

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El aumento de la población en la ciudad de Tarija, ha ocasionado que el incremento vehicular sea significativo, esto realizando que el flujo automotor sea de crecimiento notable, por las diversas necesidades del ser humano de estar en movimiento de un lugar a otro, siendo por motivos de comercio, salud, familia o de trabajo, el hombre siempre ha demostrado la necesidad de comunicarse con sus alrededores.

Durante los últimos años han circulado diversas cifras de automóviles, ya sea de ingreso o de salida de nuestra ciudad de Tarija, un estudio de tráfico ubicado en los puntos clave de acceso y salida a la Ciudad de Tarija, nos permitirá tener un diagnóstico de las condiciones de tráfico vehicular y con la ayuda de modelos de series temporales proyectarlo a futuro y conocer los diversos problemas que presentaríamos posteriormente, esto significaría que nuestras rutas principales de ingreso y salida del ciudad de Tarija también a futuro se verán congestionadas, si esto sucede no hay ni habrá capacidad vial suficiente para que todos ellos circulen, sin congestionar las avenidas y carreteras principales, para ello es necesario anticiparse a estos posibles problemas que presentaríamos con el crecimiento vehicular con el transcurso del tiempo.

La propuesta que uno busca realizar es la de comparación de técnicas de series temporales en la proyección de tráfico, una serie temporal formada por fluctuaciones aleatorias superpuesta a una tendencia creciente, la línea de mejor ajuste y diferentes suavizados de la serie con una cronología y secuencia de datos y observaciones o valores medidos en determinados momentos y ordenados cronológicamente, todo esto desde el punto de vista probabilístico con ayuda de modelos matemáticos para aplicar

a la salida sur y norte de la ciudad de Tarija y determinar la proyección del tráfico que tomará a futuro y las medidas de solución que deberán buscarse posteriormente.

El aporte académico que deseamos buscar es el de llegar a tener un modelo matemático probabilístico que llegue a tener el mejor ajuste de tendencia para determinar las proyecciones de tráfico, para proporcionar la suficiente información sobre el incremento del tráfico y la influencia que este ocasionará en nuestro medio, llegar a conocer los aforos de volúmenes, las velocidades de circulación y medidas de seguridad garantizaran un buen diseño a futuro de carreteras, avenidas para la excelente circulación, garantizando el confort que uno desea obtener.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años el incremento vehicular ha sido muy notable en el Departamento de Tarija, esto conlleva diversos problemas en avenidas y carreteras de la ciudad impidiendo el confort y seguridad que el chofer y pasajero se merecen en la circulación vehicular.

Realizando más difícil la circulación, creando congestionamiento vehicular y en una mayor demanda de moviidades para el transporte del hombre, todos estos problemas se producen por una mala planificación, el cual va creciendo con el pasar de los tiempos, debido a una falta de estudio en nuestro Departamento de Tarija más explícitamente comparación de técnicas de series temporales en la proyección de tráfico aplicándolo a la salida sur y norte de nuestro Departamento de Tarija.

Con lo mencionado anteriormente surge la necesidad de contar con estimaciones de los volúmenes de tráfico vehicular, proyectando lo más próximo a los que darán en realidad de tal manera que el presente estudio tenga la finalidad de comparación de modelos de series temporales, para la determinación del crecimiento normal del tráfico y adecuar un modelo que mejor se ajuste a nuestro medio, estos resultados podrán utilizarse por las instituciones encargadas del tráfico y transporte para plantearse las acciones que

podrán tomar a futuro con el propósito de evitar vías congestionadas y la recopilación de información para propósitos ingenieriles que se presenten.

Por estos motivos el transporte público, es un factor que relaciona a la ingeniería de tráfico, porque tiene relación directa como lo que es el automotor de la ciudad y conforme desarrollemos estos estudios podremos determinar cuál es la situación actual por la que se encuentra pasando la ciudad de Tarija, y qué pasará cuando proyectemos el tráfico a futuro y conozcamos si abastecerá o no la situación actual del tráfico en nuestro medio y si abastecerá a futuro por las condiciones que pasara, por ello es necesario realizar la recolección de datos e información y ordenarla, aplicar la comparación de técnicas de series temporales y ver cuál es la que mejor se ajusta a nuestro medio, para poder aplicarlo a futuro para que nos permita conocer la propuesta a futuro y ver la acción de tomar medidas preventivas o correctivas para garantizar el confort, la seguridad que merecen tanto el chofer como el pasajero.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sin dudas una de las mayores preocupaciones en la ciudad de Tarija, es el incremento vehicular y por ende el volumen vehicular por el cual se encuentra pasando y el congestionamiento vehicular que éste podría llevar a generar tanto en nuestras avenidas como en las carreteras principales de nuestra ciudad de Tarija.

La falta de estudio y análisis del tráfico vehicular de forma permanente por parte de las instituciones como se la Alcaldía y/o Tránsito al sur y norte de la ciudad de Tarija provoca la carencia y falta de conocimiento en el ámbito de las proyecciones de tráfico vehicular y el uso de aplicación de modelos de series temporales que son el conjunto de datos que están en obediencia al tiempo, debido a que ninguna institución pública, ya que el uso de modelos de series temporales es un área de creciente interés para un estudio de tráfico que permita capturar total o parcialmente las características más relevantes del fenómeno real del tráfico vehicular y la formulación de un modelo matemático que lo represente, ya que una de las características que distingue las series

temporales de otros tipos de datos estadísticos es el hecho de que en general los valores de las series en diferentes instantes del tiempo están correlacionados.

El tráfico vehicular es la consecuencia de múltiples factores sociales, culturales, económicos y políticos, que se encuentran en las principales ciudades en crecimiento, además de la contaminación masiva que llevaría a proporcionar el incremento de tráfico vehicular al medio ambiente, contaminación acústica proporcionada por los motores de los vehículos, todo debido a la falta de atención a la problemática e importancia a la situación del tráfico vehicular y estudio de modelos de proyección en la salida sur y norte de nuestro departamento, en síntesis baja calidad e inseguridad vial, provocando tanto contaminación acústica, contaminación ambiental, deterioro de la calidad de vida, defectuosa información sobre las condiciones de tráfico y mantener el flujo vehicular estable.

Además de que reciben perjuicios todos los habitantes de la ciudad de Tarija en término al deterioro de su calidad de vida en aspectos tales como mayor contaminación acústica y atmosférica generando impactos negativos sobre la salud, que los mismos a largo plazo deberemos de mantener bajo estricto control para el cuidado de la calidad de vida del ser humano.

1.3.1 Problema

¿Mediante la aplicación de modelos de series temporales para la proyección del tráfico vehicular en los puntos críticos Sur Puente de Tomatitas y Norte El Portillo, de acceso y salida a la Ciudad de Tarija, proporcionaremos información clara y recopilación de datos actualizados, ordenados y proyectados a futuro, para el uso ingenieril de alguna institución pública?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de la proyección de tráfico, utilizando diferentes técnicas de series temporales de proyección y determinar cuál es el modelo más aplicable a nuestro medio en la salida sur y norte de la Ciudad de Tarija.

1.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Establecer un modelo de serie temporal que proporcione el mejor ajuste para nuestro medio y proporcione una idea clara del crecimiento vehicular a futuro.
- ✓ Establecer los puntos de análisis de estudio en la salida sur y norte de la ciudad de Tarija.
- ✓ Realizar un aforo de volumen, mediante el conteo manual en la salida sur y norte de la Ciudad de Tarija.
- ✓ Analizar diferentes modelos para la proyección de tráfico vehicular.
- ✓ Analizar comparativamente los modelos proyección vehicular aplicados a la salida sur y norte de la Ciudad de Tarija.
- ✓ Establecer conclusiones y recomendaciones.

1.5 DISEÑO METODOLÓGICO

1.5.1 Unidad de estudio, población y muestra

Las unidades de estudio son las siguientes:

a) Unidad de estudio

Tráfico vehicular en la Ciudad de Tarija.

b) Población

Tráfico vehicular en los puntos sur y norte de acceso y salida de la Ciudad de Tarija.

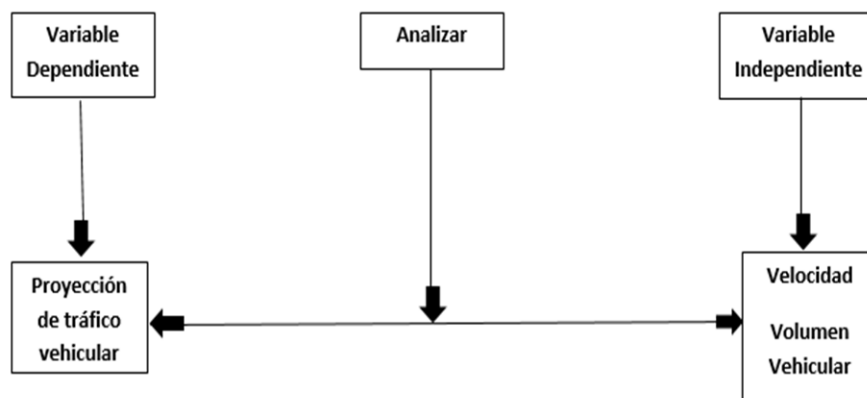
c) Muestra

Acceso de ingreso y salida norte Puente Tomatitas.

Acceso de ingreso y salida sur El Portillo.

1.6 FORMULACIÓN DE VARIABLES

Gráfica 1- Formulación de variables



Fuente: Elaboración propia

1.7 VARIABLE INDEPENDIENTE “X”

Comportamiento actual en parámetros de tráfico como velocidad y el volumen vehicular.

1.8 VARIABLE DEPENDIENTE “Y”

Proyección del tráfico vehicular mediante el uso de modelos de series temporales.

1.9 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

Método.- El método inductivo es aquel método científico que alcanza conclusiones generales partiendo de hipótesis o antecedentes en particular, el método inductivo suele basarse en la observación y experimentación de hechos y acciones concretas para poder así llegar a una resolución o conclusiones general sobre estos; es decir en este proceso se comienza por los datos y finaliza llegan a una teoría, por lo tanto se puede decir que asciende de los particular a lo general el método inductivo se exponen leyes generales acerca del comportamiento o la conducta de los objeto partiendo específicamente de la observación de casos particulares que se producen durante el experimento.

La metodología utilizada para la realización de estos procesos puede resumirse en cuatro pasos, los cuales comprenden en la observación de los hechos o acciones y registro de ellos mediante el aforo de volúmenes, luego viene la elaboración de una hipótesis o el análisis de lo observado esto lo complementaremos con la aplicación de los modelos de series temporales, así formara una explicación y posible definición de los observado en la tercera parte del proceso presenta la deducción de predicciones o la clasificación de los fundamentos anteriormente obtenidos y como cuarto paso encontramos la presentación de los enunciado universales derivados del proceso de investigación que se realizó.

Técnicas empleadas La técnica experimental es aquélla que pretende proporcionar al estudiante una visión completa del trabajo a realizar al enfrentarse con una experiencia práctica, de la que se quiere obtener un resultado fiable que será dado a conocer mediante un informe o proyecto de grado, darse cuenta de la importancia que tiene en todos los procesos de la ingeniería, el problema de la medida y todo lo que conlleva.

La metodología de la técnica experimental parte mediante la observación y recopilación de información del aforo vehicular, las técnicas a emplear para el desarrollo del trabajo con la ayuda de la aplicación de modelos de series temporales, realizar una organigrama para dar uso de los modelos de series temporales y ver el que mejor se adecue a nuestro medio, realizando la secuencia de pruebas, el nivel de la

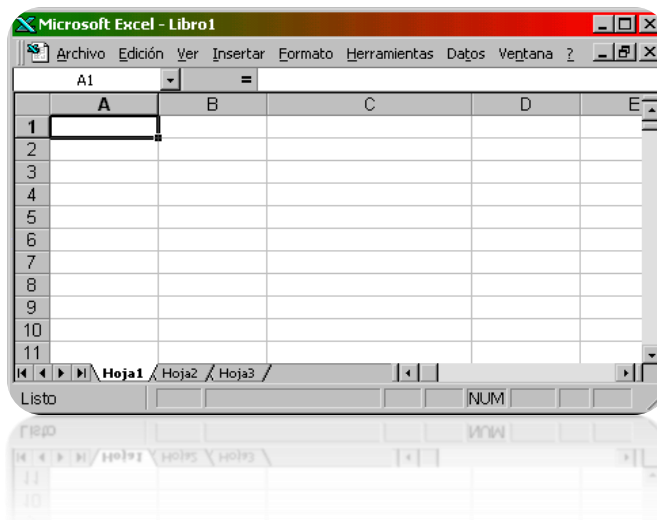
respuesta y los datos asociados por la experimentación y las acciones que se podría llegar a considerar, ya la presentación visual grafica para un mayor entendimiento del crecimiento vehicular proyectado a futuro.

a) Medios

Cronómetro.- El cronómetro es un reloj cuya precisión ha sido comprobada y certificada por algún instituto o centro de control de precisión, que nos permite realizar mediciones del tiempo partiendo de dos puntos conocidos.



Planillas.- Son hojas impresas ya dimensionadas que nos permitirán una perfecta tabulación de los datos recolectados y una mejor interpretación al momento de realizar los cálculos.



Bolígrafos y tablas de apoyo.- Parte del material de gabinete que viene solo a prestar ayuda al momento de la toma de datos ya que el trabajo será realizado en campo y es necesario la mayor recolección de información.

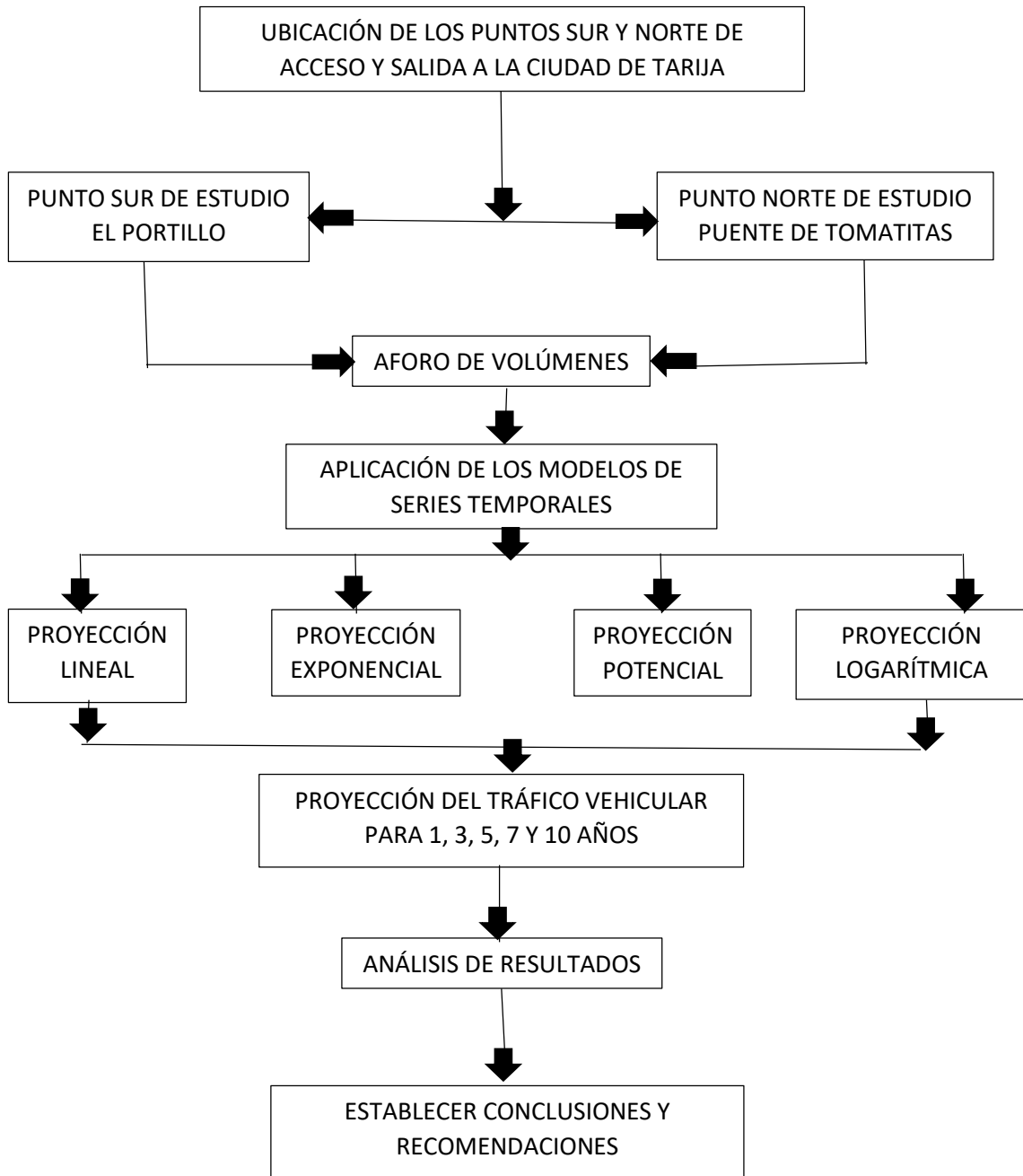


Computadora.- Máquina electrónica capaz de almacenar información y tratarla automáticamente mediante operaciones matemáticas y lógicas controladas por programas informáticos, un medio muy importante, sustancial para el éxito del trabajo y el procesamientos de los datos con ayuda del Excel sobre todo por la hoja de cálculo que nos presenta y obtener los resultados asimismo como la representación gráfica de nuestros resultados para una mejor interpretación y análisis de los resultados.



