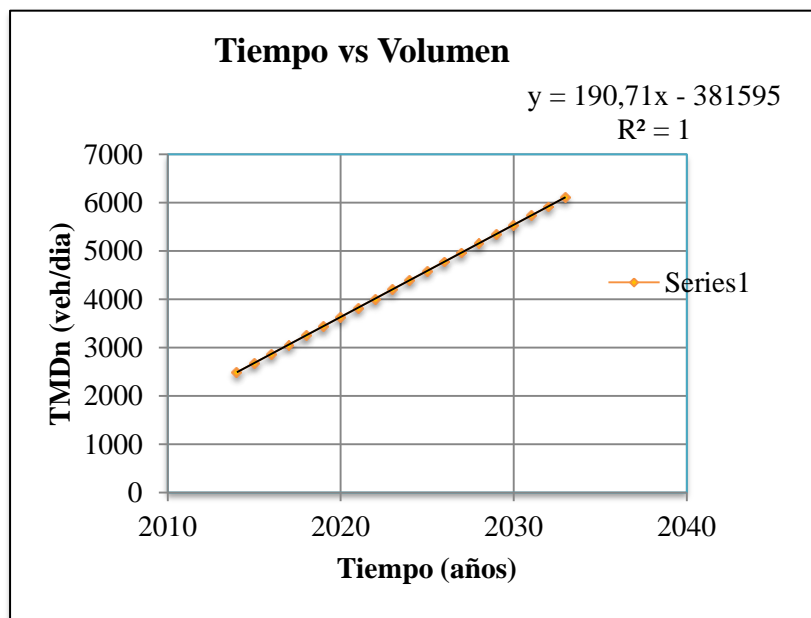
$$T_3 = 0,10 * 136 + (1 - 0,10) * (1768 - 1621) = 146$$

Año	Y (veh/día)	e	T
2008	1485		
2009	1621	1621	136
2010	1769	1768	146
2011	1931	1929	160
2012	2107	2106	175
2013	2300	2298	191

$$VTPDA = 2298 + 191 * 1 = 2489 \text{ (veh/día)}$$

Año	n	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1	2298	191	2489
2015	2	2298	191	2679
2016	3	2298	191	2870
2017	4	2298	191	3061
2018	5	2298	191	3252
2019	6	2298	191	3442
2020	7	2298	191	3633
2021	8	2298	191	3824
2022	9	2298	191	4014
2023	10	2298	191	4205
2024	11	2298	191	4396
2025	12	2298	191	4587

2026	13	2298	191	4777
2027	14	2298	191	4968
2028	15	2298	191	5159
2029	16	2298	191	5349
2030	17	2298	191	5540
2031	18	2298	191	5731
2032	19	2298	191	5921
2033	20	2298	191	6112



TRAMO 2 (TARIJA-PUERTA EL CHACO)

DATOS:

TPDA = 1310 (veh/día) (Volumen aforado)

i = 9,14 (%)

$$TMDn = 1310 * (1 + 9,14)^{(1-1)} = 1310 \text{ (veh/día)}$$

AÑO	n (años)	TMDo (veh/día)	i (%)	TMDn (veh/día)
2013	1	1310	9,14	1310
2012	2	1310	9,14	1200
2011	3	1310	9,14	1100
2010	4	1310	9,14	1008
2009	5	1310	9,14	923
2008	6	1310	9,14	846

METODO DE HOLT-WINTER

Datos	
α	0,1
β	0,1

Cálculos Intermedios	
$1 - \alpha$	0,9
$1 - \beta$	0,9

$$e_3 = 0,10 * (923 + 77) + (1 - 0,10) * 1008 = 1007$$

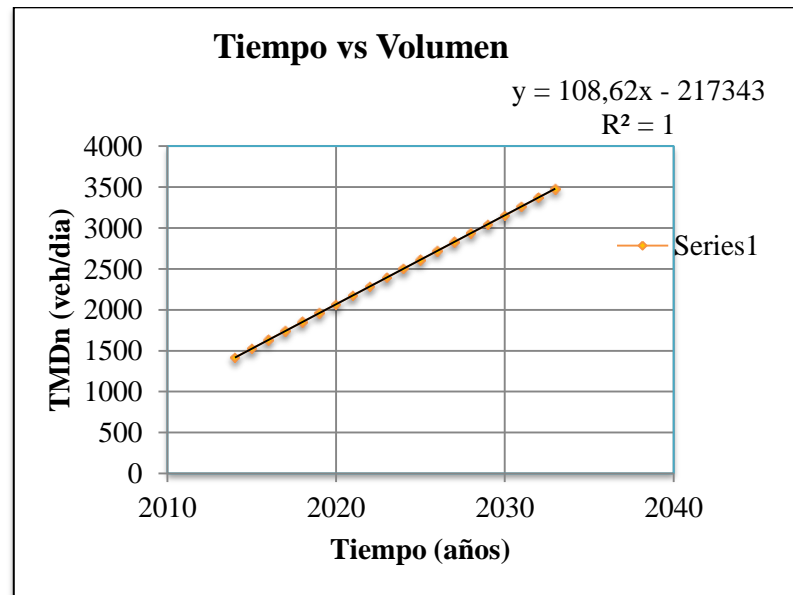
$$T_3 = 0,10 * 77 + (1 - 0,10) * (1007 - 923) = 83$$

Año	Y (veh/día)	e	T
2008	846		
2009	923	923	77
2010	1008	1007	83
2011	1100	1099	91
2012	1200	1199	99
2013	1310	1309	109

$$VTPDA = 1309 + 109 * 1 = 1417 \text{ (veh/día)}$$

Año	n	e	T	VTPDA (veh/día)
2014	1	1309	109	1417
2015	2	1309	109	1526
2016	3	1309	109	1635
2017	4	1309	109	1743

2018	5	1309	109	1852
2019	6	1309	109	1961
2020	7	1309	109	2069
2021	8	1309	109	2178
2022	9	1309	109	2286
2023	10	1309	109	2395
2024	11	1309	109	2504
2025	12	1309	109	2612
2026	13	1309	109	2721
2027	14	1309	109	2830
2028	15	1309	109	2938
2029	16	1309	109	3047
2030	17	1309	109	3155
2031	18	1309	109	3264
2032	19	1309	109	3373
2033	20	1309	109	3481



TRAMO 3 (TARIJA-SAN LORENZO)

DATOS:

TPDA = 2263 (veh/día) (Volumen aforado)

i = 9,14 (%)

$$TMDn = 2263 * (1 + 9,14)^{(1-1)} = 2263 \quad (\text{veh/día})$$

AÑO	n (años)	TMDo (veh/día)	i (%)	TMDn (veh/día)
2013	1	2263	9,14	2263
2012	2	2263	9,14	2073
2011	3	2263	9,14	1900
2010	4	2263	9,14	1741
2009	5	2263	9,14	1595
2008	6	2263	9,14	1461

METODO DE HOLT-WINTER

Datos		Cálculos Intermedios	
α	0,1	$1 - \alpha$	0,9
β	0,1	$1 - \beta$	0,9

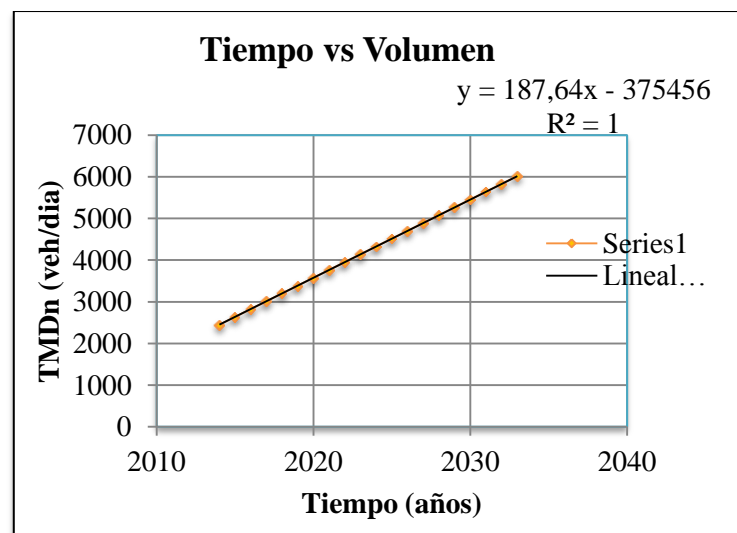
$$e_3 = 0,10 * (1595 + 134) + (1 - 0,10) * 1741 = 1740$$

$$T_3 = 0,10 * 134 + (1 - 0,10) * (1740 - 1595) = 143$$

Año	Y (veh/día)	e	T
2008	1461		
2009	1595	1595	134
2010	1741	1740	143
2011	1900	1898	157
2012	2073	2072	172
2013	2263	2261	188

$$VTPDA = 2261 + 188 * 1 = 2449 \text{ (veh/dia)}$$

Año	n	e	T	VTPDA (veh/dia)
2014	1	2261	188	2449
2015	2	2261	188	2636
2016	3	2261	188	2824
2017	4	2261	188	3012
2018	5	2261	188	3199
2019	6	2261	188	3387
2020	7	2261	188	3575
2021	8	2261	188	3762
2022	9	2261	188	3950
2023	10	2261	188	4137
2024	11	2261	188	4325
2025	12	2261	188	4513
2026	13	2261	188	4700
2027	14	2261	188	4888
2028	15	2261	188	5076
2029	16	2261	188	5263
2030	17	2261	188	5451
2031	18	2261	188	5639
2032	19	2261	188	5826
2033	20	2261	188	6014



3.6. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LOS VOLÚMENES DE TRÁFICO PROYECTADOS

Se realiza el análisis de los resultados por tramos.

3.6.1. Análisis de resultados del tramo (Cruce Panamericano-Padcaya)

3.6.1.1. Análisis comparativo gráfico de volúmenes

1.- Método de la tasa de crecimiento.-

Tabla Nro. 1

	i=8,14%	i=9,14%	i=10,14%
Año	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)
2014	1983	2096	2214
2015	2145	2288	2438
2016	2319	2497	2685
2017	2508	2726	2958
2018	2712	2975	3257
2019	2933	3247	3588
2020	3171	3544	3952
2021	3430	3868	4352
2022	3709	4221	4793
2023	4011	4608	5280
2024	4337	5029	5815
2025	4690	5489	6405
2026	5072	5991	7054
2027	5485	6539	7769
2028	5931	7136	8557
2029	6414	7789	9425
2030	6936	8501	10380
2031	7501	9279	11433
2032	8111	10127	12592
2033	8772	11053	13869

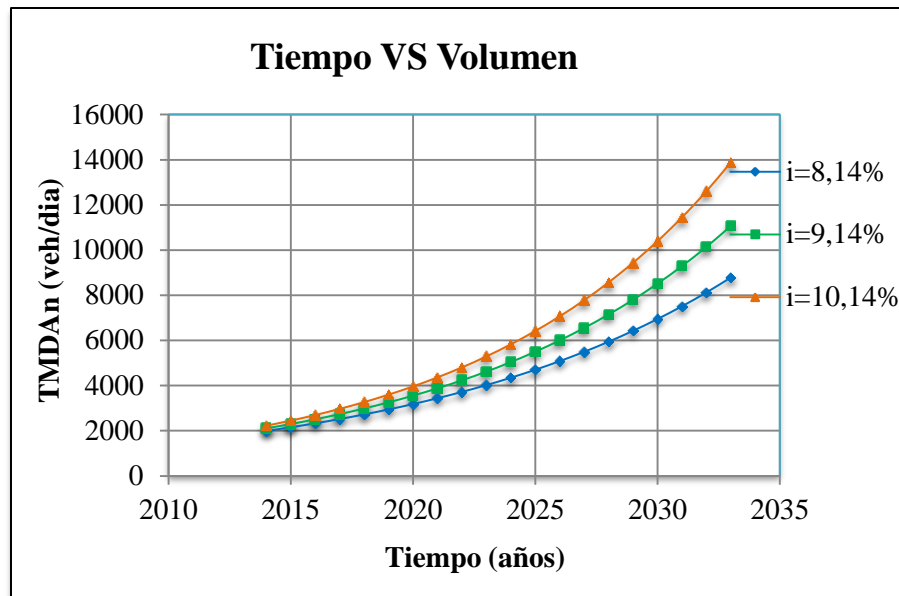


Gráfico Nro. 4

En la gráfica de volúmenes se ve la incidencia que produce el crecimiento o decrecimiento del índice de crecimiento.

Los volúmenes de tráfico proyectado desde el año 2014 hasta el año 2020 con diferentes índices de crecimiento, tienen casi la misma tendencia (tendencia lineal) lo que indica que los volúmenes proyectados son parecidos en el año 2020, por diferentes índices de crecimiento (3171 vehículos para un índice de 8,14%; 3544 vehículos para un índice de 9,14% y 3952 vehículos para un índice de 10,14%), lo que genera una diferencia entre volúmenes determinados por los tres índices de crecimiento de 372 y 408 vehículos en el año 2020.