1.10 Proceso de Aplicación

Mapa conceptual



Recopilación de los datos.- Es importante destacar que los métodos de recolección de datos, se puede definir como: al medio a través del cual el investigador se relaciona con los participantes para obtener la información necesaria que le permita lograr los objetivos de la investigación.

De modo que para recolectar la información hay que tener presente:

Seleccionar un instrumento de medición el cual debe ser válido y confiable para poder aceptar los resultados, aplicar dicho instrumento de medición, organizar las mediciones obtenidas, para poder analizarlos.

Dentro de los métodos para la recolección de datos están:

Observación.- Es el registro visual de lo que ocurre en una situación real, clasificando y consignando los acontecimientos pertinentes de acuerdo con algún esquema previsto y según el problema que se estudia

Al igual con los otros métodos, previamente a la ejecución de la observación el investigador debe definir los objetivos que persigue, determinar su unidad de observación, las condiciones en que asumirá la observación y las conductas que deberán registrarse.

La encuesta.- Este método consiste en obtener información de los sujetos de estudio, proporcionada por ellos mismos, sobre opiniones, actitudes o sugerencias. Hay dos maneras de obtener información con este método: la entrevista y el cuestionario.

La entrevista.- Es la comunicación establecida entre el investigador y el sujeto de estudio a fin de obtener respuestas verbales a las interrogantes planteadas sobre el problema propuesto.

Se estima que este método es más eficaz que el cuestionario, ya que permite obtener una información más completa. A través de ella el investigador puede explicar el propósito del estudio y especificar claramente la información que necesita.

Las Entrevistas y los Cuestionarios.- Los conceptos que interesan al investigador deben traducirse en fenómenos observables y registrables. De aquí que la definición de las variables de investigación y la selección o desarrollo de métodos adecuados para recabar datos, constituye una de las tareas más excitantes del proceso de investigación, ya que si el experimentador no cuenta con métodos de alta calidad para recolectar datos, deberá siempre cuestionar la precisión y pertinencia de sus conclusiones.

Referencias bibliográficas.- La referencia bibliográfica es la reseña de cada fuente que se ha utilizado en una bibliografía, es decir, los datos de cada libro, revista, fotografía, grabación, etc. a la que se ha recurrido en el texto.

Procesamiento y análisis.- Toda información recolectada debe ser ordenada verificada y procesada, hoy en día gracias a la programación informática es de mucha utilidad garantizando un mejor cálculo y entendimiento de los resultados adquiridos de una manera visual clara y precisa con esquemas y graficas de los valores adquiridos.

El primer paso en la etapa de análisis es definir el proceso analítico. Esto implica definir cómo se hará el análisis, las fuentes de información que se utilizarán, y cómo intervendrán los participantes.

Procesamiento estadístico.- El proceso estadístico es una filosofía de la optimización referida a mejoras de proceso continuas, usando una colección de las herramientas (estadísticas) para, datos y análisis del proceso. Cada procedimiento es aplicable a un tipo particular de datos en una situación determinada.

Media aritmética.- En matemáticas y estadística, la media aritmética (también llamada promedio o media) de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

$$Xm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi = \frac{x1 + x2 + \dots + xn}{n}$$

Moda.- La moda es el valor que tiene mayor frecuencia absoluta. Se puede hallar la moda para variables cualitativas y cuantitativas. Si en un grupo hay dos o varias puntuaciones con la misma frecuencia y esa frecuencia es la máxima, la distribución es bimodal o multimodal, es decir, tiene varias modas.

$$Mo = Li + \frac{Fi + 1}{(Fi - 1) + (Fi + 1)} * ai$$

Varianza.- En teoría de probabilidad, la varianza o variancia (que suele representarse como v^2) de una variable aleatoria es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.

Está medida en la unidad de medida de la variable al cuadrado. Por ejemplo, si la variable mide una distancia en metros, la varianza se expresa en metros al cuadrado. La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza, es una medida de dispersión alternativa expresada en las mismas unidades de los datos del variable objeto de estudio. La varianza tiene como valor mínimo 0.

$$\sigma^2 = \frac{(X1 - Xm)^2 + (X2 - Xm)^2 + \dots + (Xn - Xm)^2}{N}$$

Desviación estándar.- La desviación típica o desviación estándar (denotada con el símbolo σ o s , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

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

El desarrollo del proyecto se realizará con el fin de poder proporcionar información precisa y actualizada a futuras generaciones o a diversas instituciones públicas que necesiten información sobre el estudio de tráfico vehicular en el área, además que el

estudiante sea capaz de poner todos sus conocimientos en práctica y adquirir nuevos conocimientos de lo vivido en la práctica para mediante ello pueda el mismo transmitir sus propias conclusiones y recomendaciones de lo trabajo en el proyecto para futuros estudiantes en el campo de la Ingeniería.

Para el éxito del trabajo deberemos de delimitar nuestra área de interés que será nuestra área de trabajo, como nuestro enfoque es la comparación de técnicas de series temporales en la proyección de tráfico aplicado a la salida sur y norte de la ciudad de Tarija, mencionado esto nos ubicaremos al sur de la ciudad de Tarija a 150 metros de la tranca del Portillo y nos ubicaremos al norte de la ciudad de Tarija en el Puente de Tomatitas, una vez realizado esto procederemos a sacar las características de los accesos que con la ayuda de instrumentos de gabinete podremos medir y computar las características de los accesos a la Ciudad de Tarija.

Procederemos a realizar un estudio del tránsito en ambos accesos de ingreso y salida a la Ciudad de Tarija, donde realizaremos un aforo de volúmenes aplicando las normas correspondientes, estos aforo de volúmenes será realizado mediante el conteo manual y personal con la ayuda del equipo de gabinete como ser el uso de; Cronómetros, planillas para la extracción de datos, bolígrafos y el uso de computadora para una mejor presentación, tabulación y representación de los datos adquiridos en campo.

Una vez hayamos concluido con el punto mencionado en ambos accesos de ingreso y salida a la Ciudad de Tarija procederemos a la aplicación de modelos de series temporales, como ser con las siguientes fórmulas matemáticas: Proyección lineal, Proyección exponencial, Proyección potencial y Proyección logarítmica, donde buscaremos el mejor ajuste posible para la proyección del tráfico vehicular a futuro y conocer las condiciones que surgirán en los posteriores años, donde se realizaran proyecciones para 1, 3, 5, 7 y 10 años en el tráfico vehicular.

Una vez obtengamos estos resultados procederemos con un análisis de los resultados adquiridos y elaboraremos una presentación clara de los resultados adquiridos, donde podremos expresar nuestras propias conclusiones y recomendaciones sobre lo vivido

en la realización del proyecto, lo experimentado, lo aplicado y lo adquirido de conocimientos, para poder aportar dicha información a futuras generaciones o a futuras instituciones que requieran hacerse de información para una mejor idea clara de las acciones a tomar para el éxito y bien de los trabajos, para llegar al desarrollo de la Ciudad de Tarija.

CAPÍTULO II

CONCEPTOS GENERALES DE INGENIERÍA DE TRÁFICO

2.1 ELEMENTOS DEL TRÁNSITO

Los cuatro elementos fundamentales del tránsito son: el conductor, el peatón, el vehículo, y la vía; es decir dos humanos y dos de creación humana.

2.1.1 El Conductor

El término conductor puede referirse a:

El conductor o chofer, persona encargada de conducir un vehículo de motor para transportar a personas.

Es una persona capacitada para conducir el mecanismo de dirección o va al mando de un vehículo de motor contratada para transportar a personas, mercancías o animales. El chofer puede conducir su propio vehículo, o bien utilizar uno provisto por la persona u organización que lo contrata.

Ya sea considerado en forma individual o colectiva, el conductor de un vehículo constituye el elemento más importante del tránsito. Veamos brevemente las características suyas que más nos interesan.

a) Condiciones físicas.- La conducción es una actividad física y psíquica, el conductor debe descansar, los factores externos influyen en la fatiga, por lo tanto la fatiga disminuye la atención.

- ✓ **El sueño.-** Según numerosos estudios llevados a cabo, el sueño se encuentra entre las cinco primeras causas de los accidentes con víctimas. La necesidad de dormir es una de las necesidades primarias de las más importantes que tiene el ser humano. Si no se duerme nada o no se duerme lo suficiente, el organismo reacciona con toda una serie de desajustes, muchos de los cuales son altamente peligrosos para el conductor.

- ✓ **La fatiga.-** La fatiga tiene una estrecha relación con el sueño. Algunos investigadores consideran que más del 40% de los accidentes están estrechamente relacionados con la fatiga. La fatiga puede estar motivada por una intensa actividad física, o una mezcla de actividad física e intelectual. Pero también puede ser una fatiga mental, como consecuencia de una fuerte tensión emocional o de trabajo intelectual intenso.

- ✓ **El campo visual.-** Es el espacio que abarca la vista estando el ojo inmóvil, de este campo la porción de mayor agudeza óptica corresponde a un cono central de unos 5°, pero la visión es bastante clara hasta una amplitud de 10° aproximadamente. En el resto del campo visual (hasta 60° u 80° a cada lado en sentido horizontal) los objetos se ven en forma borrosa, pero se aprecian las diferencias de iluminación y el movimiento, de todos modos aunque los objetos se aprecien sin mover los ojos dentro de un cono hasta de 90°; para que el conductor pueda ver claramente los dispositivos destinados a llamar su atención (tales como señales de tránsito, semáforos, etc.) estos deben de estar dentro de su cono visual de 10°. De noche, el conductor tiene que superar tres grandes dificultades visuales: 1) observar la vía sin que lo deslumbren los faros de los vehículos que se cruzan con el u otras luces, 2) recobrase de los efectos de las luces intensas después que pasan estas, y 3) ver con muy poca iluminación.

b) Reacciones.- Los estímulos exteriores que llegan al conductor a través de sus sentidos provocan en las reacciones que a su vez se traducen en cambios en la marcha del vehículo, veamos cómo funciona este mecanismo.

Los sentidos recogen las impresiones del medio externo que son transmitidas en forma de sensaciones al cerebro y medula espinal por medio de los nervios sensitivos. Estas sensaciones pueden provocar reacciones inmediatas por parte del individuo, en forma instintiva sin depender de la voluntad del mismo, a esas reacciones se les llama actos reflejos.

Sin embargo, en el caso del conductor, la mayoría de sus actos son voluntarios, y requieren que las sensaciones de los sentidos sean reconocidos por el sistema cerebro – medula espinal y se conviertan en percepciones. Luego las percepciones deben ser analizadas mediante un proceso de intelección que comprende su comparación con experiencias pasadas y la formación de nuevas ideas, mientras menos sean las experiencias con que se cuente y haya que formar más ideas, más larga será la duración de la intelección, finalmente una vez terminada la intelección mediante la volición o voluntad de actuar el individuo decide él envió de un mandato determinado a los músculos, a través de los nervios motores.

En la mayoría de los casos, antes que el conductor pueda actuar, debe tener lugar ese proceso de sensación, percepción, intelección, y volición, a cuya duración debe llamaremos, para simplificar, tiempo de reacción. Ese tiempo es el que transcurre, por lo tanto, desde que el individuo recibe una impresión, hasta el momento en que empieza a reaccionar respondiendo a esa impresión. El tiempo de reacción depende de muchos factores tales como las emociones del individuo, y el estado de su sistema sensorial, en el momento de recibir la impresión, pero varía desde menos de un segundo en casos sencillos, hasta 4 o 5 segundos cuando el proceso de intelección es complicado.

El tiempo de reacción para frenar se ha tratado de determinar en el laboratorio por medio de experimentos en que los conductores responden a un estímulo simple tal como una luz que se enciende. En esas condiciones el tiempo de reacción es de unos 0.5 segundos. Sin embargo, en la vía el proceso de reaccionar requiere mucho más tiempo.

La “American Association of State Highway Officials”, recomienda que al proyectar vías rurales se suponga que el tiempo de reacción para frenar (mas el tiempo necesario para aplicar los frenos) sea de 2.5 segundos. En el caso de vías urbanas este valor suele ser de 0.75 a 1 segundo.

El cansancio, enfermedades, defectos físicos, condiciones del tiempo, etc. Modifican el estado del sistema sensorial del conductor, y por lo tanto, su tiempo de reacción.

También la edad del conductor influye en su rapidez para reaccionar a partir de los 35 o 45 años, de manera que a los 70 años, la reacción a estímulos simples suele tardar un 50 % más.

c) Destreza y actitudes.- Todos los conductores no manejan del mismo modo, ni aun un mismo conductor maneja siempre igual, su actuación en la vía está influida poderosamente por dos variables: la destreza y sus actitudes.

La destreza se define como la habilidad, arte o técnica que se hace una cosa y es el grado de desarrollo a donde se ha llegado con respecto a la capacidad o aptitud que se tiene, la destreza de un conductor se manifiesta en el mejor dominio del vehículo y la mayor exactitud para apreciar distancias y velocidades, depende de las cualidades propias del individuo pero también de la manera y a la edad en que se aprenda a manejar y su experiencia como conductor. Por eso es que resulta tan importante que se enseñe a conducir con métodos apropiados en las escuelas secundarias.

Llamados actitudes del conductor a la tendencia, más o menos matizada por la emoción y organizada por la experiencia, de reaccionar positiva o negativamente en presencia de un objeto psicológico, las actitudes del conductor influyen en su comportamiento en la vía y pueden crear situaciones peligrosas tanto para el como para los demás, las actitudes negativas son responsables de que muchos conductores corran riesgos innecesarios, no quieran dejarse pasar por otros u obstruyan el tránsito sin tener en cuenta a los otros vehículos, es notorio que los conductores jóvenes correspondan mayor número de accidentes aunque ellos alcancen mejores calificaciones en las pruebas de destreza.

Estudios sobre actitudes indican que estas se forman por medio de los procesos comunes de la educación, pero dependen también de la opinión colectiva, ideas sobre prestigio, vigilancia de la policía (que crea el hábito de cumplir la ley), propagandas comerciales y ciertos programas de adiestramiento. La aplicación correcta de esos factores puede reducir los peligros del tránsito y mejorar las relaciones entre el público y el ingeniero de tránsito.

Las actitudes de los conductores varían geográficamente y esto lo debe tener muy presente el ingeniero de tránsito, soluciones a problemas de circulación que son muy satisfactorias en ciertos países, pueden ser un fracaso total en otros, o aun en regiones distintas de un mismo país, debido a las diferencias en las actitudes de los conductores. Generalmente, donde el nivel de cultura es más elevado los conductores manejan con mayor disciplina, aunque hay bastantes excepciones a esta regla. Por ejemplo, el tránsito más desordenado de la América del Sur en 1963 era el que circulaba por las calles de una de las ciudades más cultas de ese continente, lo que demuestra la importancia de los demás factores que determinan las actitudes.

Se considera que los buenos conductores se distinguen por las seis cualidades fundamentales:

- ✓ Poseen buenas reacciones a los estímulos visuales. Aprecian rápidamente los problemas y toman decisiones que evitan accidentes.
- ✓ Calculan correctamente las distancias y velocidades de acuerdo con el movimiento de los vehículos y peatones.
- ✓ Son rápidos y están habituados a las situaciones de urgencia.
- ✓ Tienen aptitud mecánica y habilidad necesaria para gobernar un vehículo.
- ✓ Sus actitudes son positivas y practican la cortesía, lo que les evita muchas dificultades.
- ✓ Son personas de confianza, puntuales, prontas a asumir responsabilidades y respetan los derechos de los demás.

2.1.2 El peatón

- ✓ El peatón es el individuo que, sin ser conductor, transita a pie por espacios públicos. Son también peatones quienes empujan o arrastran un coche de niño o de impedido o cualquier otro vehículo sin motor de pequeñas dimensiones, los que conduce a pie o ciclo o ciclomotor de dos ruedas y los impedidos que circulan al paso en silla de ruedas, con o sin motor.
- ✓ El segundo elemento fundamental del tránsito es el peatón, su influencia en las vías rurales es prácticamente nula, pero en las ciudades y especialmente en los distritos comerciales, es un importante factor que complica los problemas de circulación.
- ✓ El peatón es generalmente es más indisciplinado aun que el conductor y no se obliga tan estrictamente a obedecer las leyes del tránsito. No obstante su falta de protección física lo expone a mayor riesgo cuando tiene que compartir la vía con los vehículos, por eso un gran porcentaje de las personas muertas en accidentes de tránsito son peatones.
- ✓ El peatón puede apreciar las condiciones del tránsito con mayor exactitud que el conductor, debido entre otras cosas, a su mejor visibilidad y velocidad bastante menor, sin embargo muchos peatones no se dan cuenta de las limitaciones de los conductores (especialmente los que no saben manejar) y corren riesgos excesivos al confiar su protección a los conductores en vez de protegerse ellos mismos, la velocidad puesta en marcha de los peatones suele ser de 1,0 a 1,4 metros por segundo en los Estados Unidos, aunque en países tropicales es algo menor.

2.1.3 El vehículo

- ✓ Las dimensiones y características de funcionamiento de los vehículos son factores básicos para reglamentar el tránsito y proyectar vías y terminales.