A partir del año 2020 hasta el año 2025 los volúmenes proyectados van formando una tendencia curva, la diferencia de volúmenes calculados por diferentes índices va aumentando en el año 2025, cuya diferencia entre volúmenes es de 799 y 916 vehículos.

Y a partir del año 2025 hasta el año 2033 los volúmenes proyectados forman una tendencia curva, la diferencia de volúmenes calculados con diferentes índices de

crecimiento para el año 2033, es mayor (8772 vehículos para un índice de 8,14%; 11051 vehículos para un índice de 9,14% y 13869 vehículos para un índice de 10,14%) lo que se produce una diferencia entre los volúmenes proyectados para en el año 2033 por los diferentes índices de crecimiento de 2282 y 2816 vehículos.

Los volúmenes proyectados van incrementando en función a los años de proyección, a mayor cantidad de años de proyección, se tendrán volúmenes mayores.

2.- Métodos econométricos (regresiones lineales simples).-

Tabla Nro. 2

Año	TPDA (veh/día)
2014	1826
2015	2021
2016	2215
2017	2410
2018	2605
2019	2799
2020	2994
2021	3188
2022	3383
2023	3578
2024	3772
2025	3967
2026	4161
2027	4356
2028	4551
2029	4745
2030	4940
2031	5134
2032	5329
2033	5524

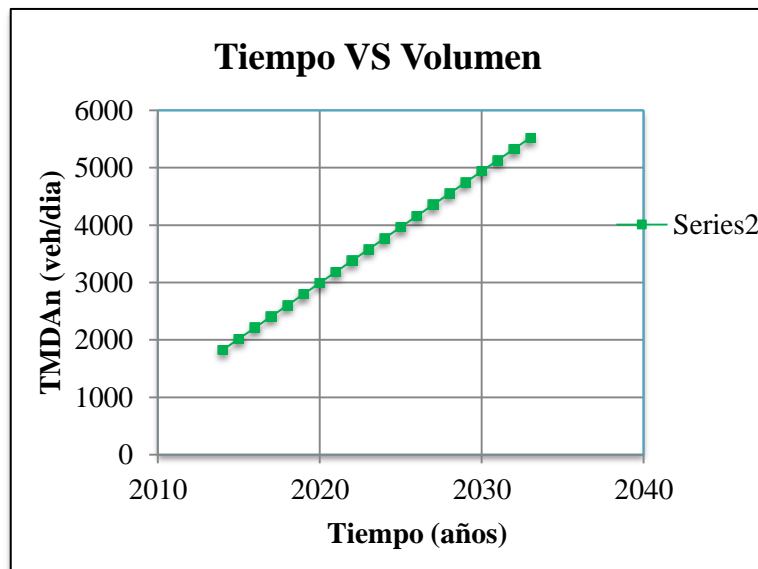


Gráfico Nro. 5

En la gráfica visualizada de volúmenes proyectados se ve una línea recta (de regresión) de tendencia lineal, se trata de un modelo del tipo lineal simple, en la cual los mismos puntos correspondientes a los volúmenes proyectados están formando la recta, todos los puntos están dentro de la tendencia.

Esto es debido a que hay una muy buena estimación de la intercepción y la pendiente de la recta, además de que el error entre cada valor observado a lo largo de la línea y cada valor predicho por la recta es cero.

Para todos los años de proyección la incidencia del volumen es el mismo, es un volumen de 195 vehículos, a medida que van aumentando los años de proyección, el volumen se incrementa en 195 vehículos más por cada año de proyección.

En el año 2014 se tiene un volumen de 1826 vehículos y para el año 2033 se tiene un volumen de 5524 vehículos, lo que se produce un incremento de 3698 vehículos desde el año 2014 hasta el año 2033.

3.- Método de Holt-Winter.-

Tabla Nro. 3

	$\alpha \beta=0,10$	$\alpha \beta=0,20$	$\alpha \beta=0,30$	$\alpha \beta=0,40$	$\alpha \beta=0,50$	$\alpha \beta=0,60$
Año	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)
2014	2569	2547	2567	2616	2683	2757
2015	2759	2734	2755	2810	2885	2969
2016	2950	2921	2944	3005	3088	3180
2017	3140	3107	3133	3199	3290	3391
2018	3330	3294	3322	3394	3493	3602
2019	3520	3481	3510	3588	3695	3814

2020	3710	3667	3699	3783	3898	4025
2021	3900	3854	3888	3977	4100	4236
2022	4091	4041	4077	4172	4303	4448
2023	4281	4228	4265	4366	4505	4659
2024	4471	4414	4454	4561	4708	4870
2025	4661	4601	4643	4755	4910	5081
2026	4851	4788	4832	4950	5113	5293
2027	5041	4974	5020	5144	5315	5504
2028	5232	5161	5209	5339	5518	5715
2029	5422	5348	5398	5533	5720	5927
2030	5612	5535	5587	5728	5923	6138
2031	5802	5721	5775	5923	6125	6349
2032	5992	5908	5964	6117	6328	6560
2033	6182	6095	6153	6312	6530	6772

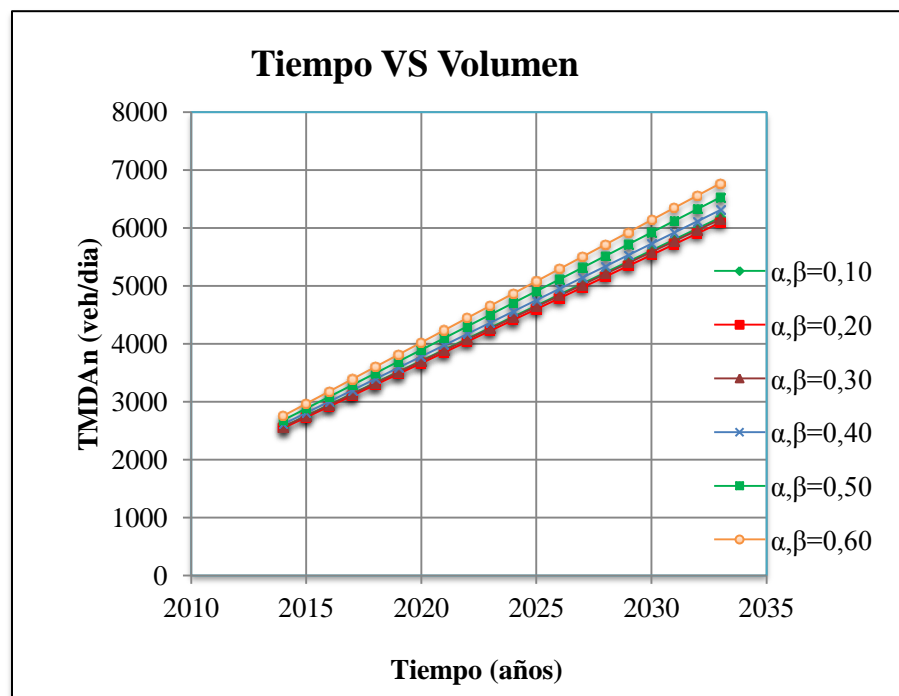


Gráfico Nro. 6

En la gráfica visualizada se ve la incidencia que se tiene al adoptar diferentes valores de α y β para la determinación de los volúmenes proyectados.

La línea graficada correspondiente a volúmenes proyectados con α y $\beta=0,10$ está superpuesta a la línea con volúmenes proyectados con α y $\beta=0,20$, esto ocurre porque los resultados de volúmenes para ambos valores son casi iguales, en el año 2014 se tiene un volumen de 2569 vehículos con α y $\beta=0,10$ y 2547 vehículos con α y $\beta=0,20$, la diferencia es de 22 vehículos, un 0,86%. En el año 2033 se tienen volúmenes de 6182 y 6095 vehículos con una diferencia de 87 vehículos, por esta razón es que las líneas están casi superpuestas.

Los volúmenes en los primeros cinco años (año 2014-año 2020), son similares por ejemplo los volúmenes proyectados en el año 2020 son: 3710, 3667, 3699, 3783, 3898 y 4025 vehículos, que obtienen una diferencia entre volúmenes proyectados para diferentes valores de α y β en el año 2020 de 43, 32, 84, 115 y 127 vehículos.

A partir del año 2020 la diferencia entre volúmenes se va incrementando, desde el año 2025 la diferencia entre volúmenes es mayor, es de 60, 42, 112, 155 y 171 vehículos y para el año 2033 se tienen volúmenes de 6182, 6095, 6153, 6312, 6530 y 6772 vehículos, con diferencias entre volúmenes de 88, 58, 159, 218 y 242 vehículos.

Los volúmenes proyectados que tienen la menor diferencia entre volúmenes en toda la proyección son con los valores de α y $\beta=0,10$ y $0,20$, esto ocurre porque son los valores más próximos a cero.

Las líneas correspondientes a volúmenes proyectados con diferentes valores de α y β son de tendencia lineal, porque los volúmenes crecen en cada año de proyección con un volumen de 190 cuando α y $\beta=0,10$; 187 vehículos cuando α y $\beta=0,20$; 189 vehículos cuando α y $\beta=0,30$; 195 vehículos cuando α y $\beta=0,40$; 203 vehículos cuando α y $\beta=0,50$ y 211 vehículos cuando α y $\beta=0,60$, en todos los años de la proyección.

3.6.1.2. Análisis comparativo de resultados obtenidos por diferentes métodos.-

Tabla Nro. 4

Año	TPDA (veh/día) Método 1	TPDA (veh/día) Método 2	TPDA (veh/día) Método 3
2014	2096	1826	2569
2015	2288	2021	2759
2016	2497	2215	2950
2017	2726	2410	3140
2018	2975	2605	3330
2019	3247	2799	3520
2020	3544	2994	3710
2021	3868	3188	3900
2022	4221	3383	4091
2023	4608	3578	4281
2024	5029	3772	4471
2025	5489	3967	4661
2026	5991	4161	4851
2027	6539	4356	5041
2028	7136	4551	5232
2029	7789	4745	5422
2030	8501	4940	5612
2031	9279	5134	5802
2032	10127	5329	5992
2033	11053	5524	6182

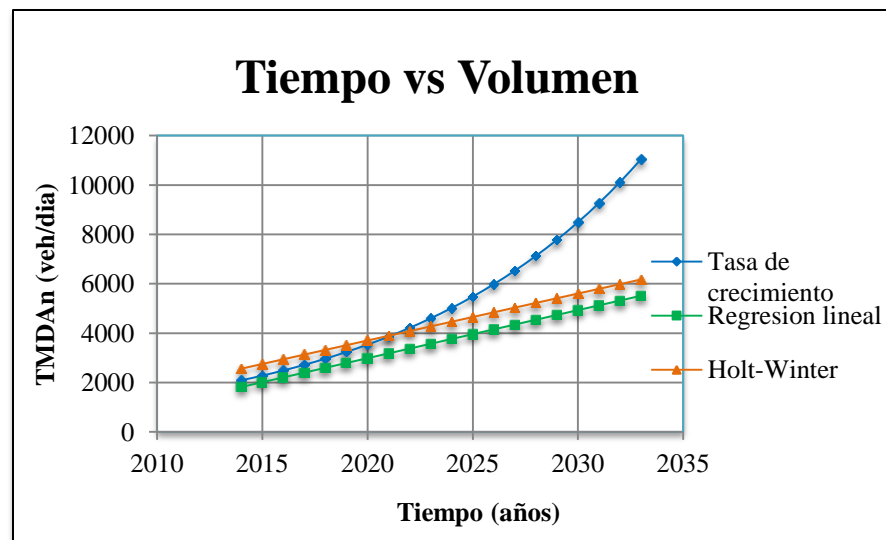


Gráfico Nro. 7

En los resultados obtenidos se ve la diferencia entre los volúmenes proyectados por los diferentes métodos, método de la tasa de crecimiento con un índice de crecimiento de 9,14%; métodos econométricos (regresión lineal) y método de Holt-Winter con valores de α y $\beta=0,10$.

En el año 2014 se tienen volúmenes proyectados por los tres métodos de 2096, 1826 y 2569 vehículos, la diferencia entre el volumen proyectado por la tasa de crecimiento y regresiones lineales son aproximados con una diferencia de 270 vehículos, mientras que la diferencia entre el de Holt-Winter y la tasa de crecimiento es de 473 vehículos, y la diferencia entre el de Holt-Winter y regresión lineal es de 743 vehículos, en el de Holt-Winter se tiene mayor diferencia de volúmenes con respecto a los otros métodos en el año 2014.

En el año 2021 los volúmenes proyectados con la tasa de crecimiento, 3868 vehículos, y con el método de Holt-Winter, 3900 vehículos, son aproximados con una diferencia de 33 vehículos y la diferencia entre el método de regresión lineal respecto a los otros métodos es mayor con un volumen de 3188 vehículos, un volumen menor que el de los otros métodos.

La diferencia de volúmenes proyectados con el método de regresión lineal y el método de Holt-Winter es casi constante en toda la proyección, con un volumen 1826 vehículos proyectados por regresión lineal y 2569 vehículos proyectados por Holt-Winter, obteniendo una diferencia de 743 vehículos para el año 2014, y el año 2033 se tiene un volumen de 5524 y 6182 vehículos, con una diferencia de 659 vehículos.

El volumen proyectado por la tasa de crecimiento en el año 2033 es de 11053 vehículos, volumen que se dispara demasiado con respecto a los volúmenes de los otros métodos.

Los volúmenes proyectados para el año 2033 por los tres métodos son de 11053, 5524 y 6182 vehículos, como se observa en la gráfica los volúmenes proyectados por el método de Holt-Winter están dentro de la diferencia de volúmenes entre los otros dos métodos, la diferencia entre Holt-Winter y la tasa de crecimiento es de 4871 vehículos y la diferencia entre Holt-Winter y regresión lineal es de 659 vehículos, mientras que la diferencia de volumen entre la tasa de crecimiento y regresión lineal es de 5530 vehículos, en el año 2033.

3.6.1.3. Análisis comparativo de resultados obtenidos por diferentes métodos y resultado obtenido mediante el aforo en el año 2013.-

Año	TPDA (veh/día) Aforo	TPDA (veh/día) Método 1	TPDA (veh/día) Método 2	TPDA (veh/día) Método 3
2013	2300	1921	1632	2379
100 (%)		16	29	3

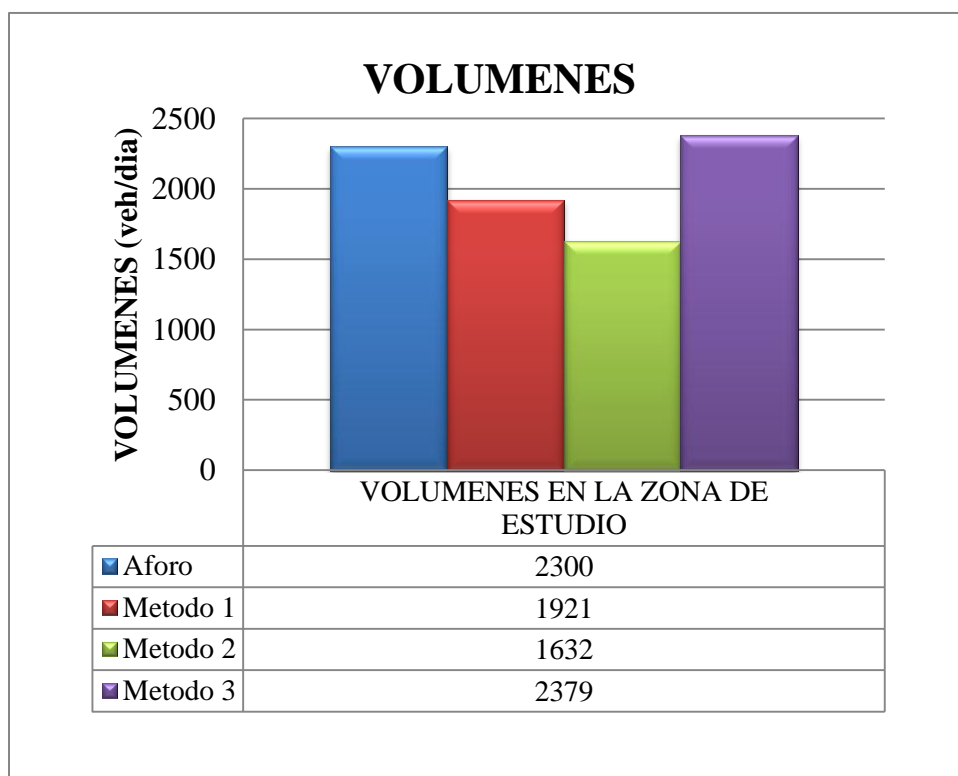


Gráfico Nro. 8

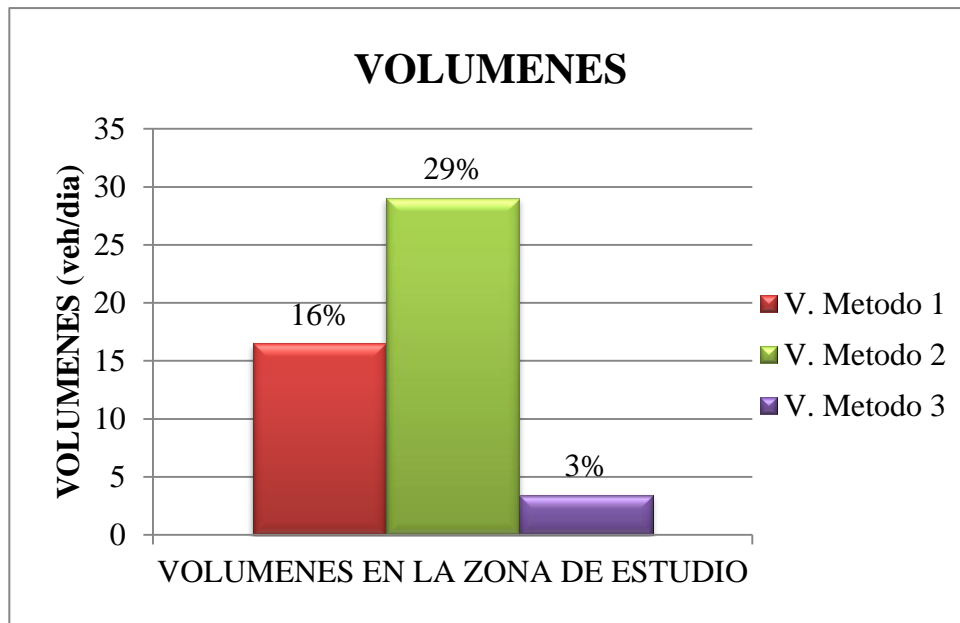


Gráfico Nro. 9

Los resultados obtenidos nos muestran que la diferencia entre los volúmenes determinado mediante el aforo realizado y el volumen determinado por el método de la tasa de crecimiento es de 379 vehículos, la diferencia de volumen determinado por el aforo y el método de regresiones lineales es de 668 vehículos y la diferencia entre volúmenes determinado por el aforo y el método de Holt-Winter es de 79 vehículos.

El volumen determinado con el método de Holt-Winter de 2379 vehículos y el volumen determinado con el aforo realizado de 2300 vehículos son los que más se parecen con tan solo una diferencia de 79 vehículos, lo que produce un 3% de diferencia entre volúmenes en el año 2013.

La diferencia de volúmenes determinados con los otros métodos y el volumen determinado con el aforo es mayor, 16% con la tasa de crecimiento y 29% con regresión lineal, volúmenes menores al volumen aforado.

3.6.2. Análisis de resultados del tramo (Tarija-Puerta El Chaco)

3.6.2.1. Análisis comparativo gráfico de volúmenes

1.- Método de la tasa de crecimiento.-

Tabla Nro. 5

Año	i=8,14%	i=9,14%	i=10,14%
	TPDA (veh/día) Método 1	TPDA (veh/día) Método 2	TPDA (veh/día) Método 3
2014	1262	1334	1408
2015	1365	1456	1551
2016	1476	1589	1709
2017	1596	1734	1882
2018	1726	1893	2073
2019	1866	2066	2283
2020	2018	2255	2514
2021	2182	2461	2769
2022	2360	2686	3050
2023	2552	2932	3359
2024	2760	3200	3700
2025	2984	3492	4075
2026	3227	3812	4488
2027	3490	4160	4943
2028	3774	4541	5445
2029	4081	4956	5997
2030	4413	5409	6605
2031	4773	5904	7275
2032	5161	6444	8012
2033	5581	7033	8825

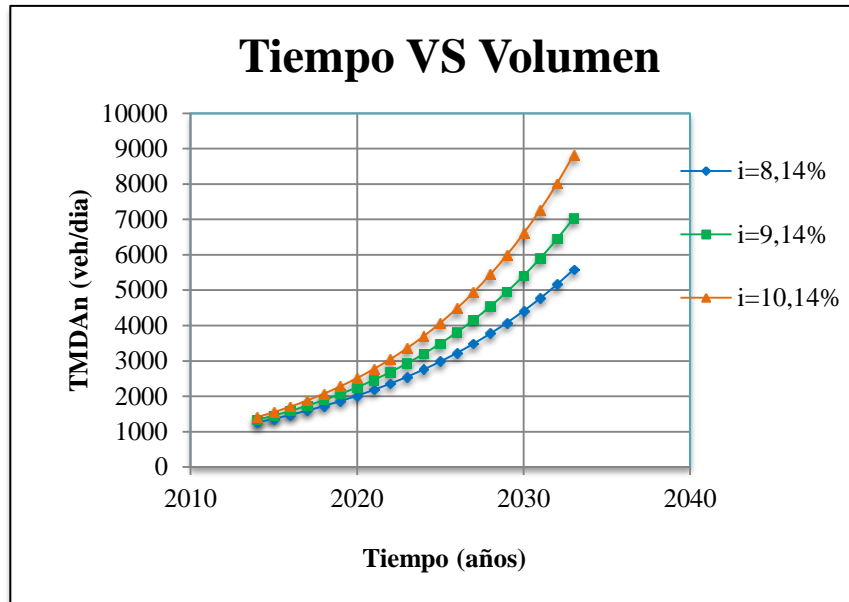


Gráfico Nro.10

En la gráfica de volúmenes se ve la incidencia que produce el crecimiento o decrecimiento del índice de crecimiento.

Los volúmenes de tráfico proyectado desde el año 2014 hasta el año 2020 con diferentes índices de crecimiento, tienen casi la misma tendencia (tendencia lineal) lo que indica que los volúmenes proyectados son parecidos en el año 2020, por diferentes índices de crecimiento (2018 vehículos para un índice de 8,14%; 2255 vehículos para un índice de 9,14% y 2514 vehículos para un índice de 10,14%), lo que genera una diferencia entre volúmenes determinados por los tres índices de crecimiento de 237 y 259 vehículos en el año 2020.

A partir del año 2020 hasta el año 2025 los volúmenes proyectados van formando una tendencia curva, la diferencia de volúmenes calculados por diferentes índices va aumentando en el año 2025, cuya diferencia entre volúmenes es de 508 y 583 vehículos.

Y a partir del año 2025 hasta el año 2033 los volúmenes proyectados forman una tendencia curva, la diferencia de volúmenes calculados con diferentes índices de crecimiento para el año 2033, es mayor (5581 vehículos para un índice de 8,14%; 7033 vehículos para un índice de 9,14% y 8825 vehículos para un índice de 10,14%) lo que se produce una diferencia entre los volúmenes proyectados para en el año 2033 por los diferentes índices de crecimiento de 1452 y 1792 vehículos.

Los volúmenes proyectados van incrementando en función a los años de proyección, a mayor cantidad de años de proyección, se tendrán volúmenes mayores.

2.- Métodos econométricos (regresiones lineales simples).-

Tabla Nro. 6

Año	TPDA (veh/día)
2014	973
2015	1039
2016	1105
2017	1171
2018	1237
2019	1303
2020	1369
2021	1435
2022	1502
2023	1568
2024	1634
2025	1700
2026	1766
2027	1832
2028	1898
2029	1964
2030	2031
2031	2097
2032	2163
2033	2229

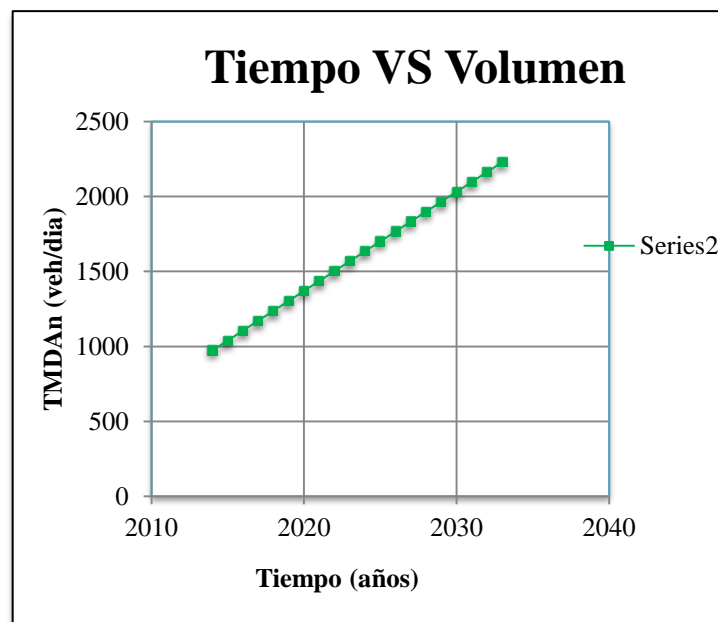


Gráfico Nro. 11

En la gráfica de volúmenes proyectados se puede visualizar una línea recta (de regresión) de tendencia lineal, se trata de un modelo del tipo lineal simple, en la cual los mismos puntos correspondientes a los volúmenes proyectados están formando la recta, todos los puntos están dentro de la tendencia.