Cuadro 1 - Rango de los límites de la longitud del vehículo tipo

| Tipo | Longitud permisible (pies) |
|---|----------------------------|
| Autobus | 35 - 60 |
| Camion sencillo | 35 - 60 |
| Remolque, semi/completo | 35 - 48 |
| Semirremolque | 55 - 85 |
| Remolque de camion | 55 - 85 |
| Tractor semirremolque remolque | 55 - 85 |
| Camion remolque remolque | 65 - 80 |
| Tractor semirremolque, remolque, remolque | 60 - 105 |
| Tipo | Peso permisible (libras) |
| Un eje | 18000 - 24000 |
| Tandem - eje | 32000 - 40000 |
| Peso maximo bruto del vehiculo, reglamento del estado | 73280 - 164000 |
| Peso maximo bruto del vehiculo, reglamento interestatal | 73280 - 164000 |

Fuente: Adaptado de (State Máximum Sizes and Wrightt fbr Motor VebicUI) Sociedad de fabricantes de vehículos de automotor Estados Unidos Mayo 1982.

a) Tipos de vehículos y sus características.- Aunque es una enorme variedad de vehículos que circulan generalmente por las vías públicas agruparemos a éstos en seis tipos fundamentales como ser: 1) automóviles, 2) camiones, 3) ómnibus, 4) vehículos de dos y tres ruedas, 5) vehículos sobre rieles, 6) vehículos de tracción animal.

- 1) Automóviles son vehículos libres con propulsión propia destinados al transporte de no más de ocho personas.
- 2) Camiones se los llama así a los vehículos automotores para trasportar cargas y los clasificaremos en simples y combinados, el camión simple es aquel que tiene el motor y la caja montados en un mismo chasis, y el combinado consta de una unidad tractora articulada a un remolque o semirremolque.
- 3) Ómnibus denominados a los vehículos montados en neumáticos destinados al transporte de más de ocho personas en este tipo incluimos a los autobuses

- 4) Vehículos de dos y tres ruedas son vehículos ligeros para transportar generalmente a una o dos personas entre ellas distinguimos las bicicletas y las motocicletas.
- 5) Vehículos sobre rieles su descripción no interesa mucho al ingeniero de tránsito pues circulan casi siempre por vías particulares, aunque sus invasiones de la vía pública en ciertos cruces pueden crear conflictos bastante complicados.
- 6) Vehículos de tracción animal estos tipos de vehículos están desapareciendo de las vías públicas pero en algunas regiones aun presentan un número como ser los tirados por caballos.

a) Resistencias y potencia del motor de los vehículos.- Para avanzar en condiciones ordinarias un vehículo debe vencer cuatro posiciones principales a su movimiento: 1) inercia, 2) resistencia a la rodadura, 3) la del aire, 4) la de las rampas.

- 1) La inercia es la resistencia que ofrece todo cuerpo a la alteración de su estado de reposo o movimiento, por tanto para poner en marcha un vehículo o variar su velocidad hay que vencer su inercia.
- 2) La resistencia a la rodadura es la que es necesario contrarrestar para mantener el movimiento de un vehículo a una velocidad constante, después de haber neutralizado la inercia. Irregularidades del pavimento y rozamientos internos del vehículo causan esta resistencia.
- 3) La resistencia del aire viene dada por la fórmula $R=KSV^2$, donde “S” es la sección transversal del vehículo, “V” su velocidad y “K” una constante empírica, su valor a altas velocidades es varias veces el de la resistencia a la rodadura y ambas constituyen la resistencia total a la tracción.

- 4) En las rampas el vehículo debe vencer la fuerza de la gravedad, pero esta misma fuerza a su movimiento en las pendientes.

El motor del vehículo debe tener potencia necesaria para vencer todas las resistencias que se opongan a su movimiento. En los vehículos norteamericanos, la unidad que se usa para medir la potencia es el caballo fuerza (Horsepower), que es la potencia necesaria para elevar un peso de 500 libras a una altura de un pie en un segundo. Es decir, equivalente a 76.04 kilómetros/segundo.

c) Velocidad y aceleración.- La resistencia total a la tracción aumenta rápidamente con los incrementos de velocidad, debido principalmente a que la resistencia del aire es proporcional al cuadrado de la velocidad. Por esta razón, para que un vehículo duplique su velocidad de 25 a 50 km/h, deberá cuadruplicar la potencia que desarrolla en la mayor parte de los casos. La velocidad máxima media de los automóviles norteamericanos ha ido aumentando de 106 km/h en 1930 a 137 km/h en 1941 y 148 km/h en 1953.

La diferencia entre la potencia que puede desarrollar un vehículo y la que se consume en vencer la resistencia total a la tracción (más o menos las rampas o pendientes), es la potencia que queda disponible para contrarrestar la inercia, cuando se desea aumentar su velocidad. Si a un vehículo le queda mucha potencia para vencer la inercia puede acelerar rápidamente. Es necesario conocer la aceleración que pueden desarrollar los vehículos, para determinar el tiempo que necesitan para cruzar una intersección o para pasar a otros vehículos.

d) Deceleración y frenado.- Para hacer detener un vehículo en movimiento, es necesario contrarrestar la energía cinética que posee, que viene expresada por la fórmula $E_c = PV^2/g$, donde E es la energía cinética, P es el peso del vehículo, V su velocidad y g la aceleración de la gravedad.

Como ya hemos visto anteriormente, las resistencias que se oponen a la marcha del vehículo son, la del aire, la de rodadura y la de las rampas (si existen). Pero además, el motor, si está debidamente acoplado, ejerce una fuerza que retarda aún más el

movimiento del vehículo. Estas resistencias en una vía horizontal pueden reducir la velocidad del vehículo de 90 a 20 km/h en 40 segundos.

Sin embargo, casi siempre el conductor necesita detener su vehículo con mayor rapidez y para ello aplica los frenos. Si despreciamos los efectos de las resistencias antes mencionadas y consideramos que el vehículo se detiene con movimiento uniformemente retardado, entonces la fuerza necesaria para hacer parar el vehículo será igual al producto de su masa por su deceleración o sea:

$$Df = \frac{V^2}{2 * g * \mu} \therefore Ec. (1)$$

Df = Distancia de frenado (m)

V = Velocidad del vehículo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

μ = Coeficiente de fricción (adm)

Cuadro 2 - Relación entre velocidad y aceleración cuando la aceleración es normal

| Tipo de vehículo | Aceleración normal en kilómetros por hora por segundo de acuerdo con la velocidad alcanzada en kilómetros por hora | | | | | | |
|-----------------------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 20 km/hr | 30 km/hr | 40 km/hr | 50 km/hr | 60 km/hr | 70 km/hr | 80 km/hr |
| Automóviles en vías rurales | 9.5 | 8.7 | 7.9 | 7.1 | 6.7 | 6.2 | 5.6 |
| Automóviles en vías urbanas | 5.5 | 4.9 | 4.0 | 3.2 | ... | ... | ... |
| Camiones sencillos | 3.5 | 2.7 | 1.9 | 1.3 | 0.8 | 0.5 | 0.3 |
| Camiones con semirremolques | 2.5 | 1.6 | 1.1 | 0.9 | 0.6 | 0.5 | 0.3 |
| Autobuses interurbanos | 3.2 | 2.4 | 1.9 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 0.5 |

Fuente: Procedencia “Acceleration Lane Lengths for Heavy Commercial Vehicles” Thomas B. Deen Traffic Engineering Magazine, Febrero, 1957

Donde, F_t es la fuerza de frenado y d la deceleración que provoca en el vehículo. Pero esta fuerza de frenado no puede ser mayor que el “agarre” entre las ruedas del vehículo y el pavimento, por razones obvias. Este agarre es igual al producto del coeficiente de rozamiento de las superficies en contacto por el peso del vehículo. Por lo tanto, llamando f al coeficiente de rozamiento, el valor máximo de la fuerza de frenado será:

$$F_t = \frac{Pd}{g} = Pf \therefore Ec. (2)$$

De donde la máxima deceleración posible será teóricamente:

$$d = fg \therefore Ec. (3)$$

Los conductores no suelen inmovilizar completamente las ruedas del vehículo, sino que generalmente las dejan girar algo, para obtener la deceleración del vehículo se estudiaron en unos ensayos realizados con automóviles en los terrenos de prueba de la General Motors en 1940. He aquí algunas conclusiones productos de ensayos.

1. Los mayores valores obtenidos para la deceleración se acercan a los 9 m/s^2 .
2. A deceleraciones mayores de 6.7 m/s^2 los ocupantes de los vehículos deben agarrarse para no salir despedidos de los asientos.
3. La deceleración considerada máxima por los que ejecutaron los ensayos y obtenida aplicando fuertemente los frenos a velocidades bastante altas se encuentran entre 5.8 m/s^2 y 6.7 m/s^2 .
4. Los objetos se deslizan de los asientos y los ocupantes de los vehículos se sienten incómodos, la deceleración no debe pasar de 2.6 m/s^2 .

El trabajo de la fuerza de frenado debe ser igual a la energía cinética del vehículo para que pueda neutralizarse. Si llamamos e al espacio mínimo recorrido por el vehículo mientras frena o distancia mínima de frenado tendremos que:

$$Fr \times e = \frac{PV^2}{2g} \therefore e = \frac{PV^2}{2gFr} \text{ Ec. (4)}$$

Pero para que “e” sea mínimo el valor de Fr debe ser máximo y en ese caso ya hemos visto que Fr= Pf, donde:

$$e = \frac{V^2}{2gf} \text{ Ec. (5)}$$

Formula que no es exacta porque el coeficiente de rozamiento no es constante. Si expresamos la velocidad en kilómetros por hora y la aceleración de la gravedad por 9.80 m/s² la distancia mínima frenado en metros será:

$$e = \frac{V^2}{254f} \text{ Ec. (6)}$$

Si la vía en vez de ser horizontal tiene una rampa “r” (negativa si es pendiente), la formula se transforma en:

$$e = \frac{V^2}{254(f + r)} \text{ Ec. (7)}$$

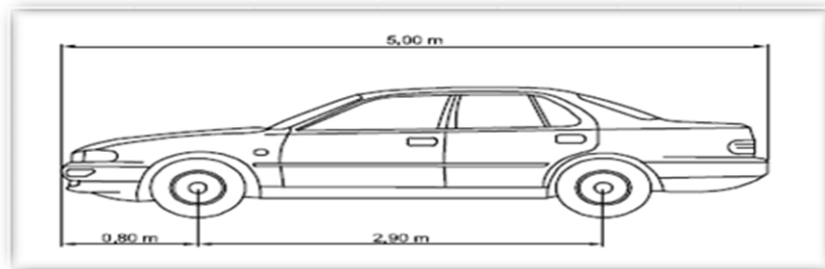
Cuadro 3 - Coeficientes de rozamiento y distancias de frenado para vías horizontales

| Velocidad Km/h | PAVIMENTOS HUMEDOS | | PAVIMENTOS SECOS | |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | Coficiente de rozamiento | Distancia de frenado en (m) | Coficiente de rozamiento | Distancia de frenado en (m) |
| 50 | 0.36 | 27 | 0.62 | 16 |
| 65 | 0.33 | 50 | 0.60 | 28 |
| 80 | 0.31 | 81 | 0.58 | 44 |
| 95 | 0.30 | 118 | 0.56 | 63 |
| 110 | 0.29 | 164 | 0.55 | 87 |

Fuente: Procedencia A Policy on Geometric of Rural Highways “American Association of State Highway Officials, Washington, D.C.: E.U.A. 1994.

e) **Vehículos representativos.**- Las características geométricas de las vías deben estar relacionados con las dimensiones y radios de giros de la mayoría de los vehículos que circulan por ellas, pero como es tan amplia la variedad de vehículos que existe, deben usarse para proyectar ciertos vehículos representativos que excedan en tamaño y limitaciones de maniobra a la mayoría de los de su clase.

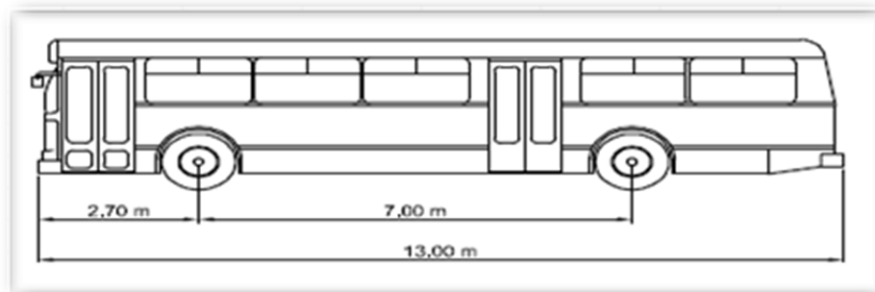
Gráfica 2- Dimensiones de un vehículo liviano



Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras

Se define a los Vehículos motorizados livianos, como todos aquellos vehículos con un peso bruto de menos de 2.700 kg., excluidos los de tres o menos ruedas. Los vehículos livianos, se clasifican en vehículos de pasajeros y comerciales.

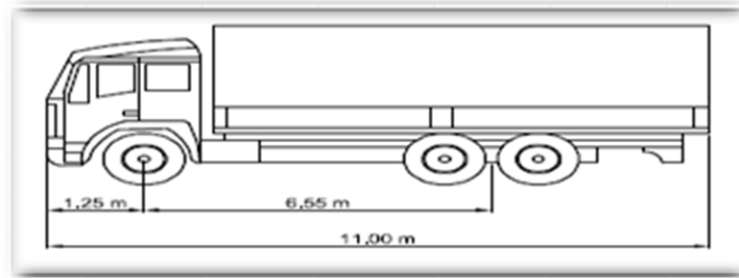
Gráfica 3 - Dimensiones de un bus grande



Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras

Este término se emplea para nombrar a un medio de transporte que puede trasladar a numerosos pasajeros de manera simultánea y que realiza un recorrido fijo.

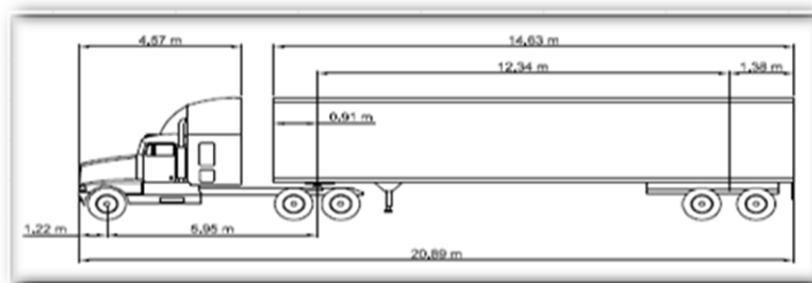
Gráfica 4 - Dimensiones de un camión categoría 3



Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras

Vehículo automóvil grande y potente, que está constituido por una cabina en la que va el conductor y una gran caja o depósito y que está destinado al transporte de carga pesada por carretera.

Gráfica 5 - Dimensiones de un camión categoría 3S2



Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras

Remolque de un camión, especialmente si es de grandes dimensiones, camión que lleva un tráiler o remolque.

2.1.4 La vía

El cuarto elemento de tránsito es la vía, que es el lugar debidamente acondicionado para la circulación de vehículos, peatones o ambos.

a) Tipos de vías y sus partes integrantes.- Las vías se pueden clasificar en rurales y urbanas, atendiendo al carácter de la zona donde se encuentran.

Las vías rurales (aparte de las vías férreas) se llaman caminos; y a los caminos de características modernas destinados al tránsito de un número relativamente grande de vehículos motorizados se les da el nombre de carreteras.

Gráfica 6 - Vía rural



Fuente: Elaboración propia

Atendiendo a su función, las vías rurales pueden clasificarse en: a) carreteras internacionales, cuando tienen por objeto proveer un medio de comunicación entre distintos países; b) carreteras nacionales o troncales si su fin es comunicar los puntos más importantes de un país y están destinados principalmente al tránsito que recorre grandes distancias; c) carreteras regionales o secundarias, cuando su interés se limita a una región pero están vinculadas a las nacionales y son para recorridos de mediana longitud y; d) caminos locales o vecinales que proporcionan acceso a los puntos más apartados del país conectándolos al sistema de carreteras y se destinan generalmente a trayectos cortos.

La calzada es la parte del camino por donde circulan los vehículos y corresponde al área que ocupa el pavimento cuando existe, llamamos carriles a las fajas de calzada que pueden acomodar a una sola fila de vehículos de cuatro o más ruedas, generalmente

tiene de 2,50 a 3,65 metros de ancho, bermas son las porciones contiguas a la calzada para estacionar vehículos transitar en casos de necesidad urgente y servir de soporte lateral a la zona de circulación, al conjunto de calzadas y bermas se suele denominar plataforma del camino y el área de terreno reservada para el camino es la faja de emplazamiento.

Las vías urbanas se llaman calles y suelen tomar el nombre de avenidas cuando son más anchas y el tránsito circula por ellas con carácter preferente, aunque a veces esta denominación indica simplemente la orientación de la vía, sin embargo atendiendo a su función como conductoras del tránsito, se ha clasificado a las vías urbanas en; a) arterias, cuando están destinadas primordialmente a proporcionar un medio para la circulación del tránsito en la forma más expedita que sea posible y tienen como fin secundario el acceso a las propiedades colindantes; b) calles colectoras, si su objeto es recoger el tránsito de una zona urbana, conducirlo a las arterias y al mismo tiempo dar servicio a la propiedades colindantes; y c) calles locales las que son principalmente para proveer acceso a las propiedades de acuerdo con el carácter predominante de la zona donde estén situadas, las vías urbanas pueden ser residenciales, comerciales e industriales.

Gráfica 7 - Vía urbana



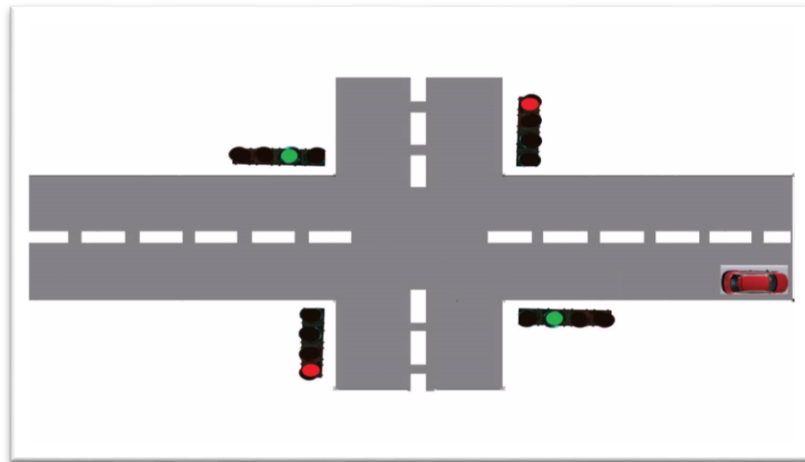
Fuente: <https://sites.google.com/site/viasdecomunicacion2nucleocol>

Generalmente las calles no tienen bermas, sino que su calzada está bordeada por una pieza vertical o inclinada que se denomina bordillo. A ambos lados de las calles se suelen construir aceras para el paso de los peatones, junto al bordillo, o dejando un espacio para el césped. Casi siempre la calle ocupa toda su faja de emplazamiento y no deja lugar a zonas laterales.

Cuando las carreteras atraviesan zonas urbanas, muchas veces conservan el nombre de carreteras, como orientación, aunque sus características sean las de vías urbanas. En esta obra llamaremos a esas vías travesías de carreteras pero se clasifican como urbanas.

Denominaremos intersección al área general donde dos o más vías se unen o cruzan, y comprende todo el espacio destinado a facilitar los movimientos de los vehículos que circulan por ella. Casi siempre abarca todo el ancho de las fajas de emplazamiento de las vías.

Gráfica 8 - Intersecciones



Fuente: Elaboración propia

Llamamos cruce al lugar donde una calzada se une o atraviesa a otra u otras, de suerte que en una intersección puede haber uno o varios cruces. Las vías o porciones de vías que se unen en una intersección; y a las calzadas o porciones longitudinales de calzadas por donde el tránsito llega a la intersección se denomina accesos o entradas a la intersección. De igual modo, los lugares similares por donde el tránsito se aleja de la intersección serán designados como salidas.

2.2 VOLÚMENES DE TRÁNSITO

Se denomina volumen de tránsito al número de unidades de tránsito que pasan por un punto dado en un periodo específico de tiempo.

2.1.1 Unidades y definiciones

a) Unidades.- Las unidades de tránsito son los vehículos de todas clases: automóviles, ómnibus, camiones, bicicletas, motocicletas, etc., y los peatones. Sin embargo a fin de emplear la nomenclatura que es habitual, entenderemos que el “volumen” a secas se compone solamente de vehículos y cuando se trate de peatones lo indicaremos explícitamente. Para abreviar la palabra vehículo o vehículos emplearemos el símbolo “v”, y usaremos “p” para peatón o peatones.

El volumen de tránsito se expresa generalmente en número de vehículos por unidad de tiempo que es generalmente el día o la hora. En las determinaciones de volúmenes pueden considerarse todos los vehículos que circulan por una vía, en un solo sentido o en ambos, o bajen, los que van por un solo carril.

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

- ✓ **Tránsito promedio diario anual (TPDA).**-

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

- ✓ **Tránsito promedio diario mensual (TPDM).**-

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

- ✓ **Tránsito promedio diario semanal (TPDS).**-

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

c) **Volúmenes horarios.**- Son los que resultan de dividir el número de vehículos que pasan por un punto en un periodo de tiempo entre el valor de ese periodo de tiempo en horas.

- ✓ **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-décimo, vigésimo, trigésimo-anual (10VH, 20VH, 30VH).**- Es el volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado, que es excedido por 9, 19, y 29 volúmenes horarios, respectivamente. También se le denomina volumen horario de la 10ª, 20ava y 30ava hora de Máximo volumen.
- ✓ **Volumen Horario de proyecto (VHP).**- Es el volumen de tránsito horario que servirá para determinar las características geométricas de la vialidad. Fundamentalmente se proyecta con un volumen horario pronosticado. No se trata de considerar el máximo número de vehículos por hora que se puede

presentar dentro de un año, ya que se pueda dar un número máximo de veces en el año, previa convención al respecto.

El volumen de tránsito horario es la cantidad de movibilidades que pasan en una hora, dependiendo del tipo de tráfico para su determinación se deben realizar aforos los cuales indicaran la cantidad de vehículos que pasan en una determinada hora.

d) Composición de los volúmenes.- En general los volúmenes de tránsito están compuestos de unidades muy heterogéneas y esta tendencia se acentúa a medida que aumenta el número de vehículos por unidad de longitud de vía. Es necesario conocer la composición de estos volúmenes principalmente por las siguientes razones:

- ✓ Los efectos que ejercen los vehículos entre sí, dependen de sus características. Por ejemplo los vehículos lentos suelen limitar la velocidad de los que van detrás de ellos y los que hacen paradas frecuentes entorpecen la circulación de todos. La composición de la corriente de vehículos que pasa por una vía influye, por lo tanto, en su capacidad.
- ✓ La proporción de vehículos de grandes dimensiones y radios de giro determina las características geométricas que deben tener las vías y el peso de los vehículos, sus características estructurales.
- ✓ Los recursos que se pueden obtener de los usuarios de una vía dependen entre otras cosas, del por ciento de vehículos comerciales que circula por ella.

2.2.2 Variaciones de los volúmenes de tránsito

a) Variaciones periódicas de los volúmenes.- El volumen de tránsito sufre variaciones periódicas con las horas del día, los días de la semana y los meses y estaciones del año. Es preciso tener en cuenta también las diferencias entre los volúmenes que circulan por una vía en distintos sentidos.

- ✓ **Variaciones diarias.-** El volumen de tránsito es diferente a lo largo de las 24 horas del día. En vías urbanas acusa variaciones muy marcadas, de acuerdo con

el movimiento de las personas en su vida cotidiana. En vías rurales los cambios son más graduales, a no ser que estas vías se encuentren cerca de ciudades.

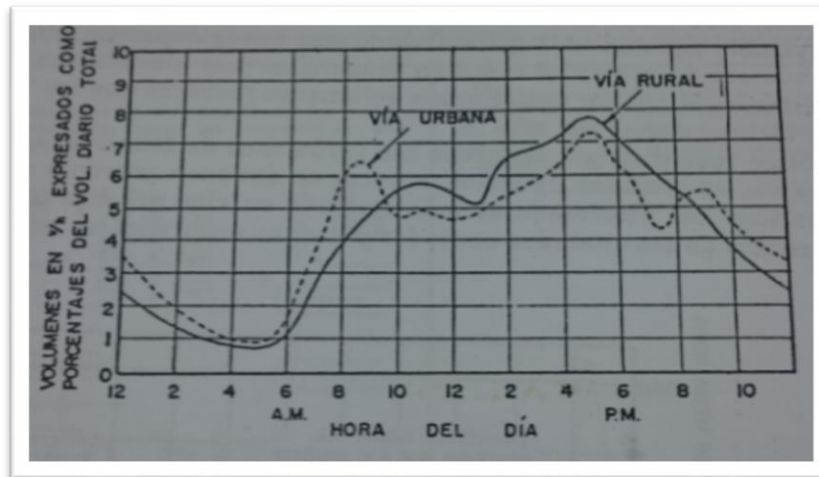
- ✓ **Variación semanal.-** En una vía, el volumen de tránsito cambia con el día de la semana. Hay fluctuaciones pequeñas de lunes a viernes, pero las alteraciones mayores corresponden a los sábados y domingos. Esto permite simplificar los estudios pues pueden tomarse un volumen común para los días entre semana y considerar aparte el sábado y el domingo.

- ✓ **Variación anual.-** También el volumen de tránsito suele variar durante el año, con los meses o con las estaciones, siendo generalmente mayor durante el verano. Las fluctuaciones anuales son mucho más pronunciadas en vías rurales que en vías urbanas.

- ✓ **Variación por sentido.-** En la mayoría de las vías urbanas y en algunas vías rurales hay grandes diferencias entre el tránsito que circula en un sentido y el que va en sentido contrario en un momento determinado.

b) Patrones de volumen de tránsito.- Los volúmenes de tránsito varían en general, de acuerdo con ciertos patrones más o menos fijos. El conocimiento de estos patrones es muy importante porque permite derivar datos sobre volumen de otros que ya se poseen, sin tener que obtenerlos todos sobre el terreno. Los patrones se expresan por la relación entre unidades de volumen de tránsito y unidades de tiempo; o bien, utilizando porcentajes del volumen de tránsito total o promedio y unidades de tiempo.

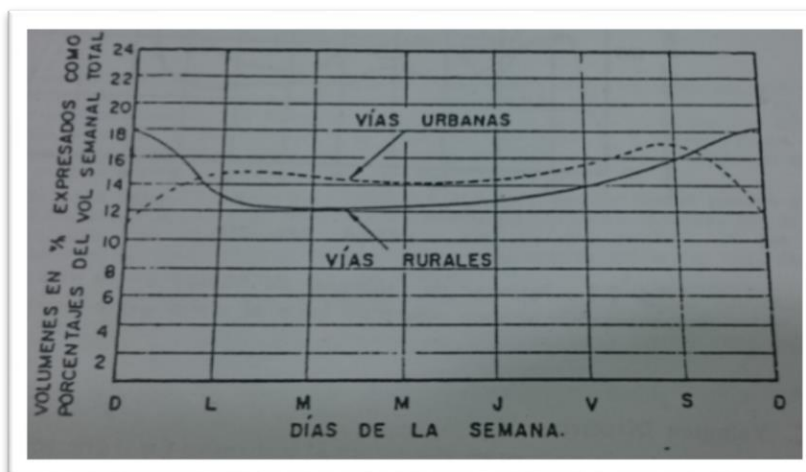
Gráfica 9 - Patrones diarios de volúmenes de tránsito habituales en vías urbanas



Fuente: Manual de ingeniería de tránsito – Guido Radelat Egües

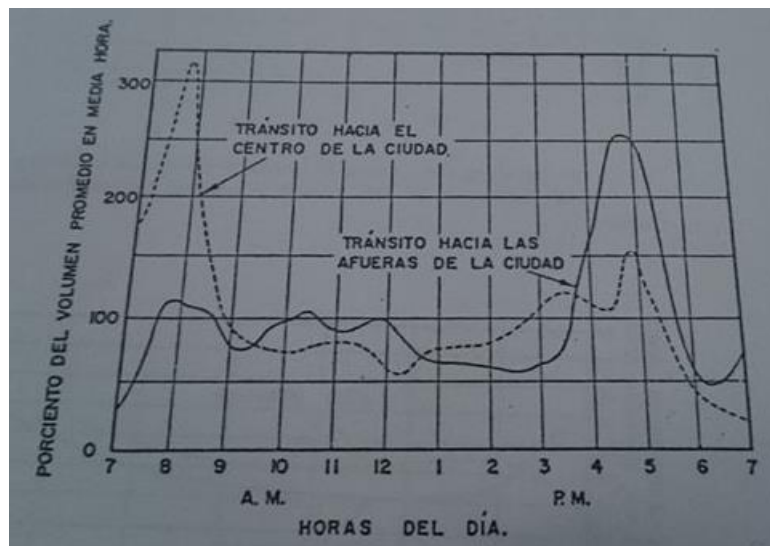
Si se registran por separado los volúmenes de tránsito que circulan por una vía en sentidos opuestos, a veces se obtienen patrones completamente distintos. Esa diferencia es más marcada en vías urbanas orientadas hacia el centro de las ciudades como los patrones mostrados.

Gráfica 10 - Patrones diarios de semanales de tránsito habituales en vías urbanas



Fuente: Manual de ingeniería de tránsito – Guido Radelat Egües

Gráfica 11 - Volúmenes de tránsito en una vía urbana hacia el centro de la ciudad



Fuente: Manual de Ingeniería de Tránsito – Guido Radelat Egües

2.2.3 Recuentos de volúmenes de tránsito

El procedimiento habitual para obtener información sobre volúmenes de tránsito es efectuando censos o recuentos en las vías. El recuento es la enumeración de los vehículos que pasan por uno o varios puntos de una vía o vías, clasificándolos de acuerdo con la hora, la dirección o sentido de su movimiento, su tipo o el número de personas que van en los mismos.

a) Recuentos manuales.- Aforo de tráfico mediante el uso de planillas de conteo, el conteo manual es un método para obtener datos de volúmenes de tráfico a través del uso de personal de campo conocido como aforadores de tráfico. Los aforos manuales son usados cuando la información deseada no puede ser obtenida mediante el uso de dispositivos mecánicos. El método manual permite la clasificación de vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes y otras características. Registro de movimiento de vueltas y otros movimientos, tanto vehiculares como de peatones. Los conteos manuales son usados frecuentemente para comprobar la exactitud de los contadores mecánicos.

La periodicidad con que se debe realizarse los estudios, son estudios determinados o puntuales de un proyecto o son parte de un control permanente de tránsito lo ideal es estudiar los volúmenes de tránsito todos los días del año, y en los días por lo menos 12 a 15 horas al día sin embargo esto implica tener un buen equipo de aforadores y procesadores de datos lo cual no siempre es disponible en las instituciones relacionadas al tema.

b) Contadores automáticos.- Los métodos de conteo automáticos son métodos para obtener datos de volúmenes de tráfico a través del uso de detectores superficiales tales como: detectores neumáticos, contacto eléctrico, fotoeléctrico, radar, magnético, ultrasónico, infrarrojo, etc.

Estos detectan el vehículo que pasa y transmiten la información a un registrador, que está ubicado a un lado del camino.

- ✓ **Contacto eléctrico.-** El detector de contacto usado en instalaciones permanentes consiste de una placa de acero cubierta por una capa de hule vulcanizado y moldeado que contiene una tira de acero flexible. El espacio formado entre los dos contactos es llenado con un gas inerte y seco durante el montaje del pedal y sellado como una unidad durante el proceso de vulcanización. Al pasar cada eje de un vehículo sobre este dispositivo se cierra un circuito eléctrico. Con este tipo de detector es posible realizar recuentos de vehículos por carril. Un dispositivo de tipo provisional consiste de un contacto metálico separado por aire y un espaciador de goma resinosa.

- ✓ **Fotoeléctrico.-** El registro de objetos por medio de equipo fotoeléctrico se efectúa cuando un vehículo pasa a través de una fuente de luz y una fotocelda (dispositivo capaz de distinguir entre una luz o la falta de la misma). Varios tipos de contadores eléctricos de tráfico pueden ser conectados a la fotocelda y activados por sus circuitos. La detección fotoeléctrica no es conveniente para recuento de dos o más carriles, cuando se sabe de antemano que los volúmenes serán mayores a mil vehículos por hora.

- ✓ **Radar.-** Un fenómeno natural que ocasiona que una señal de radio al ser reflejada por un objeto en movimiento cambie su frecuencia con relación a la señal de radio incidente, es lo que hace posible la detección de vehículos por medio del radar. Este fenómeno es conocido como el “efecto Doppler”. El equipo electrónico que utiliza el radar compara continuamente la frecuencia de la señal transmitida, con la frecuencia de la señal recibida. Siempre que exista una diferencia de frecuencias será detectado un vehículo.

- ✓ **Magnético.-** Una señal o impulso originado por un vehículo en movimiento, a través de un campo magnético, es la base para la detección magnética. Los detectores magnéticos son de dos tipos: los del tipo auto generador y aquellos que necesitan una excitación. Los detectores auto generadores constan de un embobinado de 5 cm. de diámetro y de 38.1 cm. de longitud, colocado en un tubo de fibra inmediatamente debajo de la superficie del pavimento. El uso del tubo permite el ajuste lateral de la unidad, de tal forma que se ajuste la colocación del embobinado, con objeto de obtener mayor precisión en los conteos. El impulso o señal es causado por la distorsión de las líneas de fuerza normales al campo magnético terrestre en el área del vehículo en movimiento. Cuando esta distorsión tiene lugar, las líneas de fuerza en movimiento cortan las espirales en el solenoide y se genera un voltaje.

2.3 ESTUDIOS SOBRE VOLÚMENES DE TRÁNSITO

2.3.1. Características

Cuando se desea conocer los volúmenes de tránsito que circulan por una vía, por parte de ella, o por un sistema de vías, se hacen estudios sobre volúmenes. Estos estudios emplean como fuente primaria de información recuentos de volúmenes que en la mayoría de los casos se distribuyen convenientemente en tiempo y espacio, a fin de utilizar sus resultados para inducir y deducir nuevos datos.