Esto es debido a que hay una muy buena estimación de la intercepción y la pendiente de la recta, además de que el error entre cada valor observado a lo largo de la línea y cada valor predicho por la recta es cero.

Para todos los años de proyección la incidencia del volumen es el mismo, es un volumen de 66 vehículos, a medida que van aumentando los años de proyección, el volumen se incrementa en 66 vehículos más por cada año de proyección.

En el año 2014 se tiene un volumen de 973 vehículos y para el año 2033 se tiene un volumen de 2229 vehículos, lo que se produce un incremento de 1256 vehículos desde el año 2014 hasta el año 2033.

3.- Método de Holt-Winter

Tabla Nro. 7

	$\alpha \beta=0,10$	$\alpha \beta=0,20$	$\alpha \beta=0,30$	$\alpha \beta=0,40$	$\alpha \beta=0,50$	$\alpha \beta=0,60$
Año	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)
2014	1422	1361	1304	1252	1205	1165
2015	1513	1444	1380	1321	1268	1223
2016	1604	1527	1455	1390	1332	1281
2017	1695	1610	1531	1459	1395	1339
2018	1786	1693	1607	1528	1458	1398
2019	1877	1777	1683	1597	1521	1456

2020	1968	1860	1758	1666	1584	1514
2021	2059	1943	1834	1735	1647	1572
2022	2151	2026	1910	1804	1710	1630
2023	2242	2109	1985	1873	1774	1689
2024	2333	2192	2061	1942	1837	1747
2025	2424	2275	2137	2011	1900	1805
2026	2515	2358	2213	2080	1963	1863
2027	2606	2441	2288	2149	2026	1921
2028	2697	2524	2364	2218	2089	1980
2029	2788	2608	2440	2287	2153	2038
2030	2879	2691	2515	2356	2216	2096
2031	2970	2774	2591	2425	2279	2154
2032	3061	2857	2667	2494	2342	2212
2033	3153	2940	2742	2563	2405	2271

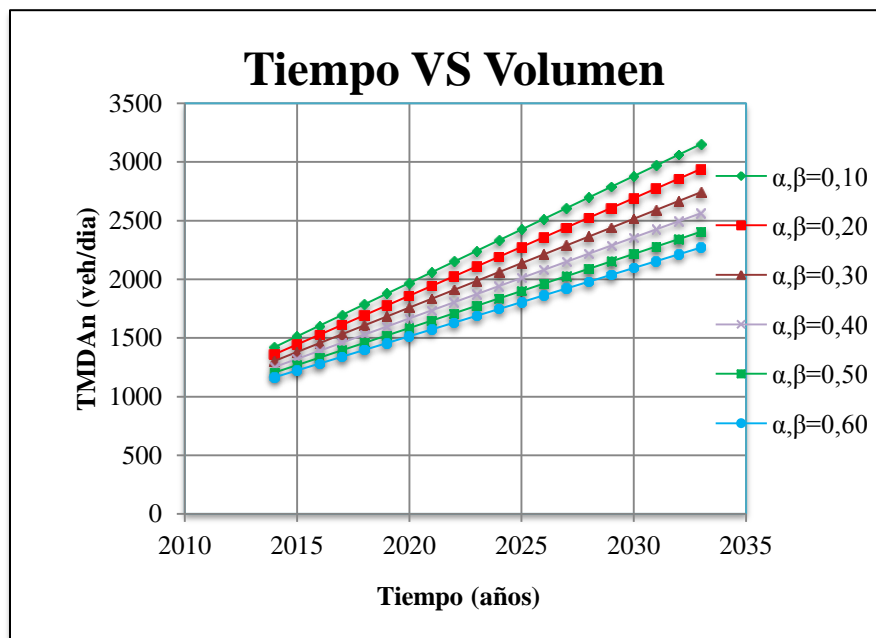


Gráfico Nro. 12

En la gráfica visualizada se ve la incidencia que se tiene al adoptar diferentes valores de α y β para la determinación de los volúmenes proyectados.

Los volúmenes en los primeros cinco años (año 2014-año 2020), son similares por ejemplo los volúmenes proyectados en el año 2014 son: 1422, 1361, 1304, 1252, 1205 y 1165 vehículos con diferencia entre volúmenes de 61, 57, 52, 47 y 40 vehículos y para el año 2020 son: 1968, 1860, 1758, 1666, 1584 y 1514 vehículos, que obtienen una diferencia entre volúmenes proyectados para diferentes valores de α y β en el año 2020 de 109, 101, 92, 82 y 70 vehículos.

A partir del año 2020 la diferencia entre volúmenes se va incrementando, desde el año 2025 la diferencia entre volúmenes es mayor, es de 149, 138, 126, 111 y 95 vehículos y para el año 2033 se tienen volúmenes de 3153, 2940, 2742, 2563, 2405 y 2271 vehículos, con diferencias entre volúmenes de 213, 197, 179, 158 y 135 vehículos.

Los resultados más elevados son con valores de α y β más próximos a uno y con valores de α y β más alejados de cero los resultados son menores.

Las líneas correspondientes a volúmenes proyectados con diferentes valores de α y β son de tendencia lineal, porque los volúmenes crecen en cada año de proyección con un volumen de 91 cuando α y $\beta=0,10$; 83 vehículos cuando α y $\beta=0,20$; 76 vehículos cuando α y $\beta=0,30$; 69 vehículos cuando α y $\beta=0,40$; 63 vehículos cuando α y $\beta=0,50$ y 58 vehículos cuando α y $\beta=0,60$, en todos los años de la proyección.

Los volúmenes proyectados van incrementando en función a los años de proyección, a mayor cantidad de años de proyección, se tendrán volúmenes mayores.

La diferencia entre los volúmenes proyectados es casi constante en toda la proyección, a mayor cantidad de años de proyección la diferencia de volúmenes proyectados por diferentes valores de α y β aumenta, como se visualiza en la gráfica por ejemplo en el año 2014 todas las rectas están casi unidas y en el año 2033 hay una separación entre rectas, la separación de recta a recta es similar.

3.6.2.2. Análisis comparativo de resultados obtenidos por diferentes métodos.-

Tabla Nro. 8

Año	TPDA (veh/día) Método 1	TPDA (veh/día) Método 2	TPDA (veh/día) Método 3
2014	1334	973	1422
2015	1456	1039	1513
2016	1589	1105	1604
2017	1734	1171	1695
2018	1893	1237	1786
2019	2066	1303	1877
2020	2255	1369	1968
2021	2461	1435	2059
2022	2686	1502	2151
2023	2932	1568	2242
2024	3200	1634	2333
2025	3492	1700	2424
2026	3812	1766	2515
2027	4160	1832	2606
2028	4541	1898	2697
2029	4956	1964	2788
2030	5409	2031	2879
2031	5904	2097	2970
2032	6444	2163	3061
2033	7033	2229	3153

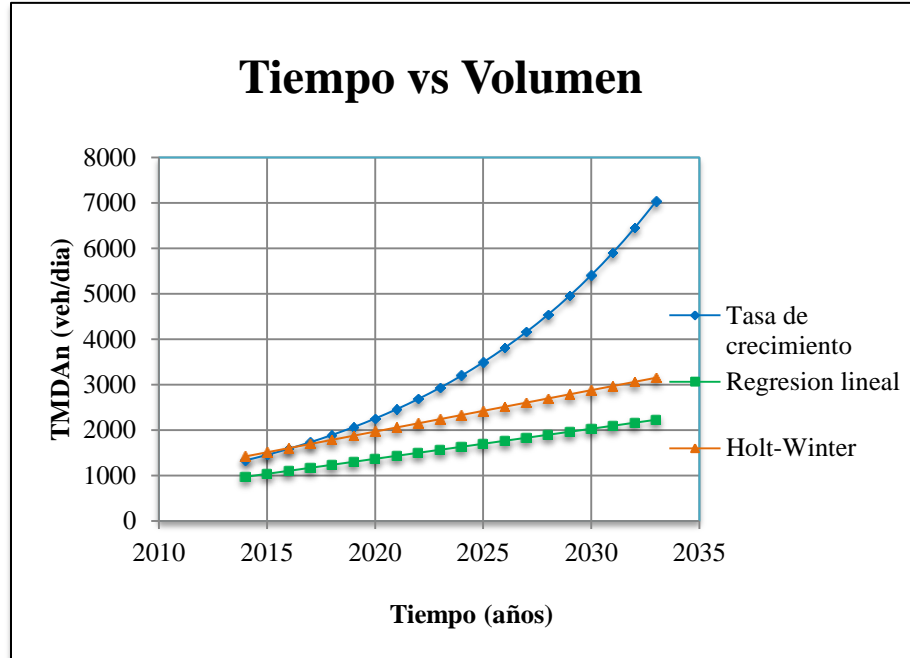


Gráfico Nro. 13

En los resultados obtenidos se ve la diferencia entre los volúmenes proyectados por los diferentes métodos, método de la tasa de crecimiento con un índice de crecimiento de 9,14%; métodos econométricos (regresión lineal) y método de Holt-Winter con valores de α y $\beta=0,10$.

En el año 2014 se tienen volúmenes proyectados por los tres métodos de 1334, 973 y 1422 vehículos, la diferencia entre el volumen proyectado por la tasa de crecimiento y por Holt-Winter son aproximados con una diferencia de 88 vehículos, mientras que la diferencia entre el de regresión lineal y la tasa de crecimiento es de 361 vehículos, y la diferencia entre el de regresión lineal y Holt-Winter es de 449 vehículos, en el de regresión lineal se tiene mayor diferencia de volúmenes con respecto a los otros métodos en el año 2014.

Hasta el año 2016 los volúmenes proyectados por la tasa de crecimiento y Holt-Winter son similares, es decir que la diferencia entre ambos valores es mínima hasta el año 2016 (1589 y 1604 vehículos) con una diferencia de 15 vehículos, a partir de la año 2017 la diferencia de volúmenes proyectados por los dos métodos se incrementa como se ve en la gráfica.

La diferencia de volúmenes proyectados con el método de regresión lineal y el método de Holt-Winter es casi constante en toda la proyección, con un volumen de 973 vehículos proyectados por regresión lineal y 1422 vehículos proyectados por Holt-Winter, obteniendo una diferencia de 449 vehículos para el año 2014, y el año 2033 se tiene un volumen de 2229 y 3153 vehículos, con una diferencia de 924 vehículos.

El volumen proyectado por la tasa de crecimiento en el año 2033 es de 7033 vehículos, volumen que se dispara demasiado con respecto a los volúmenes de los otros métodos.

Los volúmenes proyectados para el año 2033 por los tres métodos son de 7033, 2229 y 3153 vehículos, como se observa en la gráfica los volúmenes proyectados por el método de Holt-Winter están dentro de la diferencia de volúmenes entre los otros dos métodos, la diferencia entre Holt-Winter y la tasa de crecimiento es de 3881 vehículos y la diferencia entre Holt-Winter y regresión lineal es de 924 vehículos, mientras que la diferencia de volumen entre la tasa de crecimiento y regresión lineal es de 4804 vehículos, en el año 2033.

3.6.2.3. Análisis comparativo de resultados obtenidos por diferentes métodos y resultado obtenido mediante el aforo en el año 2013.-

Año	TPDA (veh/día) Aforo	TPDA (veh/día) Método 1	TPDA (veh/día) Método 2	TPDA (veh/día) Método 3
2013	1310	1222	907	1331
100 (%)		6,72	30,76	1,60

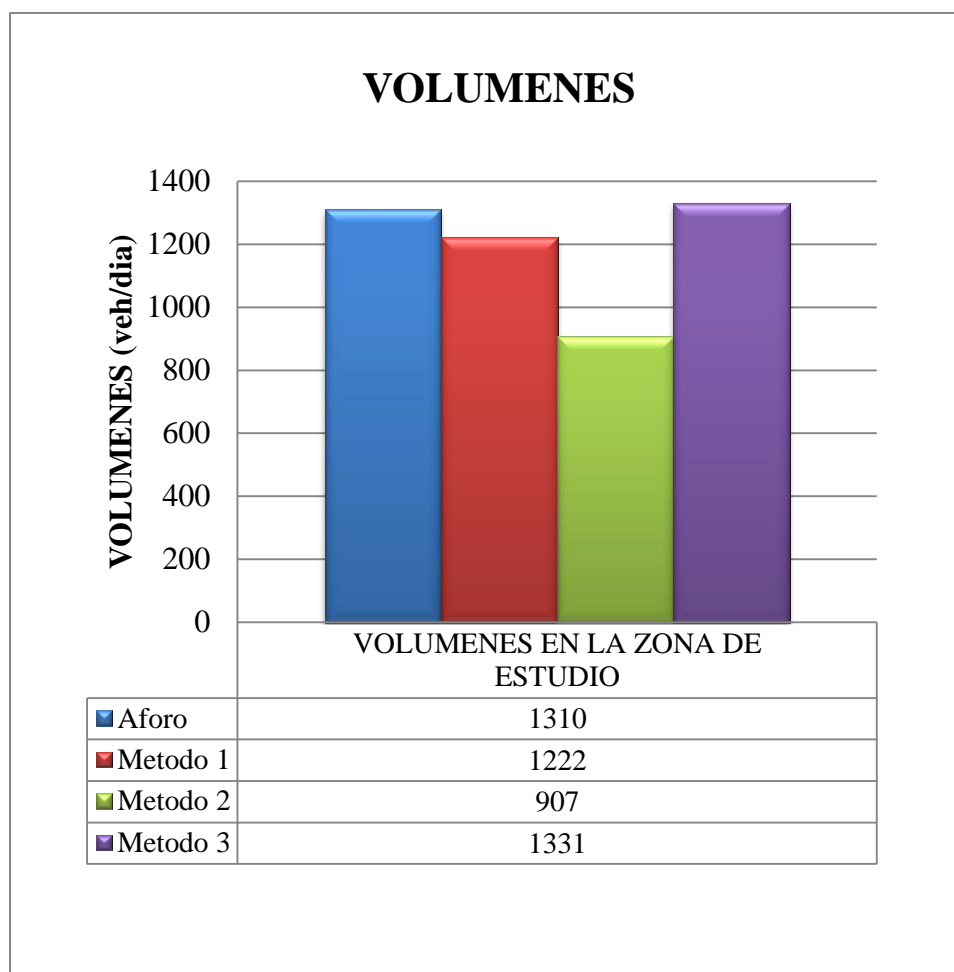


Grafico Nro. 14

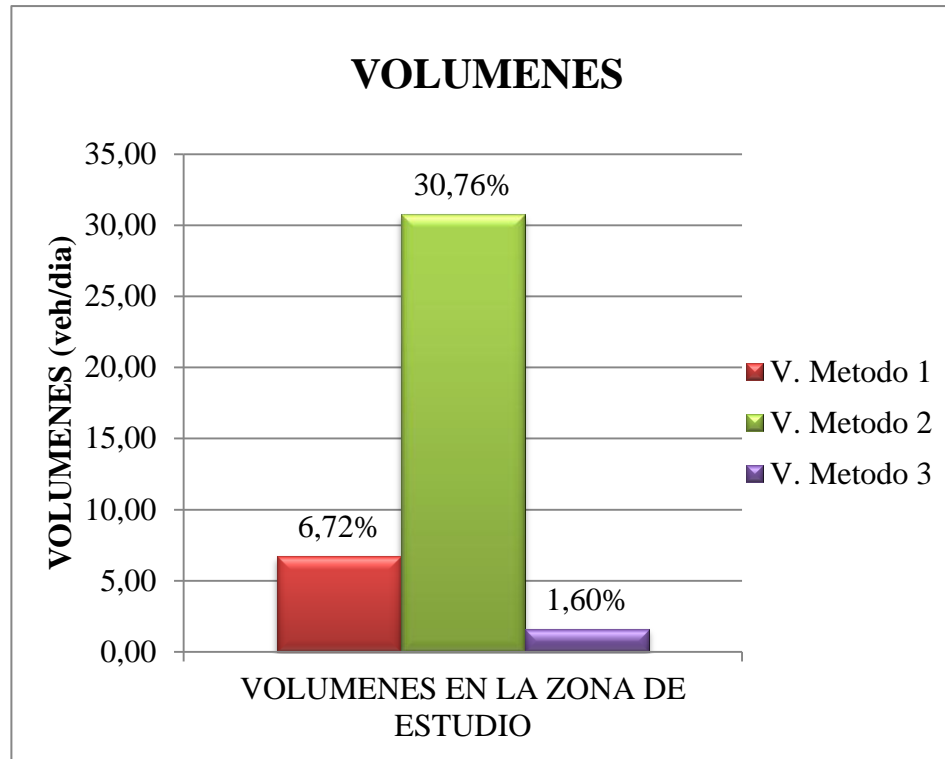


Gráfico Nro. 15

Los resultados obtenidos nos muestran que la diferencia entre los volúmenes determinado mediante el aforo realizado y el volumen determinado por el método de la tasa de crecimiento es de 88 vehículos, la diferencia de volúmenes determinados por el aforo y el método de regresiones lineales es de 403 vehículos y la diferencia entre volúmenes determinado por el aforo y el método de Holt-Winter es de 21 vehículos.

El volumen determinado con el método de Holt-Winter de 1331 vehículos y el volumen determinado con el aforo realizado de 1310 vehículos son los que más se parecen con tan solo una diferencia de 21 vehículos, lo que produce 1,60% de diferencia entre volúmenes en el año 2013.

La diferencia de volúmenes determinados con los otros métodos y el volumen determinado con el aforo es mayor, sobre todo con el de regresión lineal con una

diferencia de 30,76 % y con una diferencia de 6,72% con el método de la tasa de crecimiento con respecto al volumen determinado mediante el aforo, volúmenes menores al volumen aforado con 1310 vehículos determinados por el aforo, 1222 vehículos determinados por la tasa de crecimiento y 907 vehículos determinados por regresión lineal.

3.6.3. Análisis de resultados del tramo (Tarija-San Lorenzo)

3.6.3.1. Análisis comparativo gráfico de volúmenes

1.- Método de la tasa de crecimiento.-

Tabla Nro. 9

	i=8,14%	i=9,14%	i=10,14%
Año	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)
2014	2373	2509	2649
2015	2566	2738	2918
2016	2775	2989	3214
2017	3001	3262	3539
2018	3246	3560	3898
2019	3510	3886	4294
2020	3796	4241	4729
2021	4104	4629	5209
2022	4439	5052	5737
2023	4800	5514	6318
2024	5191	6018	6959
2025	5613	6569	7665
2026	6070	7170	8442
2027	6564	7825	9298
2028	7098	8541	10241
2029	7676	9322	11279
2030	8301	10174	12423
2031	8977	11105	13683
2032	9707	12120	15070
2033	10498	13229	16598

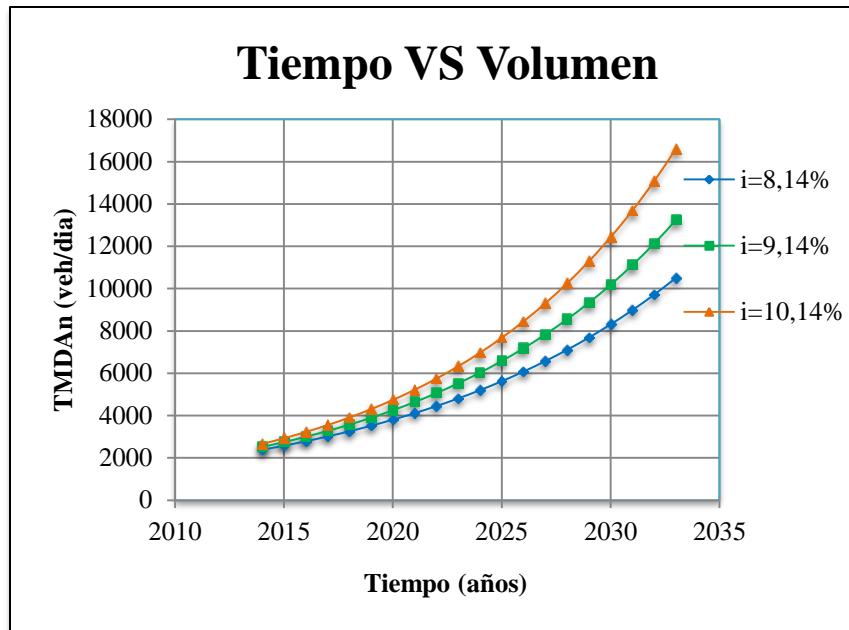


Gráfico Nro. 16

En la gráfica de volúmenes se ve la incidencia que produce el crecimiento o decrecimiento del índice de crecimiento.

Los volúmenes de tráfico proyectado desde el año 2014 hasta el año 2020 con diferentes índices de crecimiento, tienen casi la misma tendencia (tendencia lineal) lo que indica que los volúmenes proyectados son muy parecidos en el año 2020, por diferentes índices de crecimiento (3796 vehículos para un índice de 8,14%; 4241 vehículos para un índice de 9,14% y 4729 vehículos para un índice de 10,14%), lo que genera una diferencia entre volúmenes determinados por los tres índices de crecimiento de 446 y 488 vehículos en el año 2020.

A partir del año 2020 hasta el año 2025 los volúmenes proyectados van formando una tendencia curva, la diferencia de volúmenes calculados por diferentes índices va aumentando en el año 2025, cuya diferencia entre volúmenes es de 956 y 1096 vehículos.

Y a partir del año 2025 hasta el año 2033 los volúmenes proyectados forman una tendencia curva, la diferencia de volúmenes calculados con diferentes índices de

crecimiento para el año 2033, es mayor (10498 vehículos para un índice de 8,14%; 13229 vehículos para un índice de 9,14% y 16598 vehículos para un índice de 10,14%) lo que se produce una diferencia entre los volúmenes proyectados para en el año 2033 por los diferentes índices de crecimiento de 2731 y 3370 vehículos.

Los volúmenes proyectados van incrementando en función a los años de proyección, a mayor cantidad de años de proyección, se tendrán volúmenes mayores.

2.- Métodos econométricos (regresiones lineales simples).-

Tabla Nro. 10

Año	TPDA (veh/día)
2014	1846
2015	1972
2016	2098
2017	2224
2018	2349
2019	2475
2020	2601
2021	2727
2022	2853
2023	2979
2024	3105
2025	3231
2026	3357
2027	3483
2028	3608
2029	3734
2030	3860
2031	3986
2032	4112
2033	4238

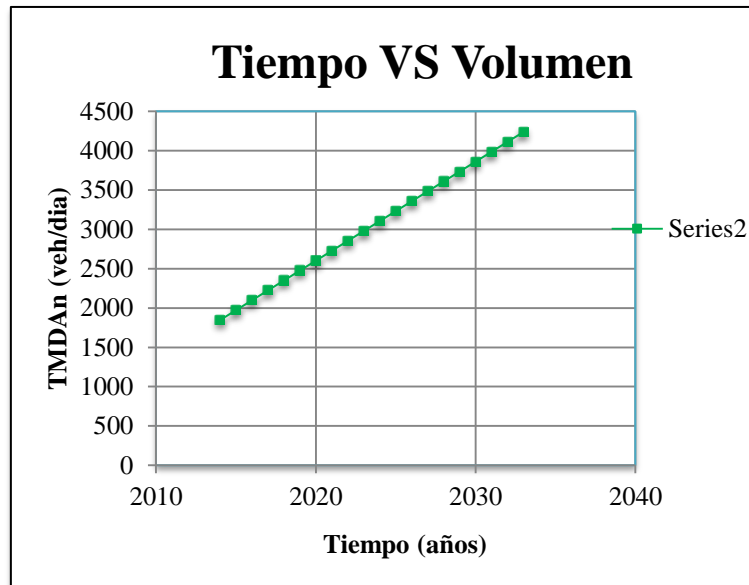


Gráfico Nro. 17

En la gráfica de volúmenes proyectados se ve una línea recta (de regresión) de tendencia lineal, se trata de un modelo del tipo lineal simple, en la cual los mismos puntos correspondientes a los volúmenes proyectados están formando la recta, todos los puntos están dentro de la tendencia.

Esto es debido a que hay una muy buena estimación de la intercepción y la pendiente de la recta, además de que el error entre cada valor observado a lo largo de la línea y cada valor predicho por la recta es cero.

Para todos los años de proyección la incidencia del volumen es el mismo, es un volumen de 126 vehículos, a medida que van aumentando los años de proyección, el volumen se incrementa en 126 vehículos más por cada año de proyección.

En el año 2014 se tiene un volumen de 1846 vehículos y para el año 2033 se tiene un volumen de 4238 vehículos, lo que se produce un incremento de 2205 vehículos desde el año 2014 hasta el año 2033.