El proceso de inducción consiste en determinar el patrón de volúmenes de tránsito de una vía con datos obtenidos de recuentos. Luego, aplicando ese patrón a otras vías similares y haciendo recuentos cortos en ellas, es posible deducir sus volúmenes correspondientes. Para efectuar un estudio de volumen de tránsito hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- ✓ Objeto de estudio e información necesaria. Es decir si se trata de estudiar una vía, intersección aislada, o sistema de vías; o bien realizar estudios en cordones abiertos o cerrados. La información necesaria influirá en el método a emplear y puede ser el T.P.D. de las vías, sus volúmenes horarios, circulación en cada sentido, movimientos de giro, número de vehículos de cada tipo, etc.
- ✓ Grado de precisión deseado y recursos disponibles, que determinan la distribución y duración de los recuentos.
- ✓ Magnitud de las corrientes vehiculares que se consideran, en la vía o sistemas de vías por donde circulan. Si no se dispone de datos suficientes sobre este particular, es preciso estimarlos previamente para planear el estudio.
- ✓ Tiempo que invertirá, en organizar el estudio, colocar y transportar contadores, trasladar los observadores, etc.; a fin de determinar el tiempo efectivo de que se dispone para hacer los recuentos propiamente dichos.

2.3.2 Estudios en lugares aislados

Se realizan para obtener información sobre volúmenes de tránsito en un lugar específico. Sus resultados se pueden usar para proyectar vías, hacer análisis sobre capacidad, establecer las fases de semáforos y para muchos otros fines relacionados con proyectos locales.

Estos estudios se llevan a cabo en el lugar donde se necesite la información haciendo recuentos de volumen de tránsito cuya duración suele ser de 48 horas a una semana si

se utilizan contadores automáticos. Cuando se efectúan los recuentos en forma manual, se hacen solo durante las horas de tránsito que interesen (como las de volúmenes máximos), pero como el volumen de tránsito varía de un día a otro siempre es necesario repetir estos recuentos de 2 a 5 veces en distintos días de la semana y obtener el promedio de los resultados.

Cuando estos estudios se ejecutan en intersecciones, se acostumbra a emplear recuentos manuales hallando totales cada 15 minutos. Fuera de las intersecciones se utilizan más los recuentos automáticos. Si es necesario expandir los datos tomados en los recuentos a periodos de tiempo mayores, se puede aplicar procedimientos que se describan al tratar sobre los estudios en sistemas de vías.

2.3.3 Estudios en sistemas de vías rurales

Tienen por objeto conocer datos sobre los volúmenes de tránsito que circulan en un sistema de caminos. Para dar una idea sobre su ejecución describiremos el procedimiento recomendado por el "Bureau of Public Roads" de los Estados Unidos.

- ✓ Estaciones permanentes de recuento continuo, que se establecen en todos los tramos de camino donde se necesite una serie continua de datos para determinar volúmenes horarios, tendencias de los volúmenes de tránsito, distribución de recuentos cortos en otros lugares, o donde sea necesaria una información muy preciosa. La ubicación de estas estaciones debe hacerse de manera que los tramos donde estén situadas sean representativos de cada tipo de camino del sistema clasificado de acuerdo con: Su función, situación geográfica, relación con zonas urbanas o industriales.

- ✓ Estaciones de control son las destinadas a determinar la variación de los volúmenes de tránsito durante la semana y también de un mes a otro. Para situarlas se deben seguir los criterios que se recomendaron en la ubicación de las estaciones permanentes y se instalan en ellas contadores, registradores.

- ✓ Estaciones sumarias: En ellas se hacen recuentos una vez al año durante 48 horas consecutivas de dos días entre semana, empleando contadores portátiles no registradores. Cuando los patrones diarios de volúmenes de tránsito son muy regulares el tiempo de recuento puede reducirse a 24 horas.

2.3.4 Estudios en sistemas urbanos

Se realizan para conocer el volumen y la distribución del tránsito en zonas urbanas. A continuación esbozaremos el procedimiento sugerido por el “National Committee on Urban Transportation” de los Estados Unidos que es uno de los más difundidos en ese país.

Este procedimiento recomienda que se clasifiquen las vías urbanas en un Sistema Principal, compuesto por: a) Vías expresas, b) arterias, c) calles colectoras; y en un sistema secundario formado por calles locales de tres tipos, d) residenciales, e) comerciales, y f) industriales.

- ✓ **Recuentos de control.**- Se harán tres clases de ellos; a) recuentos principales, b) recuentos secundarios y c) recuentos básicos; y se recomienda que se ejecuten con contadores automáticos, portátiles, registradores y de acción neumática.

a) Los recuentos principales de control se realizan para conocer los patrones diarios del volumen de tránsito que circula en cada sentido en las vías pertenecientes al Sistema Principal. Debe establecerse una estación mayor de recuento en cada vía principal, en un punto donde la capacidad de la vía no limite su volumen de tránsito (deformando el patrón), donde no haya distorsiones locales (como la salida de una fábrica y donde pueda instalarse un contador automático.

b) Los recuentos secundarios de control se efectúan para determinar los patrones diarios de volumen de tránsito (ambos sentidos combinados) correspondientes a calles representativas del sistema secundario. Se recomienda un mínimo de nueve estaciones de recuento secundario, tres en cada clase de calle del sistema (residencial, comercial e industrial) pero siempre debe tratarse que todo tipo de calle esté representada. Los

recuentos se hacen registrando volúmenes horarios durante 24 horas cada dos años, sin clasificar los volúmenes por sentido.

c) Los recuentos básicos de control, tienen por objeto conocer los patrones semanales y de variaciones por estación de volúmenes de tránsito que circulan por cada clase de calle. Ellos permiten determinar coeficientes de expansión para estimar el T.P.D. en función de volúmenes registrados durante solo 24 horas. Estos recuentos deben hacerse, por lo menos en una estación de control situada en cada uno de los seis tipos de vías urbanas (vías expresas, arterias, calles colectoras, y calles residenciales, comerciales e industriales). Las estaciones de control seleccionadas, deben ser las que se han usado para hacer los otros recuentos y han mostrado patrones más típicos. Los recuentos se hacen continuamente durante siete días consecutivos, sin clasificar los volúmenes por sentido y una vez al año para determinar los patrones semanales; y además durante 24 horas, en un día entre semana, sin clasificación por sentido, cada tres meses, todos los años, para conocer las variaciones por estación. Si las variaciones climáticas son muy marcadas entonces los recuentos de 24 horas deben hacerse todos los meses.

- ✓ **Recuentos sumarios.-** Se realizan para obtener datos sobre volumen en distantes secciones de control de las vías del Sistema Principal. Estas secciones de control son tramos de vías homogéneas de acuerdo con la circulación del tránsito, sus características geométricas y el carácter de las propiedades colindantes. La función de estas secciones como vías urbanas no deben cambiar en toda su longitud, suelen ser de 800 a 3.200 metros, y están limitadas generalmente por vías principales. Se hacen recuentos en cada sección de control durante 24 horas en días entre semana, cada cuatro años y sin calificar volúmenes por sentido. El único dato requerido es el volumen total durante 24 horas; por lo tanto pueden usarse contadores portátiles no registradores. Con los datos obtenidos en estos recuentos y aplicando coeficientes de expansión apropiados, se puede estimar el T.P.D. los volúmenes horarios máximos por sentido y el total de vehículos – kilómetros.

2.4 VELOCIDAD

2.4.1 Definiciones

Velocidad es la relación entre el espacio recorrido por un móvil y el tiempo que ha tardado en recorrerlo. Si llamamos “V” a la velocidad, “e” al espacio andado y “t” al tiempo empleado, $V=e/t$.

Cuando el móvil es un vehículo, la velocidad que desarrolla es afectada por sus propias características, por las del conductor y la vía, por el volumen de tránsito, condiciones atmosféricas y otros factores; de suerte que la velocidad a que marcha está variando constantemente. Esta circunstancia obliga a trabajar con valores medios de la velocidad.

Velocidad instantánea se llama así a la velocidad de un vehículo en un instante determinado; es decir en un espacio de tiempo infinitamente pequeño.

Velocidad en un punto es la velocidad instantánea de un vehículo cuando pasa por un punto dado de una vía.

Tiempo de recorrido, se define como el tiempo que transcurre mientras un vehículo recorre ciertas distancias, incluyendo el invertido en paradas, excepto cuando estas son ajenas a la vía.

Velocidad media de recorrido. Es el cociente que resulta de dividir el espacio andado por un vehículo entre el tiempo de recorrido correspondiente a ese espacio.

Tiempo de marcha, se llama así al periodo de tiempo durante el cual un vehículo se encuentra en movimiento.

Velocidad media de recorrido, es el cociente que resulta de dividir el espacio andado por un vehículo entre el tiempo de recorrido correspondiente a ese espacio.

Tiempo en marcha, se llama así al periodo de tiempo durante el cual un vehículo se encuentra en movimiento.

Velocidad media de marcha, es la relación entre la distancia recorrida por un vehículo y su tiempo de marcha mientras recorrió esa distancia.

Velocidad directriz, es la seleccionada para proyectar y relacionar entre si las características físicas de una vía que influyan en el movimiento de los vehículos. Es la velocidad máxima a la cual los vehículos individuales pueden circular en un tramo de vía, cuando las características físicas de la vía son los únicos factores que gobiernan la seguridad.

2.4.2 Estudios sobre velocidad instantánea

Estos estudios se realizan midiendo aproximadamente la velocidad instantánea de los vehículos que pasan por un punto de una vía; o sea, su velocidad en un punto.

Su propósito es calcular el valor y la distribución de la velocidad de todos los vehículos que circulan por un lugar determinado, bajo las condiciones imperantes en el momento de haber el estudio.

Tienen muchas aplicaciones en la ingeniería de tránsito. Se usan para establecer restricciones de velocidad, indicar la velocidad segura en curvas y proporcionar información relativa a la situación de las señales de tránsito. Si se hacen estos estudios periódicamente, es posible conocer tendencias en la velocidad, y pueden usarse para valorar los efectos de un cambio en una vía. También sirven como ayuda en los estudios sobre la relación entre los accidentes y la velocidad.

a) Método y equipo para determinar la velocidad instantánea

Para obtener los datos sobre velocidades instantáneas se emplean tres técnicas fundamentales. Una de ellas consiste en medir el tiempo en que los vehículos recorren una distancia conocida, la otra utiliza una onda de radio que es reflejada por el vehículo en movimiento y la tercera emplea un método fotográfico. En ninguna de las tres (y mucho menos en la primera) se mide exactamente la velocidad instantánea sino una velocidad media en un periodo de tiempo relativamente corto que es perfectamente adecuada para fines prácticos.

Probablemente el medio más antiguo y económico para determinar las velocidades de los vehículos sea usando un cronometro, se mide una distancia sobre la vía, es decir. Una base y se marca. El cronometro se pone en marcha cuando el vehículo entra en la base y se para cuando el mismo vehículo sale de ella.

La longitud de la base que se debe usar está determinada por la visibilidad, características físicas de la vía y velocidad general de los vehículos que se observan. Si se emplean cronómetros ordinarios graduados en segundos y quintos o decimos de segundos se sugiere usar bases que sean múltiplos de 27,78 metros para facilitar la reducción de los datos. A fin de alcanzar una exactitud razonable en la medida de las velocidades, se recomienda que se usen las siguientes bases:

- ✓ 27,78 m para velocidades generales inferiores a 40 km/h.
- ✓ 55,56 m para velocidades generales comprendidas entre 40 y 70 km/h.
- ✓ 111,12 m para velocidades generales superiores a 70 km/h.

Los extremos de la base pueden marcarse con pintura en el pavimento, pero al hacer las observaciones se cometen errores, de paralaje. Estos errores se pueden evitar empleando enoscopios, que son cajas en forma de “L”, abiertas en dos partes con un espejo colocado en su interior a un ángulo de 45 grados con las paredes de la caja, este dispositivo dobla a 90 grados la visual del observador y su construcción es barata, el enoscopio puede colocarse en un extremo de la base con un brazo de la “L” perpendicular a la trayectoria de los vehículos y el otro apuntando hacia el observador que se situara en el otro extremo de la base.

Es conveniente que este se ubique frente a un árbol o poste que haya al otro lado de la calle y ponga en marcha el cronometro cuando el vehículo interrumpa su visual al árbol o poste.

Hay dispositivos mecánicos que ponen en marcha y detienen automáticamente el cronometro. Estos dispositivos suelen emplear tubos sobre la calzada para captar las

señales y bobinas para accionar el cronometro. Los instrumentos mecánicos contribuyen a evitar errores causados por el tiempo de reacción del observador; sin embargo esos errores compensan generalmente cuando se utilizan dos enoscopios ya que ocurrirán las mismas demoras al echar a andar y parar el cronometro.

Existen medidores de velocidad en el mercado que trabajan con tubos o detectores similares en cada extremo de la base estos pueden ser de:

- ✓ Los que usan un motor de velocidad constante y un embrague eléctrico. Cuando las ruedas delanteras del vehículo pisan el primer tubo, se acopla el embrague y se empieza a registrar el tiempo, una aguja comienza a moverse por una escala graduada a la velocidad del motor y cuando el vehículo cruza el segundo detector, se desacopla el embrague y la aguja indica la velocidad del vehículo.

- ✓ El otro tipo de medidor es electrónico y emplea un circuito de descarga calibrado y un capacitador de precisión. El capacitador se carga a un voltaje determinado por medio de una fuente de energía. Cuando los vehículos accionan los tubos sobre la calzada inician y detienen respectivamente la descarga del capacitador. El voltaje que queda en el capacitador se mide y se convierte en unidades de velocidad.

Los medidores de radar o a base de radar son unos de los instrumentos más recientes para este fin y se basan en el principio fundamental que una onda de radio reflejada por un objeto en movimiento experimenta una variación en su frecuencia que es función de la velocidad del objeto, estas unidades son portátiles y cuando se apunta con ellas hacia un vehículo indican inmediatamente su velocidad en un cuadrante, con una precisión de unos 3 km/h. No tienen elementos que haya que colocar sobre la calzada y trabajan a una distancia hasta de 45m, pero funcionan mejor a unos 10m de la trayectoria de los vehículos y a un ángulo de 15 grados con ella, muchos casos se ha usado para medir la velocidad de los vehículos en una serie de fotografías tomadas a intervalos de aproximadamente un segundo, con una cámara filmadora equipada con un intervalo y dotada de un motor de velocidad constante. Proyectando esa película en

una pantalla con una cuadrícula especial, se pueden determinar las distancias que avanzan los vehículos en una imagen a otra y calcular su velocidad de acuerdo con los intervalos de tiempo entre las imágenes, este método permite analizar la velocidad de todos los vehículos así como su espaciamiento, pero demora mucho tomar los datos de la película.

b) presentación y análisis de los datos

Los datos que se toman en los estudios sobre velocidad instantánea en que se mide el tiempo que tardan los vehículos en recorrer una base fija, pueden anotarse en una hoja de campo donde se indica y va anotando los trazos en sus lugares correspondientes, el número de vehículos que tardan en recorrer la base un tiempo apreciado igual a los segundos indicados en la segunda columna, como puede observarse, los vehículos se clasifican en automóviles, ómnibus y camiones, si se hubiera empleado un medidor de radar las anotaciones serían similares. El resultado de este estudio podría representarse por una sola cifra que indicara el promedio de las velocidades de todos los vehículos y aunque así se ha hecho muchas veces, un valor único no indica adecuadamente las diversas magnitudes que pueden revelar un estudio sobre velocidades instantáneas es conveniente por lo tanto hacer un análisis estadístico de los datos tomados, Para ello pueden colocarse esos datos en un modelo ordenado y representados y realizar los cálculos indicados en el para hallar nuevos valores que arrojen más luz sobre las condiciones estudiadas, que explicaremos a continuación.

Media aritmética.- Es el promedio de las velocidades de los vehículos y puede calcularse directamente de los datos tomados, se halla multiplicando el número de vehículos de cada grupo de velocidades por el valor central de la velocidad de su grupo respectivo sumando todos los productos y dividiendo la suma entre el número total de vehículos observados.

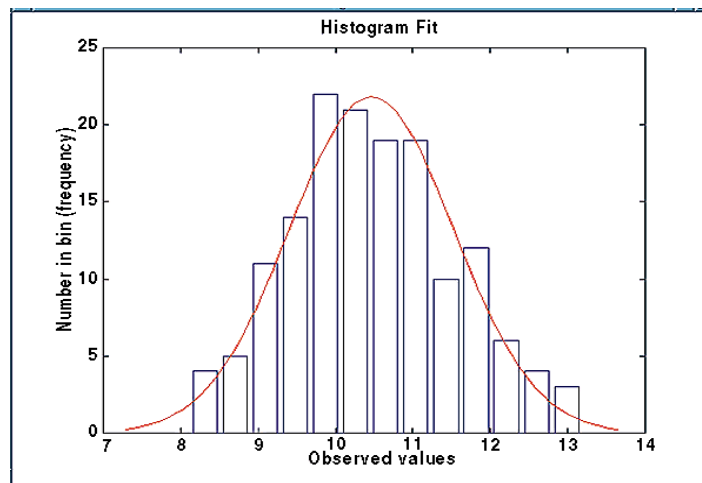
$$Xm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi = \frac{x1 + x2 + \dots + xn}{n}$$

En matemáticas y estadística, la media aritmética (también llamada promedio o media) de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

Es evidente que el valor de la media aritmética por sí solo no da indicación alguna sobre la distribución de las velocidades ni aun sobre el número de observaciones.

Histograma, se llama así a la representación gráfica de frecuencias por medio de rectángulos cuyas bases son los intervalos que representan esas frecuencias correspondientes. En el caso de las velocidades observadas expresadas en por ciento del número total de observaciones traza el histograma correspondiente, véase la siguiente gráfico.