3.- Método de Holt-Winter.-

Tabla Nro. 11

	$\alpha \beta=0,10$	$\alpha \beta=0,20$	$\alpha \beta=0,30$	$\alpha \beta=0,40$	$\alpha \beta=0,50$	$\alpha \beta=0,60$
Año	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)	TPDA (veh/día)
2014	2547	2468	2411	2371	2345	2329
2015	2700	2610	2545	2500	2471	2453
2016	2853	2753	2680	2629	2596	2576
2017	3006	2895	2814	2759	2722	2700
2018	3159	3037	2949	2888	2848	2824
2019	3312	3179	3083	3017	2974	2947
2020	3464	3321	3218	3146	3099	3071
2021	3617	3464	3352	3275	3225	3195

2022	3770	3606	3487	3405	3351	3318
2023	3923	3748	3622	3534	3477	3442
2024	4076	3890	3756	3663	3602	3566
2025	4228	4032	3891	3792	3728	3689
2026	4381	4175	4025	3921	3854	3813
2027	4534	4317	4160	4051	3980	3937
2028	4687	4459	4294	4180	4105	4060
2029	4840	4601	4429	4309	4231	4184
2030	4992	4743	4563	4438	4357	4308
2031	5145	4886	4698	4568	4483	4431
2032	5298	5028	4832	4697	4608	4555
2033	5451	5170	4967	4826	4734	4679

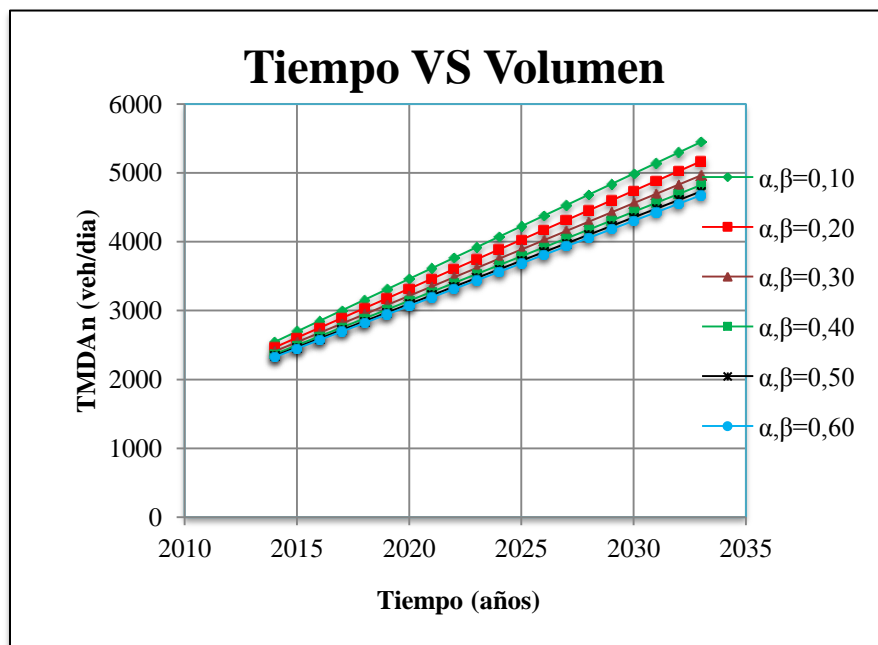


Gráfico Nro. 18

En la gráfica visualizada se ve la incidencia que se tiene al adoptar diferentes valores de α y β para la determinación de los volúmenes proyectados.

La línea graficada correspondiente a volúmenes proyectados con α y $\beta=0,50$ está superpuesta a la línea con volúmenes proyectados con α y $\beta=0,60$, esto ocurre porque los resultados de volúmenes para ambos valores son casi iguales, en el año 2014 se tiene un volumen de 2345 vehículos con α y $\beta=0,50$ y 2329 vehículos con α y $\beta=0,60$, la diferencia es de 16 vehículos, un 0,68%. En el año 2033 se tienen volúmenes de 4734 y 4679 vehículos con una diferencia de 55 vehículos, por esta razón es que las líneas están casi superpuestas.

Los volúmenes en los primeros cinco años (año 2014-año 2020), son similares por ejemplo los volúmenes proyectados en el año 2014 son: 2547, 2468, 2411, 2371, 2345 y 2329 vehículos con diferencia entre volúmenes de 79, 57, 40, 26 y 16 vehículos y para el año 2020 son: 3464, 3321, 3218, 3146, 3099 y 3071 vehículos, que obtienen una diferencia entre volúmenes proyectados para diferentes valores de α y β en el año 2020 de 143, 104, 72, 47 y 28 vehículos.

A partir del año 2020 la diferencia entre volúmenes se va incrementando, desde el año 2025 la diferencia entre volúmenes es mayor, es de 196, 142, 98, 64 y 39 vehículos y para el año 2033 se tienen volúmenes de 5451, 5170, 4967, 4826, 4734 y 4679 vehículos, con diferencias entre volúmenes de 281, 203, 141, 92 y 55 vehículos.

Los resultados más elevados son con valores de α y β más próximos a uno y con valores de α y β más alejados de cero los resultados son menores.

Las líneas correspondientes a volúmenes proyectados con diferentes valores de α y β son de tendencia lineal, porque los volúmenes crecen en cada año de proyección con un volumen de 153 cuando α y $\beta=0,10$; 142 vehículos cuando α y $\beta=0,20$; 135 vehículos cuando α y $\beta=0,30$; 129 vehículos cuando α y $\beta=0,40$; 126 vehículos

cuando α y $\beta= 0,50$ y 124 vehículos cuando α y $\beta=0,60$, en todos los años de la proyección.

Los volúmenes proyectados van incrementando en función a los años de proyección, a mayor cantidad de años de proyección, se tendrán volúmenes mayores.

3.6.3.2. Análisis comparativo de resultados obtenidos por diferentes métodos.-

Tabla Nro. 12

Año	TPDA (veh/día) Método 1	TPDA (veh/día) Método 2	TPDA (veh/día) Método 3
2014	2509	1846	2547
2015	2738	1972	2700
2016	2989	2098	2853
2017	3262	2224	3006
2018	3560	2349	3159
2019	3886	2475	3312
2020	4241	2601	3464
2021	4629	2727	3617
2022	5052	2853	3770
2023	5514	2979	3923
2024	6018	3105	4076
2025	6569	3231	4228
2026	7170	3357	4381
2027	7825	3483	4534
2028	8541	3608	4687
2029	9322	3734	4840
2030	10174	3860	4992
2031	11105	3986	5145
2032	12120	4112	5298
2033	13229	4238	5451

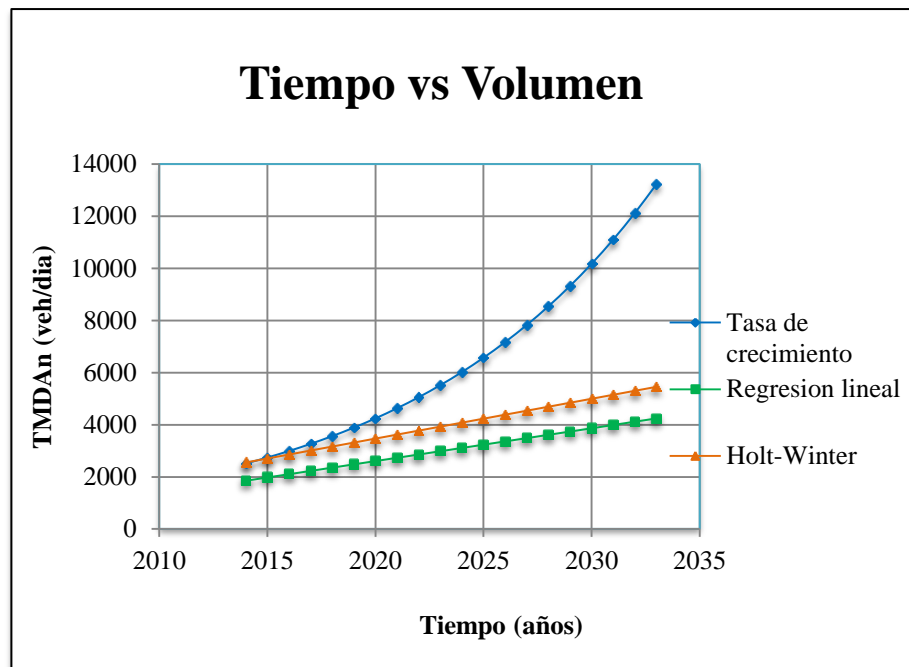


Gráfico Nro. 19

En los resultados obtenidos se ve la diferencia entre los volúmenes proyectados por los diferentes métodos, método de la tasa de crecimiento con un índice de crecimiento de 9,14%; métodos econométricos (regresión lineal) y método de Holt-Winter con valores de α y $\beta=0,10$.

En el año 2014 se tienen volúmenes proyectados por los tres métodos de 2509, 1846 y 2547 vehículos, la diferencia entre el volumen proyectado por la tasa de crecimiento y por Holt-Winter son aproximados con una diferencia de 39 vehículos, mientras que la diferencia entre el de regresión lineal y la tasa de crecimiento es de 663 vehículos, y la diferencia entre el de regresión lineal y Holt-Winter es de 702 vehículos, en el de regresión lineal se tiene mayor diferencia de volúmenes con respecto a los otros métodos en el año 2014.

Hasta el año 2016 los volúmenes proyectados por la tasa de crecimiento y Holt-Winter son similares, es decir que la diferencia entre ambos valores es mínima hasta el año 2016 (2989 y 2853 vehículos) con una diferencia de 135 vehículos, a partir de la año 2017 la diferencia de volúmenes proyectados por los dos métodos se incrementa como se ve en la gráfica.

La diferencia de volúmenes proyectados con el método de regresión lineal y el método de Holt-Winter es casi constante en toda la proyección, con un volumen de 1846 vehículos proyectados por regresión lineal y 2547 vehículos proyectados por Holt-Winter, obteniendo una diferencia de 702 vehículos para el año 2014, y el año 2033 se tiene un volumen de 4238 y 5451 vehículos, con una diferencia de 1213 vehículos.

El volumen proyectado por la tasa de crecimiento en el año 2033 es de 13229 vehículos, volumen que se dispara demasiado con respecto a los volúmenes de los otros métodos.

Los volúmenes proyectados para el año 2033 por los tres métodos son de 13229, 4238 y 5451 vehículos, como se observa en la gráfica los volúmenes proyectados por el método de Holt-Winter están dentro de la diferencia de volúmenes entre los otros dos métodos, la diferencia entre Holt-Winter y la tasa de crecimiento es de 7778 vehículos y la diferencia entre Holt-Winter y regresión lineal es de 1213 vehículos, mientras que la diferencia de volumen entre la tasa de crecimiento y regresión lineal es de 8991 vehículos, en el año 2033.

3.6.3.3. Análisis comparativo de resultados obtenidos por diferentes métodos y resultado obtenido mediante el aforo en el año 2013.-

Año	TPDA (veh/día) Aforo	TPDA (veh/día) Método 1	TPDA (veh/día) Método 2	TPDA (veh/día) Método 3
2013	2263	2299	1720	2395
100 (%)		1,59	23,99	5,83

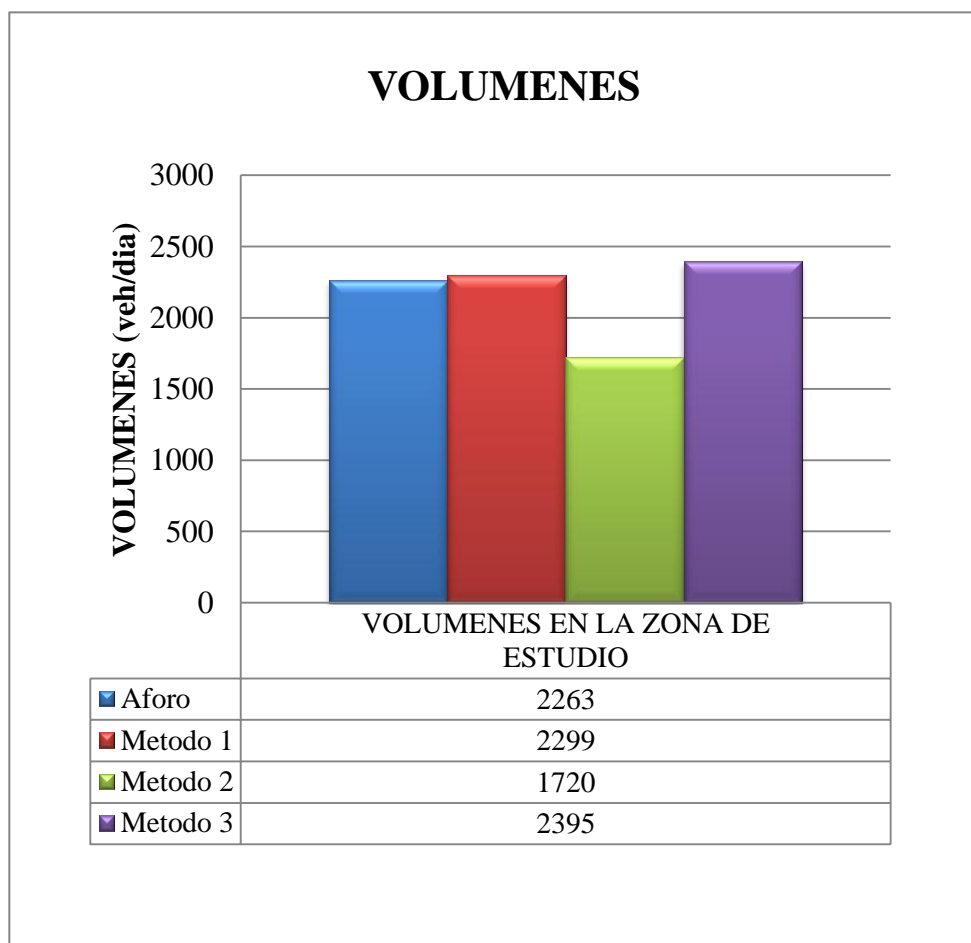


Gráfico Nro. 20

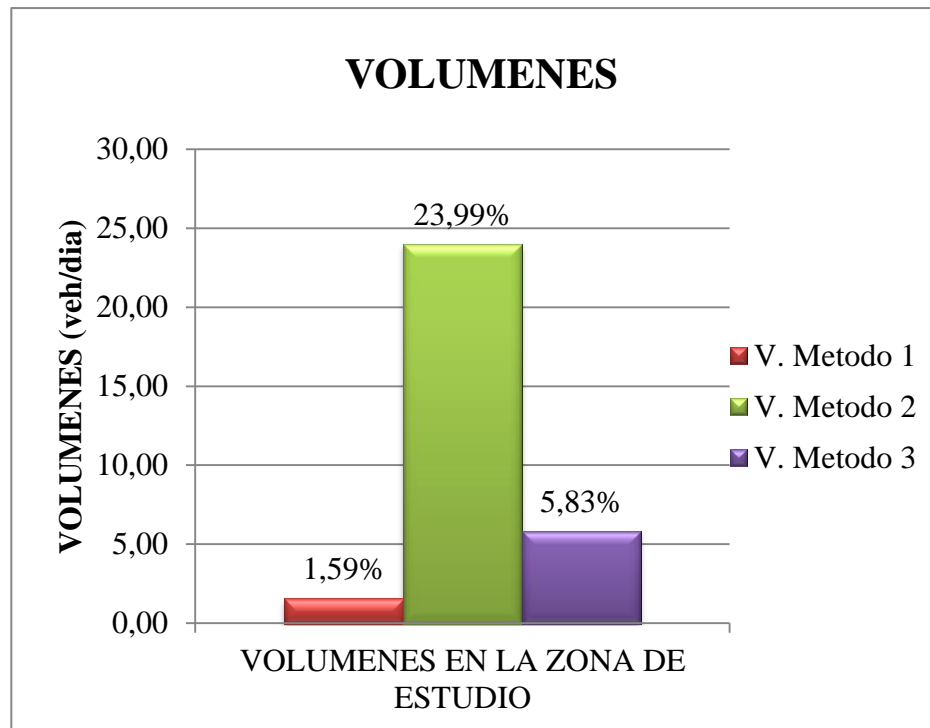


Gráfico Nro. 21

Los resultados obtenidos nos muestran que la diferencia entre los volúmenes determinado mediante el aforo realizado y el volumen determinado por el método de la tasa de crecimiento es de 36 vehículos, la diferencia de volúmenes determinados por el aforo y el método de regresiones lineales es de 543 vehículos y la diferencia entre volúmenes determinado por el aforo y el método de Holt-Winter es de 132 vehículos.

El volumen determinado con el método de la tasa de 2299 vehículos y el volumen determinado con el aforo realizado de 2263 vehículos son los que más se parecen con tan solo una diferencia de 36 vehículos, lo que produce 1,59% de diferencia entre volúmenes en el año 2013.

La diferencia de volúmenes determinados con los otros métodos y el volumen determinado con el aforo es mayor, sobre todo con el de regresión lineal con una diferencia de 23,99 % y con una diferencia de 5,83% con el método de Holt-Winter con respecto al volumen determinado mediante el aforo, volúmenes menores al volumen aforado con 2263 vehículos determinados por el aforo, 1720 vehículos determinados por regresiones lineales y 2395 vehículos determinados por el método de Holt-Winter la diferencia con este método no es grande.

3.6.3.4. Análisis de resultados obtenidos por el método Holt-Winter a partir de datos históricos y datos obtenidos del aforo.-

TRAMO 1 (CRUCE PANAMERICANO-PADCA YA)

Año	VTPDA (Histórico) (veh/día)	VTPDA (Aforo) (veh/día)
2014	2569	2489
2015	2759	2679
2016	2950	2870
2017	3140	3061
2018	3330	3252
2019	3520	3442
2020	3710	3633
2021	3900	3824
2022	4091	4014
2023	4281	4205
2024	4471	4396
2025	4661	4587
2026	4851	4777
2027	5041	4968
2028	5232	5159
2029	5422	5349
2030	5612	5540
2031	5802	5731
2032	5992	5921
2033	6182	6112

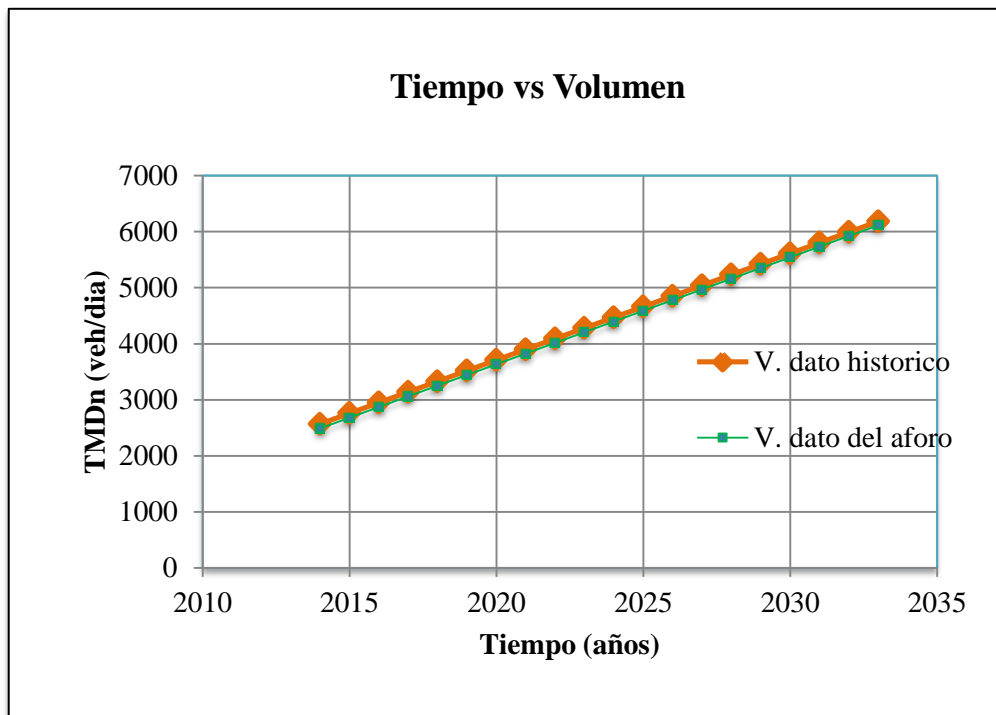


Gráfico Nro. 22

Los resultados de volúmenes proyectados por el método de Holt-Winter a partir de datos de volumen obtenido del aforo y datos históricos de volúmenes, en el primer año de proyección presentan una diferencia de 81 vehículos, en el año 2025 hay una diferencia entre volúmenes de 75 vehículos y en el año 2033 una diferencia de tan solo 70 vehículos, es decir que la diferencia entre volúmenes en toda la proyección es casi constante, los volúmenes obtenidos a partir de diferentes datos son muy parecidos.

TRAMO 2 (TARIJA-PUERTA EL CHACO)

Año	VTPDA (Histórico) (veh/día)	VTPDA (Aforo) (veh/día)
2014	1422	1417
2015	1513	1526
2016	1604	1635
2017	1695	1743

2018	1786	1852
2019	1877	1961
2020	1968	2069
2021	2059	2178
2022	2151	2286
2023	2242	2395
2024	2333	2504
2025	2424	2612
2026	2515	2721
2027	2606	2830
2028	2697	2938
2029	2788	3047
2030	2879	3155
2031	2970	3264
2032	3061	3373
2033	3153	3481

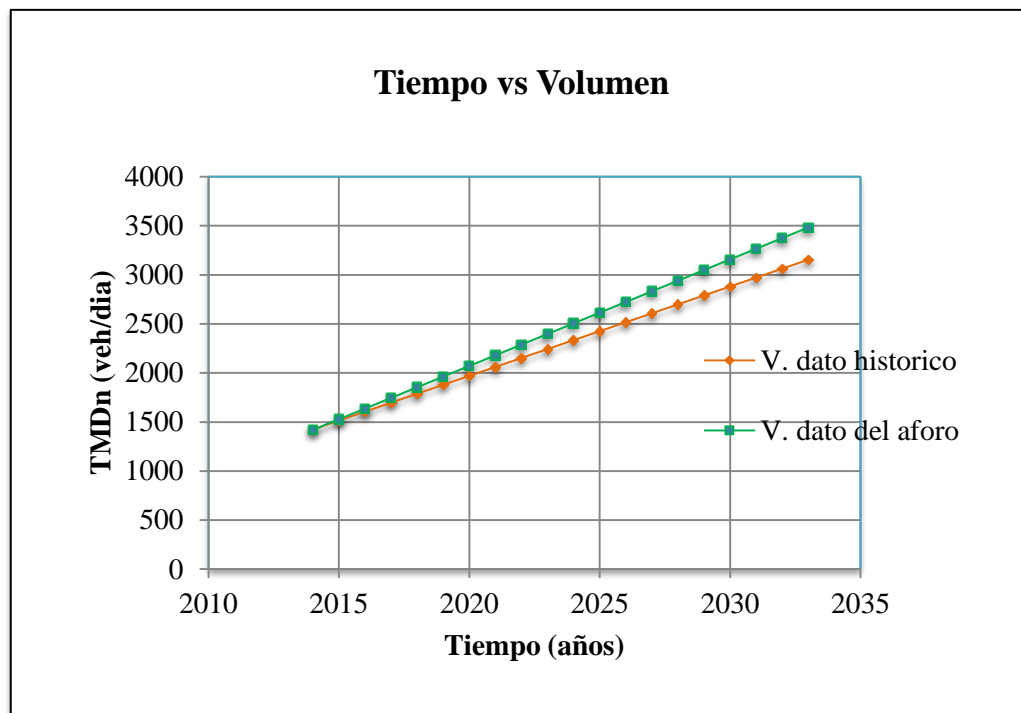


Gráfico Nro. 23

Los resultados de volúmenes proyectados por el método de Holt-Winter a partir de datos de volumen obtenido del aforo y datos históricos de volúmenes, en el primer año de proyección presentan una diferencia de tan solo 4 vehículos, en el año 2025 hay una diferencia entre volúmenes de 188 vehículos y en el año 2033 una diferencia de 329 vehículos, es decir que la diferencia entre volúmenes se incrementa a medida que se aumentan los años de proyección. En el año 2014 con datos de volúmenes históricos se obtiene un volumen mayor que con datos del volumen aforado y a partir del año 2015 con el dato del volumen aforado se obtienen volúmenes mayores que con datos de volúmenes históricos en toda la proyección.