Gráfica 12 - Histograma y curva velocidad frecuencia

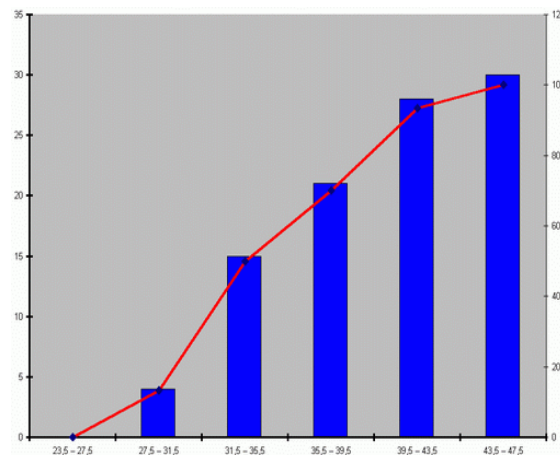


Fuente: Manual de ingeniería de tránsito – Guido Radelat Egües

Curva velocidad frecuencia uniendo la parte superior del histograma es posible dibujar una curva continua que de una idea de la relación que existe entre los valores de la velocidad y frecuencia con que ocurren, sin embargo como los valores de las velocidades siempre representan ciertos intervalos por razones obvias, en esta curva

el valor numérico de la ordenada dependerá del intervalo que representa su abscisa correspondiente, en otras palabras que el valor de la frecuencia de una velocidad determinada, digamos 10 km/h será mayor, mientras mayor sea el intervalo de velocidades que represente el valor central de 40 km/h.

Gráfica 13 - Curva velocidad frecuencia acumulada



Fuente: Manual de ingeniería de tránsito – Guido Radelat Egües

Moda o valor más frecuente, es el valor que ocurre con más frecuencia o sea, la velocidad a la que va mayor número de vehículos, puede hallarse rápidamente en el histograma determinando el valor central del rectángulo de mayor altura que se presente.

Curva velocidad – Frecuencia Acumulada, se llama también curva de la distribución acumulativa de las velocidades, se traza en un sistema de coordenadas cartesianas, tomando como las abscisas los valores de las velocidades y como ordenadas las frecuencias a que ocurren velocidades iguales o inferiores a esos valores, expresadas como porcentajes del total de frecuencias.

Percentiles, en un grupo de valores, llamamos percentil al valor que no es excedido por un porcentaje dado del número total de valores, por ejemplo en los estudio sobre velocidades instantáneas entendemos por percentil 85 de las velocidades, y el valor de la velocidad igual o mayor que la del 85% de los vehículos y menor que la del 15%.

El percentil 85 se usa mucho por los ingenieros de tránsito para hacer comparaciones, así como el percentil 50 que se suele llamar mediana.

Dispersión es una medida de la amplitud de la distribución de ciertos valores, en el caso de las velocidades instantánea de los vehículos de una corriente, es muy importante conocer el valor de su dispersión, pues si esta última es reducida, eso quiere decir que la diferencia entre las velocidades de los vehículos es pequeña y serán necesarios pocas maniobras de adelantamiento; pero si la dispersión es grande habrá amplias fluctuaciones en las velocidades individuales de los vehículos y la probabilidad de que ocurran accidentes será mayor.

Desviación tipo en una serie de observaciones, es la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los desvíos (diferencias) de estas con respecto a la media aritmética de las misma. En los casos en que haya repetición de observaciones está dada por la formula.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f(x - X)^2}{n}}$$

Donde:

σ = Desviación tipo.

f = Frecuencia de cada grupo de observaciones.

x = Valor central de cada grupo de observaciones.

n = Número total de observaciones

X = media aritmética de las observaciones.

Error típico de la media, sirve para determinar la precisión de la media aritmética calculada a base de los valores observados, con respecto a la media real de todos los valores bajo condiciones similares, este error disminuye según aumenta el número de observaciones; por consiguiente, su cálculo es un medio para determinar si el número

de observaciones hechas es suficientemente grande para producir la precisión apetecida, el error típico de la media está dado por la fórmula:

$$\text{Error típico} = S_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

n = Número total de observaciones

σ = Desviación tipo.

S_x = Error típico

La definición técnica del error típico de la media y de otros conceptos estadísticos muy necesarios en los estudios sobre tránsito requiere una exposición de los principios básicos de la estadística que esta fuera del alcance de esta obra.

2.4.3 Características de la velocidad de los vehículos

La velocidad de los vehículos automotores depende de sus propias características, de su conductor, de las vías por donde circulan y de otros factores tales como el tránsito, la visibilidad y el estado del tiempo.

En algunos países los ómnibus circulan a menores velocidades que los automóviles, y en otros (como en los Estados Unidos) a mayores. Los camiones casi siempre son los vehículos más lentos, y la velocidad de los vehículos tiende a disminuir con su edad.

Los hábitos, actitudes, destreza, necesidades y estado de ánimo de los conductores influyen poderosamente en las velocidades que imprimen a sus vehículos. Cuando se hacen viajes largos, se tiende a desarrollar mayores velocidades que en los recorridos cortos. Se ha comprobado en los Estados Unidos, las velocidades en las carreteras pavimentadas son como unos 15 km/h mayores que en los caminos de grava sin pavimento.

A medida que aumenta el volumen de tránsito, disminuye la velocidad de los vehículos, debido a la mayor dificultad para efectuar maniobras de adelantamiento. Estudios realizados en los Estados Unidos revelaron la siguiente relación entre la velocidad

media y el volumen de tránsito en una vía rural de dos carriles con circulación en ambos sentidos.

Cuando la visibilidad es deficiente, los conductores suelen restringir la velocidad de sus vehículos por razones de seguridad. Sin embargo la reducción de la velocidad del tránsito del día a la noche no es muy grande porque los conductores se adaptan fácilmente a las condiciones nocturnas, y en general, en las horas de la noche disminuye el volumen de tránsito. Por el contrario, el mal tiempo si obliga a hacer reducciones de velocidad hasta del 30% o más, pues a las limitaciones de visibilidad se unen otros efectos tales como pavimentos resbaladizos y distracciones del conductor.

Otros factores que afectan la velocidad de los vehículos son las restricciones para regular el tránsito y la eficacia de los medios para hacerlas cumplir, el carácter de la zona donde está la vía, la composición del tránsito, la circulación de peatones y muchos otros.

La velocidad media de los vehículos en las vías rurales de los Estados Unidos ha estado aumentado en estos últimos años aunque los aumentos anuales van siendo cada vez más pequeños. El promedio nacional para vías rurales era de alrededor de 75 km/h antes de la Segunda guerra mundial, pero en plena guerra descendió como 60 km/h. Después de la guerra aumento rápidamente, alcanzando el nivel de pre – guerra en 1947, pero más tarde el aumento ha sido más lento, pues diez años después en 1957, la velocidad media apenas rebasaba los 80 km/h.

2.5 ESTUDIOS SOBRE TIEMPOS DE RECORRIDO Y DEMORAS

Existen diversos métodos para determinar tiempos de recorrido y demoras, pero los principales son: el del vehículo en movimiento y el de las placas de circulación. El último de estos métodos proporciona información solamente sobre los tiempos de recorrido, mientras que con el primero se pueden obtener también datos sobre velocidad y demoras.

Estos estudios se realizan más en vías urbanas o semiurbanas donde la densidad del tránsito produce congestiones apreciables.

a) Método del vehículo en movimiento

Ya se ha visto la aplicación de este método para medir volúmenes de tránsito (2.3C), pero cuando se usa en estudios de tiempo de recorrido y demoras es necesario prestar mayor atención a la velocidad a que circula el vehículo observador.

En este método el vehículo observador recorre varias veces el tramo en estudio a una marcha que puede determinarse, en general por dos técnicas.

En la primera, el conductor del vehículo observador trata de “flotar” en la corriente vehicular, procurando que el número de vehículos que adelante sea igual al que lo pasan. En segunda se dan instrucciones al conductor del vehículo observador para que conserve una velocidad que, a su juicio, sea el promedio de la de todos los vehículos de la corriente en ese momento.

La primera técnica da lugar a ciertas inexactitudes, especialmente en las vías con varios carriles en un sentido durante periodos de congestión, mientras que en la segunda técnica ha producido valores del tiempo de recorrido muy cercanos a los reales.

Los datos que se toman son registrados por un observador que acompaña al conductor, o bien, por instrumentos mecánicos accionados por el conductor. Cuando se desea determinar las demoras, el observador lleva dos cronómetros, uno para registrar el tiempo de recorrido y el otro para la duración de las demoras. El tiempo, ubicación y causas de esas demoras se anota en planillas preparadas para ese fin o por medio de un instrumento grabador de la voz humana. Si solo se desean datos sobre el tiempo de recorrido, el conductor puede obtener toda la información necesaria con el equipo grabador y con un cronometro instalado en el tablero de instrumentos del vehículo.

La causa de las demoras se indica con símbolos cuyo significado se expresa al pie de la hoja y que corresponden a las demoras más frecuentes en vías urbanas de los Estados Unidos son estas causadas por: 1) semáforos en rojo, 2) señales de paradas, 3) giros a la izquierda, 4) vehículos estacionados o saliendo del lugar donde estaban estacionado, 5) estacionamientos dobles, es decir dos vehículos estacionados paralelamente uno al

otro, 6) congestión general, falta de capacidad de la vía, 7) peatones cruzando la calzada.

b) Método de la observación de placas de circulación

Este método no proporciona información sobre las causas de las demoras, pero se obtiene con la bastante exactitud en la determinación del tiempo y la velocidad de recorrido. La hora en que se efectúan estos estudios y su duración dependen de su aplicación. Si se hacen para analizar problemas de congestión, el momento apropiado es durante la hora de máximo volumen de tránsito pero si se usan en trabajos de planeamiento deben realizarse durante una hora, cuatro veces al día, en periodos representativos de las variaciones del tránsito.

Para ejecutar el estudio se selecciona el tramo de la vía que se va a observar y se colocan dos personas en cada extremo del mismo, un observador provisto y un anotador con una hoja de campaña y un tablero. (Si el volumen de tránsito es menor de 100v/h con una persona en cada extremo del tramo basta). En la mayoría de los casos un tramo de 2 a 3 kilómetros resulta satisfactorio.

Se sincronizan ambos cronómetros y a partir de cierto tiempo convenido los observadores dictan a los anotadores las 3 o 4 últimas cifras de las matrículas de los vehículos que pasan frente a ellos y las lecturas de los cronómetros en esos momentos. Si el tránsito es muy intenso, los vehículos a registrar pueden limitarse a los que tengan matrículas que terminen en 5 y en 0 (o en otros números) para tomar una muestra del 20 por ciento; o bien, los que terminen en 0 para que la muestra sea del 10 por ciento, luego en el gabinete se halla la diferencia entre los tiempos de observación correspondiente a cada placa que serán los tiempos de recorrido de cada vehículo. La longitud del tramo de vía se mide a escala en un plano que ofrezca garantía, o bien, usando el odómetro de un vehículo. Dividiendo la longitud del tramo en kilómetros entre el tiempo de recorrido en horas, se obtiene la velocidad de recorrido en kilómetros por hora para todo el tramo.

CAPÍTULO III

MODELOS DE SERIES TEMPORALES

3.1 INTRODUCCIÓN

Se llaman series de tiempo a un conjunto de observaciones regulares sobre valores que toma una variable (cuantitativa) en diferentes momentos del tiempo. Un análisis de series temporales busca explicar la evolución futura de una variable en función de sus valores pasados.

Una serie temporal es una colección de observaciones de una variable realizadas de forma secuencial en el tiempo, en las que el orden de observación es importante. Los valores de una serie temporal van ligados a instantes de tiempo, de manera que el análisis de una serie implica el manejo conjunto de dos variables; la variable en estudio propiamente dicha y el variable tiempo.

Las series pueden tener una periodicidad anual, semestral, trimestral, mensual, etc., según los periodos de tiempo en los que están recogidos los datos que la componen.

- ✓ **Ejemplos.-** La cantidad de accidentes semanales de tráfico o el número de exportaciones efectuadas cada año por un determinado país, son ejemplos de series temporales con diferentes periodicidades.

El análisis de series temporales presenta un conjunto de técnicas estadísticas que permiten, además de estudiar y modelizar el comportamiento de un fenómeno que evoluciona a lo largo del tiempo, realizar previsiones de los valores que se alcanzarán en el futuro.

Con el análisis de series temporales se pretende extraer las regularidades que se observan en el comportamiento pasado de la variable, es decir, obtener el mecanismo que la genera, para tener un mejor conocimiento de la misma en el tiempo. Además, bajo el supuesto de que las condiciones estructurales que conforman la serie objeto de estudio permanecen constantes, también se trata de predecir el comportamiento futuro.

El estudio de una serie temporal puede tener distintas motivaciones. El tipo de análisis, así como los modelos en los que basemos el estudio, dependerán en gran medida del tipo de preguntas que queramos responder. Cuando las observaciones corresponden a una única variable, el análisis de series temporales suele tener como objetivo construir un modelo para explicar la estructura (descripción) y prever la evolución (predicción) de la variable de interés. Cuando se observa simultáneamente un grupo de variables, el objetivo que se persigue consiste generalmente en analizar las posibles relaciones entre las variables observadas y su evolución conjunta. Este último punto, que debe ser tratado mediante técnicas multivalentes de análisis de series temporales, no queda cubierto por el presente manual, solamente nos referiremos al análisis univariante de series temporales.

Una serie temporal es un conjunto de mediciones, ordenadas en el tiempo, sobre una cantidad de interés. En una serie temporal, la secuencia de observaciones es importante, a diferencia de lo que ocurre en los datos de corte transversal, en el que la secuencia de observaciones no es importante.

3.1.1 Objetivos de las series temporales

Se pueden considerar varios posibles objetivos:

a) Descripción

Cuando se estudia una serie temporal, lo primero que se tiene que hacer es dibujarla y considerar las medidas descriptivas básicas. Así, se tiene que considerar:

- ✓ Si los datos presentan forma creciente (tendencia).

- ✓ Si existe influencia de ciertos periodos de cualquier unidad de tiempo (estacionalidad).

- ✓ Si aparecen outliers (observaciones extrañas o discordantes).

b) Predicción

- ✓ Cuando se observan los valores de una serie, se pretende normalmente no sólo explicar el pasado, sino también predecir el futuro.

3.2.2 Componentes de una serie temporal

El estudio descriptivo de series temporales se basa en la idea de descomponer la variación de una serie en varias componentes básicas. Este enfoque no siempre resulta ser el más adecuado, pero es interesante cuando en la serie se observa cierta tendencia o cierta periodicidad. Hay que resaltar que esta descomposición no es en general única.

Este enfoque descriptivo consiste en encontrar componentes que correspondan a una tendencia a largo plazo, un comportamiento estacional y una parte aleatoria.

Las componentes o fuentes de variación que se consideran habitualmente son las siguientes:

- ✓ **Tendencia:** Se puede definir como un cambio a largo plazo que se produce en relación al nivel medio, o el cambio a largo plazo de la media. La tendencia se identifica con un movimiento suave de la serie a largo plazo.
- ✓ **Efecto Estacional:** Muchas series temporales presentan cierta periodicidad o dicho de otro modo, variación de cierto periodo (anual, mensual...). Por ejemplo, el tráfico vehicular aumenta en las horas pico del transcurso del día y disminuye en el trayecto del tiempo. Estos tipos de efectos son fáciles de entender y se pueden medir explícitamente o incluso se pueden eliminar del conjunto de los datos, desestacionalizando la serie original.
- ✓ **Componente Aleatoria:** Una vez identificados los componentes anteriores y después de haberlos eliminado, persisten unos valores que son aleatorios. Se pretende estudiar qué tipo de comportamiento aleatorio presentan estos residuos, utilizando algún tipo de modelo probabilístico que los describa. De las tres componentes reseñadas, las dos primeras son componentes

determinísticas, mientras que la última es aleatoria. Así, se puede denotar que: $X_t = T_t + E_t + I_t$ donde T_t es la tendencia, E_t es la componente estacional, que constituyen la señal o parte determinística, y además I_t es el ruido o parte aleatoria. Es necesario aislar de alguna manera la componente aleatoria y estudiar qué modelo probabilístico es el más adecuado. Conocido éste, podremos conocer el comportamiento de la serie a largo plazo. Esto será motivo de estudio en Inferencia Estadística. Este aislamiento de la componente aleatoria se suele abordar de dos maneras.

1. Enfoque descriptivo: Se estima T_t y E_t y se obtiene I_t como:

$$I_t = X_t - T_t - E_t$$

2. Enfoque de Box-Jenkins: Se elimina de X_t la tendencia y la parte estacional (mediante transformaciones o filtros) y queda sólo la parte probabilística. A esta última parte se le ajustan modelos paramétricos.

3.3.3 Clasificación de las series temporales

Una serie temporal es una sucesión de observaciones de una variable tomadas en varios instantes de tiempo. Estas observaciones provienen de una distribución que puede ser diferente en cada instante del tiempo.

No somos capaces de tratar cualquier tipo de serie temporal, ya que en cada instante tenemos una variable con distinta distribución de la que solo observamos un dato. Ignoramos mucho y tenemos poca información.

Para ello, para una mejor comprensión sobre el tema mencionaremos las siguientes series temporales: Series temporales estacionarias, series temporales no estacionarias, donde explicaremos los conceptos en cada una de ellas.

Ya que será una acción ordenada, relacionada y de criterio que implicara la búsqueda de los conceptos, vínculos para una mejor apreciación teórica y práctica.

3.3.4 Series temporales estacionarias

Una serie es estacionaria cuando es estable, es decir, cuando la media y la variabilidad son constantes a lo largo del tiempo. Esto se refleja gráficamente en que los valores de la serie tienden a oscilar alrededor de una media constante y la variabilidad con respecto a esa media también permanece constante en el tiempo.

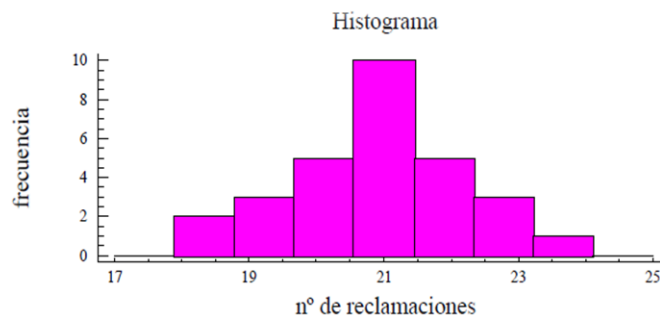
Es una serie básicamente estable a lo largo del tiempo, sin que se aprecien aumentos o disminuciones sistemáticos de sus valores.

Para este tipo de series tiene sentido conceptos como la media y la varianza. Sin embargo, también es posible aplicar los mismos métodos a series no estacionarias si se transforman previamente en estacionarias.

En la gráfica (14), se presenta una serie estacionaria discreta. La serie es estable alrededor de un valor central. Si representamos un histograma de esta serie, podemos describir adecuadamente la información: en promedio, se reciben unas 21 reclamaciones semanales.

Este número es bastante estable y la distribución de la variable es aproximadamente simétrica. La mejor predicción para el próximo valor de la serie es la media, aunque lo ideal sería aplicar los modelos de Inferencia para series estacionarias que se presentarán más adelante.

Gráfica 14 - Histograma



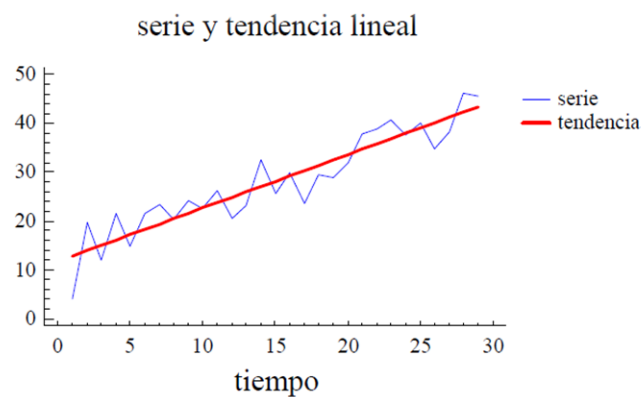
Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Series temporales no estacionarias

Son series en las cuales la media y/o variabilidad cambian en el tiempo. Los cambios en la media determinan una tendencia a crecer o decrecer a largo plazo, por lo que la serie no oscila alrededor de un valor constante.

Por ejemplo, la serie del grafica (2) presenta una fuerte tendencia creciente aunque existen importantes oscilaciones con relación a esa tendencia de crecimiento lineal.

Gráfica 15 - Serie y tendencia lineal



Fuente: Elaboración propia

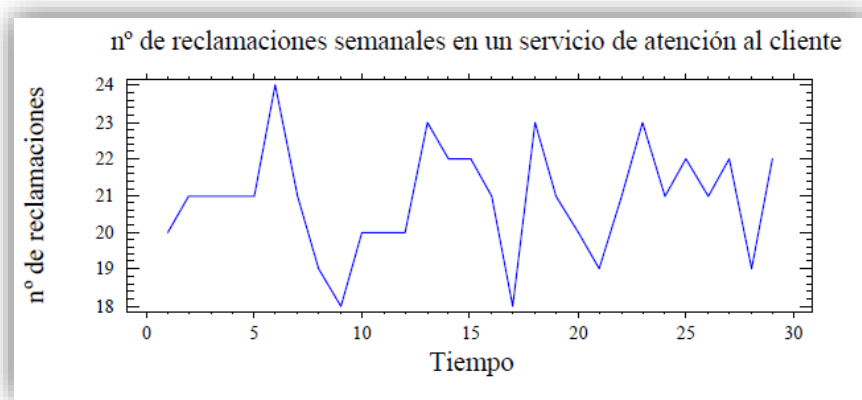
Una serie es estacionaria si la media y la variabilidad se mantienen constantes a lo largo del tiempo, una serie es no estacionaria si la media y/o la variabilidad cambian a lo largo del tiempo.

- ✓ Series no estacionarias pueden mostrar cambios de varianza.
- ✓ Series no estacionarias pueden mostrar una tendencia, es decir que la media crece o baja a lo largo del tiempo.
- ✓ Además, pueden presentar efectos estacionales, es decir que el comportamiento de la serie es parecido en ciertos tiempos periódicos en el tiempo.

3.2 ANÁLISIS DE LAS SERIES TEMPORALES

La primera herramienta descriptiva básica es el gráfico temporal. Un gráfico temporal se construye situando los valores de la serie en el eje de ordenadas y los instantes temporales en el eje de abscisas. Construir este gráfico es de gran utilidad para observar el comportamiento de la serie temporal. Se presentan las siguientes series temporales.

Gráfica 16 - Serie temporal



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

3.2.1 Análisis de tendencia

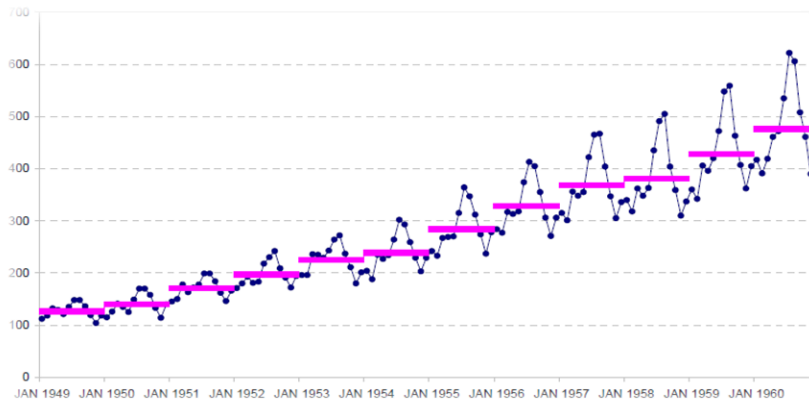
El nivel de una serie es una medida local de tendencia central, como por ejemplo la media, de cada periodo de tiempo que consideremos. Cuando trabajamos con un calendario (tiempo representado en días, meses o años), no es recomendable establecer periodos de tiempo antinaturales para estudiar esta característica.

Una vez calculado el nivel de la serie debemos observar su estabilidad, debemos ver si la medida de tendencia central elegida tiene valores similares en los periodos de tiempo en los que dividimos el calendario. También tendremos que observar su tendencia, es decir, si presenta una dirección constante de cambio de nivel.

El nivel de una serie puede ser estable, inestable, circunstancial (el fenómeno tiene un nivel estable salvo comportamientos estacionales), puede estar con tendencia o sin tendencia que a la vez puede ser creciente o decreciente.

El análisis de la tendencia es un método que consiste en ajustar un modelo de tendencia general a una serie temporal con el fin de realizar predicciones. Se suele utilizar cuando la serie no contiene componente estacionario alguno.

Gráfica 17 - Tendencia y secuencia de una serie

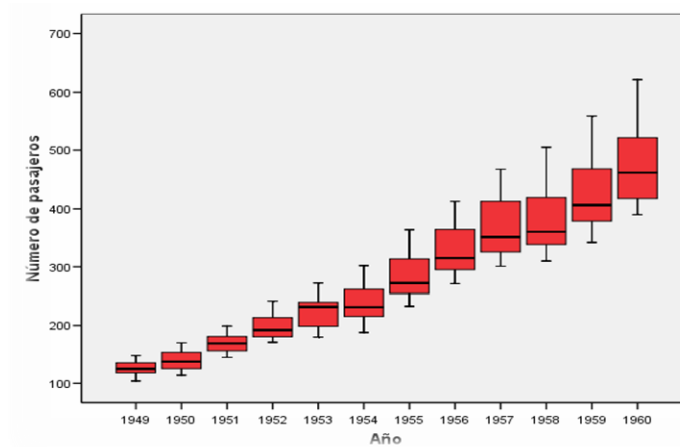


Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

Otra forma de estudiar el nivel de una serie es realizando un box-plot2 (diagrama de caja) de cada uno de los periodos de tiempo considerados. Para efectuarlo con el programa SPSS debemos seleccionar el menú Gráficos – Diagramas de caja... - Simple y en la casilla Variable incluimos la variable de la serie y en la correspondiente a Eje de categorías la referente al periodo considerado.

La línea que aparece en el interior de cada una de las cajas de un box plot representa la mediana, es decir, el nivel de la serie, puesto que es una de las posibles medidas de tendencia central. De esta manera también podemos analizar gráficamente el nivel de una serie.

Gráfica 18 - Diagramas de cajas por año de la serie Airline

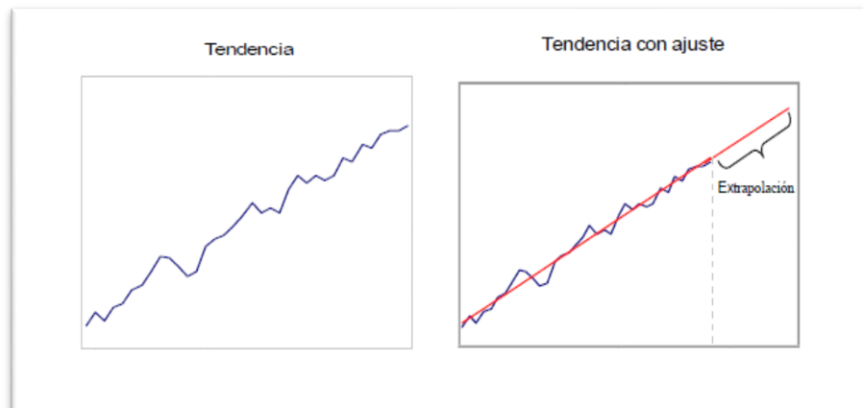


Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

Tendencia de una serie (datos concretos, no podemos extrapolar) y tendencia con ajuste (podemos extrapolar la recta ajustada a la tendencia).

Para poder aplicar este método la serie debe tener un comportamiento estacional. Al observar el gráfico de secuencia de la serie vemos de forma bastante clara que existe estacionalidad.

Gráfica 19 - Visualización de una tendencia



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

A continuación presentaremos un apartado de modelos dentro de los tipos de ajustes posibles, que podremos utilizar.

Cuadro 4 - Fórmulas de ajustes posibles para determinar una tendencia

| | | |
|--|---|--|
| Lineal $y = b_0 + b_1 \cdot t$ | Cuadrático $y = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2$ | Inverso $y = b_0 + \frac{b_1}{t}$ |
| Logarítmico $y = b_0 + b_1 \cdot \ln t$ | Cúbico $y = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$ | Compuesto $y = b_0 \cdot b_1^t$ |
| Potencia $y = b_0 \cdot t^{b_1}$ | S $y = e^{b_0 + \frac{b_1}{t}}$ | Exponencial $y = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot t}$ |
| Crecimiento $y = e^{b_0 + b_1 \cdot t}$ | Logístico $y = \frac{1}{\frac{1}{u} + b_0 \cdot b_1^t}$ | |

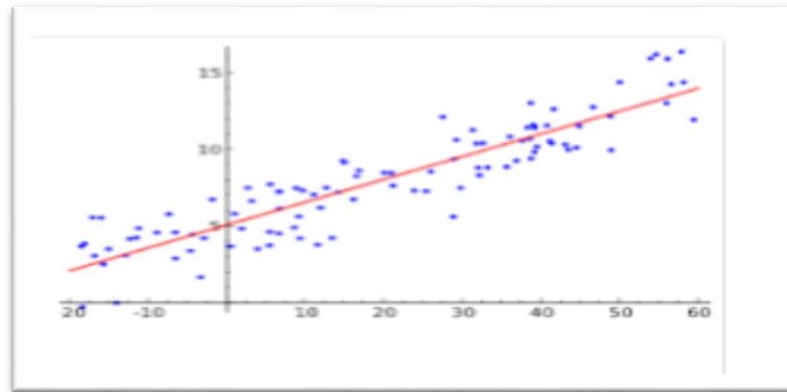
Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

3.2.2 Modelos matemáticos

En ciencias aplicadas, un modelo matemático es uno de los tipos de modelos científicos que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables de las operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas.

La regresión lineal permite trabajar con una variable a nivel de intervalo o razón. De la misma manera, es posible analizar la relación entre dos o más variables a través de ecuaciones, lo que se denomina regresión múltiple o regresión lineal múltiple.

Gráfica 20 - Regresión lineal

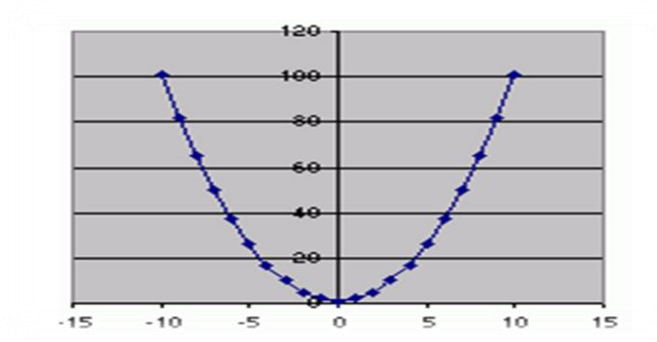


Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

La regresión cuadrática es el proceso por el cuál encontramos los parámetros de una parábola que mejor se ajusten a una serie de datos que poseemos, ya sean mediciones hechas o de otro tipo.

El modelo de regresión cuadrática es una alternativa cuando el modelo lineal no logra un coeficiente de determinación apropiado, o cuando el fenómeno en estudio tiene un comportamiento que puede considerarse como parabólico. La forma más simple de tratar de establecer la tendencia es a través de un diagrama de dispersión o nube de puntos, tal como la siguiente:

Gráfica 21 - Regresión cuadrática



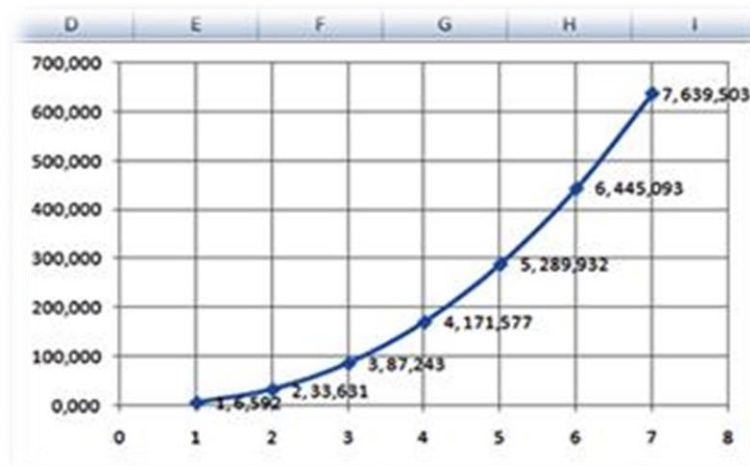
Fuente: Elaboración propia

Este modelo también es conocido como parabólico, y es el caso más simple de modelos de regresión polinomiales, siendo su grado igual a 2.

La regresión potencial, examina la relación entre dos variables, pero restringiendo una de ellas con el objeto de estudiar las variaciones de una variable cuando la otra permanece constante. En otras palabras, la regresión es un método que se emplea para predecir el valor de una variable en función de valores dados a la otra variable.

En todos los casos de regresión existe una dependencia funcional entre las variables. En el caso de dos variables, siendo una de ellas (X) variable independiente y la otra (Y) la dependiente, se habla de regresión de Y sobre X.

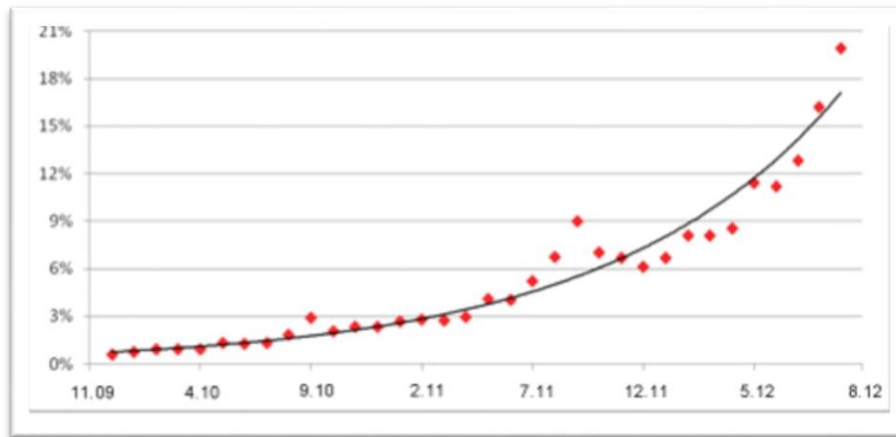
Gráfica 22 - Regresión potencial



Fuente: Elaboración propia

Este modelo de regresión potencial, es una alternativa cuando el modelo lineal no logra un coeficiente de determinación apropiado, o cuando el fenómeno en estudio tiene un comportamiento que puede considerarse potencial o logarítmico. La forma más simple de tratar de establecer la tendencia es a través de un diagrama de dispersión o nube de puntos, tal como la siguiente:

Gráfica 23 - Regresión logarítmica



Fuente: Elaboración propia

Este modelo también es conocido como potencial, Cobb-Douglas de primer grado o exponencial inverso.