TRAMO 3 (TARIJA-SAN LORENZO)

Año	VTPDA (Histórico) (veh/día)	VTPDA (Aforo) (veh/día)
2014	2547	2449
2015	2700	2636
2016	2853	2824
2017	3006	3012
2018	3159	3199
2019	3312	3387
2020	3464	3575
2021	3617	3762
2022	3770	3950
2023	3923	4137
2024	4076	4325
2025	4228	4513
2026	4381	4700
2027	4534	4888
2028	4687	5076
2029	4840	5263
2030	4992	5451
2031	5145	5639
2032	5298	5826
2033	5451	6014

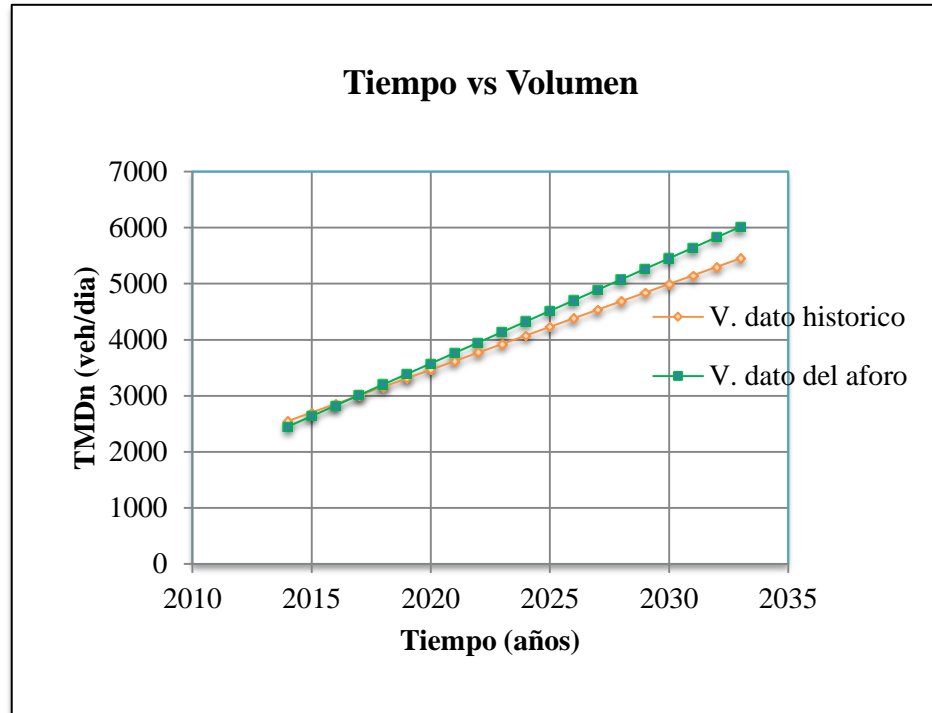


Gráfico Nro. 24

Los resultados de volúmenes proyectados por el método de Holt-Winter a partir de datos de volumen obtenido del aforo y datos históricos de volúmenes, en el primer año de proyección presentan una diferencia de 99 vehículos, en el año 2025 hay una diferencia entre volúmenes de 284 vehículos y en el año 2033 una diferencia de 329 vehículos, es decir que la diferencia entre volúmenes se incrementa a medida que se aumentan los años de proyección. Desde el año 2014 hasta el año 2016 con datos de volúmenes históricos se obtienen volúmenes mayores que con datos del volumen aforado pero a partir del año 2017 con el dato del volumen aforado se obtienen volúmenes mayores que con datos de volúmenes históricos hasta el año 2033 es decir en casi toda la proyección.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Las instituciones encargadas de tener información en cuanto al tráfico vehicular no cuentan con información actualizada, es muy importante que estas instituciones tengan información actualizada del tráfico vehicular. Los datos históricos de volúmenes de tráfico se obtuvieron de instituciones como ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).
- Los aforos para el tráfico vehicular, realizados mediante conteo manual se hicieron en los mismos puntos donde realizó el aforo el (ABC), en el tramo Cruce Panamericano-Padcaya se aforó en Calamuchita, en el tramo Tarija-Puerta El Chaco se aforó en el Portillo y en el tramo Tarija-San Lorenzo se aforó en Rancho, por un periodo de 15 días, tomando en cuenta las horas pico tomadas de un día de: 7:00 a 8:00, 12:00 a 13:00 y 18:00 a 19:00 (horas máximas de circulación vehicular en los tramos de estudio).
- Para la determinación de los volúmenes se utilizó la depuración de datos, tomando en cuenta las horas pico tomadas de un día, para luego en el transcurso de 15 días determinar los volúmenes en las horas máximas ya establecidas para todos los días y así obtener un volumen horario más confiable en cada tramo de estudio.
- La variación en los resultados de volúmenes, proyectados para diferentes índices de crecimiento por el método de la tasa de crecimiento es considerable, por ejemplo en el tramo Cruce Panamericano-Padcaya se determinó un volumen de 8772 vehículos con un índice de 8,14%, un

volumen de 11053 vehículos con un índice de 9,14% y un volumen de 18869 vehículos con un índice de 10,14%, volúmenes correspondientes al año 2033.

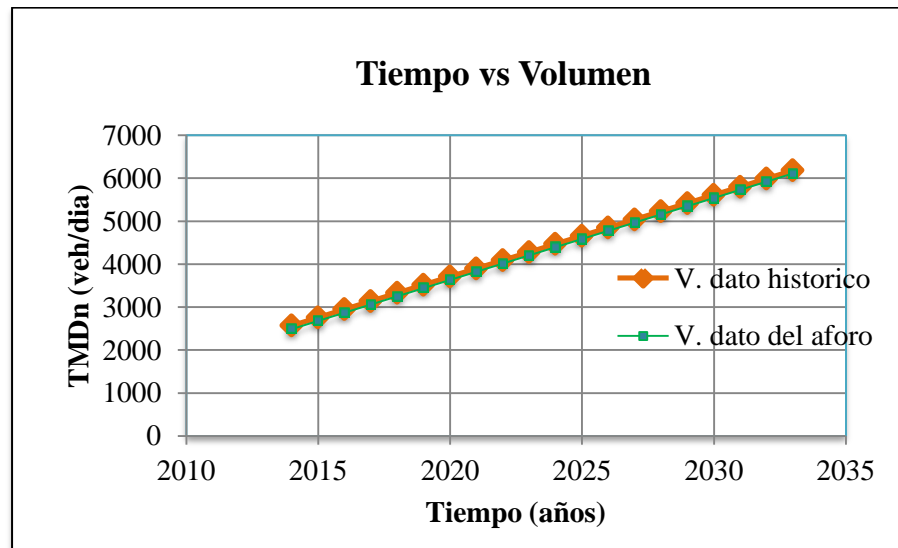
- Por la tendencia y linealidad que nos muestra la gráfica de volúmenes proyectados por regresión lineal en los tramos en estudio nos indica que los resultados son válidos, porque el método consiste en que los resultados obtenidos estén lo más cerca posible a la línea de tendencia, además crece lo que indica que los resultados de volúmenes de tráfico obtenidos van aumentando a medida que se aumentan los años de proyección, en el tramo Tarija-San Lorenzo se tiene un volumen de 1846 vehículos en el año 2014, un volumen de 3231 vehículos en el año 2025 y un volumen de 4238 vehículos en el año 2033.
- Para el método de la tasa de crecimiento el volumen de tráfico proyectado se realiza a partir de cálculos sencillos, a diferencia de los otros métodos. Se requieren datos globales de (TMDA). La variación de los resultados es muy grande en comparación de los otros métodos por ejemplo en el tramo Tarija-San Lorenzo en el año 2033 se proyecta un volumen de 13229 vehículos con un índice de 9,14% un volumen muy elevado y para el mismo año con los otros métodos se proyectan volúmenes de 4238 vehículos por regresión lineal, y con el método de HOLT-Winter se proyecta un volumen de 5451 vehículos con α y $\beta=0,10$.
- Los volúmenes proyectados en el tramo Tarija-San Lorenzo, para el año 2033 por los tres métodos son de 13229, 4238 y 5451 vehículos, como se observa en la gráfica los volúmenes proyectados por el método de Holt-Winter están dentro de la diferencia de volúmenes entre los otros dos métodos, la diferencia entre Holt-Winter y la tasa de crecimiento es de 7778 vehículos y la diferencia entre Holt-Winter y regresión lineal es de 1213 vehículos, mientras que la

diferencia de volumen entre la tasa de crecimiento y regresión lineal es de 8991 vehículos, en el año 2033.

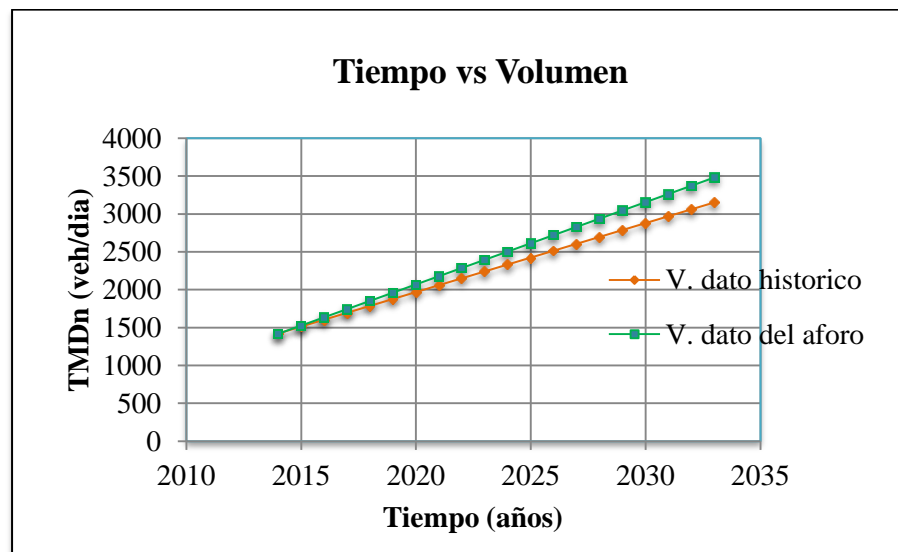
- En los primeros años los volúmenes proyectados por los métodos son parecidos por ejemplo la proyección para el año 2014 para el tramo Tarija-San Lorenzo es de 2509 vehículos proyectados con la tasa de crecimiento con un índice de 9,14%, 1846 vehículos proyectados por el método de regresión lineal y 2547 vehículos proyectados por Holt-Winter con valores de α y $\beta=0,10$, los volúmenes proyectados por el método de la tasa de crecimiento se alejan de los volúmenes proyectados con los otros métodos a medida que se aumentan los años de proyección.
- La diferencia entre el volumen aforado y el volumen determinado por la tasa de crecimiento es de 379 vehículos, la diferencia entre el volumen aforado y el volumen determinado por regresiones lineales es de 668 vehículos y la diferencia entre el volumen aforado y el volumen determinado por Holt-Winter es de 79 vehículos este último volumen es el más parecido al volumen determinado por el aforo en el año 2013 en el tramo 1 lo mismo ocurre en el tramo 2. Con esto se determina que los resultados obtenidos por el método de Holt-Winter son los más certeros y confiables. Además de que los resultados de volúmenes proyectados obtenidos del método de Holt-Winter están entre los resultados obtenidos por los otros métodos.
- Con el fin de valorizar la utilización de los aforos actuales en los tramos de estudio, se realizó la proyección en base a los aforos realizados tomando como año base el 2013, de ese análisis los resultados que se obtuvieron se muestran en las siguientes gráficas, cuya valorización nos presenta que la variación de las curvas no es significativa y como máximo en el año límite, año 2033 se tiene una diferencia de volúmenes proyectados por el método de Holt-Winter

a partir de datos de volúmenes históricos y de datos de volúmenes obtenidos del aforo de 70 vehículos para el tramo 1, de 329 vehículos para el tramo 2 y 563 vehículos para el tramo 3. Esto nos permite concluir que el método Holt-Winter es adecuado en la proyección de volúmenes de tráfico vehicular en vías de nuestro medio.

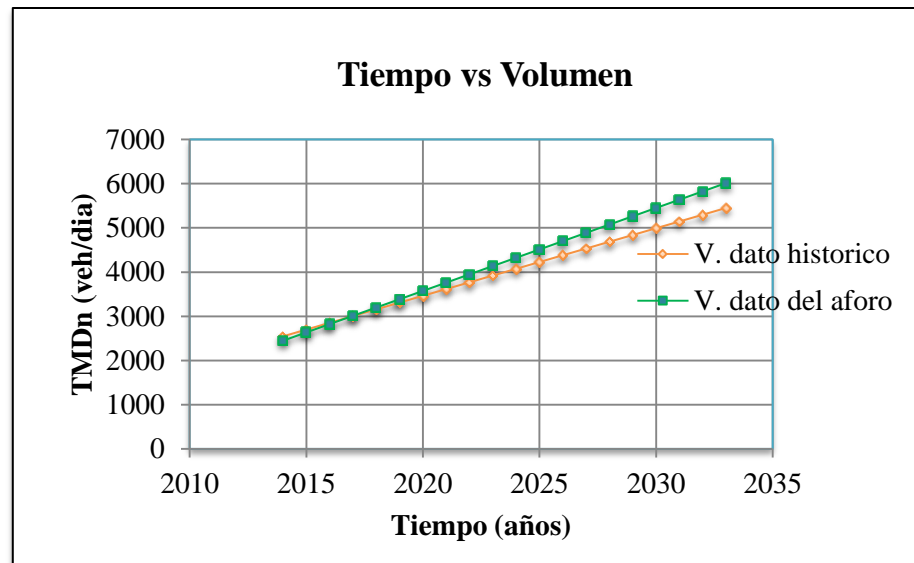
TRAMO 1



TRAMO 2



TRAMO 3



4.2. RECOMENDACIONES

- Para tener una mejor aplicación de estos métodos, para realizar proyecciones es recomendable tener información de volúmenes de tráfico de más años, para obtener resultados más exactos, con mayores años de registro.
- Para que el pronóstico sea el mejor posible, los valores de α y β adoptados en el método de Holt-Winter deberán ser los óptimos. Para esto un requerimiento importante es que α y β sean bastante menores que uno. En particular es recomendable que α y β no excedan de 0,60.
- Para los volúmenes proyectados por Holt-Winter, en un momento i es necesario que el valor de Y (volumen de tráfico correspondiente a datos históricos) y el nivel de la serie suavizada sea lo menor posible, para que esto ocurra se recomienda adoptar valores de α y $\beta=0,10$.

- A partir de los resultados obtenidos se recomienda que para proyectar volúmenes de tráfico no se tomen periodos largos de proyección sino periodos cortos de 5 a 10 años debido a que en ese periodo se presentan menores diferencias de volúmenes entre los métodos aplicados.