3.2.3 Predicción de una serie temporal

Se llaman series de tiempo a un conjunto de observaciones regulares sobre valores que toma una variable (cuantitativa) en diferentes momentos del tiempo. Un análisis de series temporales busca explicar la evolución futura de una variable en función de sus valores pasados.

El análisis de una serie temporal se basa en la idea de que ésta puede descomponerse siempre en una serie de componentes parciales que, agregados (sumados o multiplicados) configuran el aspecto global de la serie observada. Estos componentes son la tendencia, el ciclo, la estacionalidad y el componente errático o no sistemático.

Estos modelos asumen que el comportamiento futuro del tráfico se explica únicamente por su comportamiento pasado. Tienen como ventaja que para su aplicación solamente se necesita una serie de mediciones del tráfico en la ruta de interés y no es necesario contar con información sobre las variables que puedan explicar el mismo. Estas técnicas permiten predecir la evolución de tráfico existente pero no incorporan al análisis ni el tráfico generado ni el tráfico desviado.

Al hablar de pronósticos, se distingue entre proyecciones dentro y fuera de muestra. En las primeras, las proyecciones realizadas se refieren a los mismos datos que se emplearon para la construcción y calibración del modelo (la muestra), mientras que en las segundas las proyecciones se refieren a datos ajenos a dicha muestra. En la búsqueda de metodologías que generen pronósticos precisos de los valores futuros de una variable, sólo son relevantes las proyecciones fuera de muestra por las siguientes razones:

- ✓ Las proyecciones fuera de muestra replican el funcionamiento de la herramienta de pronósticos en la práctica, por lo que la evaluación de su desempeño predictivo será un referente válido para los futuros errores de pronóstico.
- ✓ Los modelos de pronóstico se construyen minimizando los errores dentro de muestra por lo que los errores de pronósticos intramuestrales sobrestiman el potencial predictivo de las herramientas.
- ✓ Un modelo con buen desempeño intramuestral podría tener un muy mal desempeño en proyecciones fuera de muestra. Esto se debe a un sobreajuste (overfitting) o memorización de los datos muestrales, con lo que el modelo resultante será incapaz de responder de buena manera a nuevos valores.

Los pronósticos estáticos son aquéllos que están basados en la última información efectiva disponible, por lo que están limitados a las proyecciones a un periodo hacia adelante. Los pronósticos dinámicos son caracterizados por utilizar el último pronóstico disponible como dato para el siguiente pronóstico, permitiendo la realización de proyecciones a dos y más periodos hacia adelante.

El objetivo de las técnicas de predicción, es obtener estimaciones o pronósticos de valores futuros de una serie temporal a partir de la información histórica contenida en la serie observada hasta el momento actual. Estas técnicas no requieren la especificación de los factores que determinan el comportamiento de la variable, sino que se basan únicamente en la modelización del comportamiento sistemático de la

serie. Se consideran tres modelos posibles del comportamiento sistemático de una serie temporal: modelo estacionario (sin tendencia), modelo con tendencia lineal y modelo con estacionalidad. La técnica de predicción adecuada dependerá del modelo de comportamiento de la serie.

3.4 ANÁLISIS PRELIMINAR DE UNA SERIE

El análisis preliminar de una serie constituye el primer paso a seguir a la hora de estudiar una serie temporal. Esta fase nos permite detectar las características más importantes de una serie, tales como su tendencia (creciente o decreciente), la existencia de ciclos, presencia de valores atípicos, etc.

La forma más sencilla de comenzar el análisis de una serie temporal es mediante su representación gráfica. El gráfico que se emplea para representar las series temporales es el gráfico de secuencia. Los gráficos de secuencia son diagramas de líneas en los cuales el tiempo se representa en el eje de abscisas (x), y la variable cuya evolución en el tiempo estudiamos en el eje de ordenadas (y).

Un concepto básico a tener en cuenta al introducirse en el Análisis de series temporales es que se trata de muestras con valores dependientes, no independientes. Generalmente cuando tenemos una muestra tenemos “n” valores independientes obtenidos en una población. Ahora no sucede esto. Ahora tenemos un tipo de muestra distinto. Tenemos una muestra donde cada valor sucesivo depende de valores anteriores. Este es un elemento distintivo que estará presente evidentemente en todo nuestro recorrido por este tipo de técnicas estadísticas. Como sucede con toda muestra los objetivos básicos serán, en primer lugar, describir lo que tenemos y, en segundo lugar, hacer inferencias; o sea, ir más allá de la muestra concreta que tenemos, de la serie temporal, para hacer predicciones. También, en estos ámbitos, se crean modelos matemáticos que dibujen esa relación de una variable con el tiempo. Relacionar esa serie temporal con otras y establecer, así, dependencias, influencias, etc. También será un objetivo del Análisis de series temporales, hay tres elementos básicos a tener en cuenta, en primer lugar, a la hora de abordar una serie temporal: la tendencia, la estacionalidad y la aleatoriedad.

Podemos decir, de hecho, que el valor de variable a estudiar a lo largo del tiempo es una función de estos tres elementos.

La Tendencia mide si temporalmente los valores tienen una direccionalidad hacia arriba o hacia abajo. En definitiva, capta una pendiente general de los valores. Una pendiente que puede ser positiva, si es de subida, o negativa, si es de bajada, la Estacionalidad mide la presencia de ciclos, de subidas y bajadas realizadas con una determinada regularidad, la Aleatoriedad mide desvíos respecto de estos dos elementos vistos anteriormente, pequeños alejamientos de la tendencia o de la estacionalidad que se atribuirán a elementos no controlados en el modelo, a elementos incluso idiosincráticos, propios del individuo o los individuos evaluados en aquel momento.

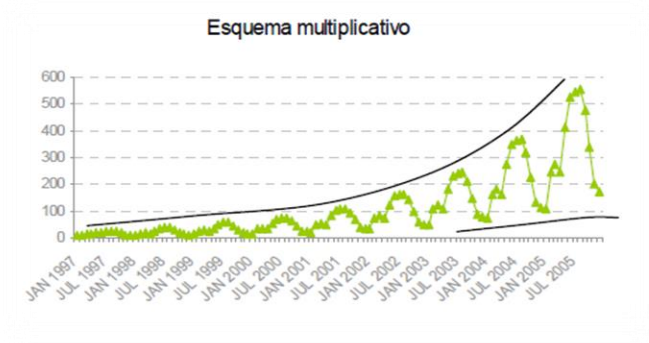
3.4.1 Dependencia entre variabilidad y nivel

Otra de las cuestiones a determinar a la hora de realizar el análisis preliminar de una serie es si existe dependencia entre su variabilidad y el nivel.

Si la variabilidad de una serie no depende del nivel significa que los componentes de la serie se combinan de forma aditiva, es decir, el incremento debido a la estacionalidad siempre es el mismo aunque exista tendencia creciente o decreciente.

Si la variabilidad y el nivel dependen entre sí los elementos de la serie se combinan de forma multiplicativa. Esto quiere decir que el incremento debido a la estacionalidad aumenta o disminuye conforme la tendencia crece o decrece.

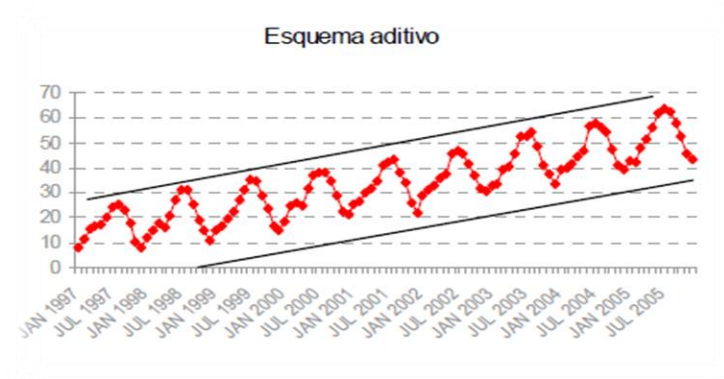
Gráfica 24 - Esquema multiplicativo



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

Para estudiar la dependencia existente entre variabilidad y nivel se emplea el gráfico de dispersión por nivel. Este gráfico es un diagrama de dispersión en el que se representa el logaritmo neperiano de la mediana (medida de tendencia central) frente al logaritmo neperiano de la diferencia entre los percentiles 80 y 20 (medida de la dispersión) de cada uno de los periodos considerados en la serie.

Gráfica 25 - Esquema aditivo



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

Para estudiar la dependencia existente entre variabilidad y nivel se emplea el gráfico de dispersión por nivel. Este gráfico es un diagrama de dispersión en el que se representa el logaritmo neperiano de la mediana (medida de tendencia central) frente al logaritmo neperiano de la diferencia entre los percentiles 80 y 20 (medida de la dispersión) de cada uno de los periodos considerados en la serie.

En el gráfico podemos ver que existe una dependencia clara entre variabilidad y nivel, ya que los puntos del diagrama pueden ajustarse bastante bien a una recta. También podemos observar que la variabilidad crece con el nivel, es decir, que cuanto mayor es el nivel correspondiente un año de la serie mayor es su variabilidad.

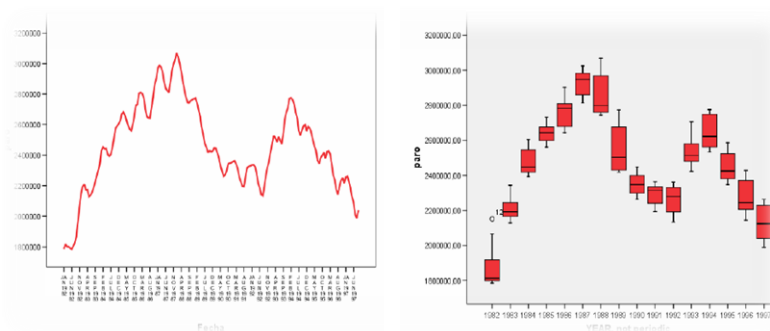
3.4.2 Comportamientos anormales

Otro aspecto a estudiar en el análisis preliminar de una serie temporal es el de los comportamientos extraños.

Si una serie temporal tiene valores perdidos (en un determinado momento no se han recogido datos) o valores raros, no podemos ignorarlos. Los comportamientos anómalos pueden ser de tres tipos: cambios de tendencia, subidas bruscas de nivel o aparición de valores extraños.

Veamos unos ejemplos:

Gráfica 26 - Series de temporales con cambios en la tendencia



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

Estudiando el gráfico de secuencia de la serie Freight encontramos un outliers (valor muy diferente a los demás), en este caso un valor anormalmente bajo.

Ante un outliers en primer lugar debemos estudiar si se trata de un error en la recogida de los datos, o de causas externas que han afectado a la variable. En el caso de comportamientos anómalos hay que tratar de analizar las causas del mismo, puesto que en ocasiones puede estar provocado por cuestiones como cambios metodológicos en la recogida de datos, etc.

3.5 MÉTODOS CLÁSICOS

Desde una perspectiva teórica el enfoque clásico de análisis de series temporales considera que el comportamiento de una variable en el tiempo es el resultado de la integración de cuatro componentes fundamentales (aunque no siempre aparecen todos): tendencia (Tt), ciclo (Ct), componente estacional (St) y componente irregular o ruido (Et). De esta forma con los métodos clásicos una serie temporal X_t es una función de estos cuatro componentes.

$$X_t = f(Ct, Tt, St, Et)$$

Se considera tendencia (Tt) al movimiento suave y regular de la serie a largo plazo. Refleja la dirección del movimiento de una determinada variable; creciente, decreciente o estable.

El componente cíclico (Ct) consiste en variaciones superiores al año que no son estrictamente periódicas. Se trata de un factor de tipo oscilante caracterizado por movimientos recurrentes en torno a la tendencia, y suele aparecer fundamentalmente en series de tipo económico.

En muchas series temporales podemos observar un patrón sistemático que se repite todos los años, es decir, todos los años aparece un cambio de valor en un determinado mes. La estacionalidad (St) de una serie son los movimientos regulares de la misma que tienen una periodicidad inferior al año. Recoge las oscilaciones que año a año se repiten en una serie de forma periódica.

El componente irregular o ruido (Et) incluye las variaciones de la serie cuyas leyes nos resultan desconocidas. Se caracteriza porque no responde a un comportamiento sistemático o regular y, en consecuencia, no es posible su predicción. El enfoque clásico atribuye esta irregularidad al azar. De esta forma el ruido lo compone todo lo que no queda explicado por la tendencia, el ciclo y la estacionalidad.

Los métodos clásicos de análisis de series temporales tienen la ventaja de no ser excesivamente complejos, aunque como contrapartida responden a preguntas menos ambiciosas. Se pueden emplear para realizar predicciones a corto plazo, pero no a medio o largo plazo. Por ejemplo, en series mensuales se utilizan para predecir uno o dos meses, no un año completo.

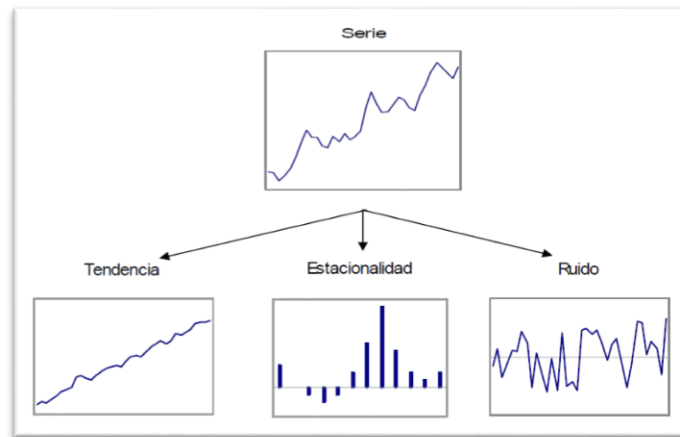
3.5.1 Métodos de descomposición y ajuste de tendencia

Los métodos de descomposición estacional son eminentemente descriptivos. Tratan de separar la serie en sub - series correspondientes a la tendencia - ciclo, la estacionalidad y el ruido (componente aleatorio).

En algunos de los ejemplos que veremos a continuación se emplean los métodos clásicos para predecir un año completo, pero se hace únicamente para poder ver gráficamente cómo pronostican.

Separar la tendencia y el ciclo es muy difícil, habitualmente van a quedar confundidos, de manera que consideraremos una única componente tendencia - ciclo.

Gráfica 27 - Descomposición estacional



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

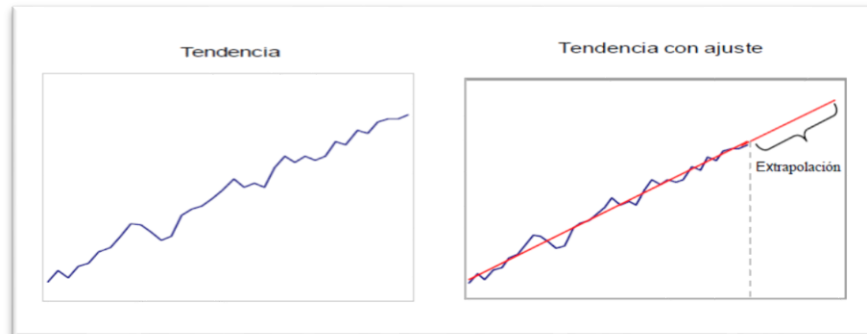
En ocasiones nos interesa desestacionalizar una serie, eliminar la influencia estacional, De esta forma lo que nos interesa es estudiar la tendencia de la serie independientemente de la subida que se produce cada estío.

Otro ejemplo en el que nos puede interesar eliminar la influencia estacional de una serie es el caso en el que necesitamos decidir la capacidad que debe tener un almacén. Para ello analizamos los datos correspondientes al volumen de producto a almacenar cada mes. Trataremos de tomar la decisión abstrayéndonos de los picos de la estacionalidad.

En ocasiones tendencia y estacionalidad se enmascaran, a veces una tendencia marcada puede no dejarnos ver la estacionalidad, y viceversa. Los métodos de descomposición estacional separan tendencia, estacionalidad y ruido, pero no predicen. Para predecir es necesario combinarlos con métodos de ajuste de tendencia.

A la hora de predecir consideramos la estacionalidad constante periodo a periodo y el ruido cero. El ruido es aleatorio, impredecible, y tiene media cero, de manera que la mejor previsión que podemos hacer de él es cero. De esta forma para pronosticar realizamos un ajuste de tendencia con el fin de obtener un modelo extrapolable, y le añadimos la estacionalidad.

Gráfica 28 - Tendencia de una serie, con ajuste y sin ajuste lineal



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

El primer caso a la hora de descomponer una serie es determinar cómo se combinarán sus componentes. Las combinaciones aditivas y multiplicativas son las más habituales.

Tal como hemos visto en la introducción a los métodos clásicos, según estos una serie temporal X_t es una función que depende de cuatro componentes.

$$X_t = f(C_t, T_t, S_t, E_t)$$

Si dichos componentes se combinan de forma aditiva entonces:

$$X_t = C_t + T_t + S_t + E_t$$

Y si lo hacen de forma multiplicativa:

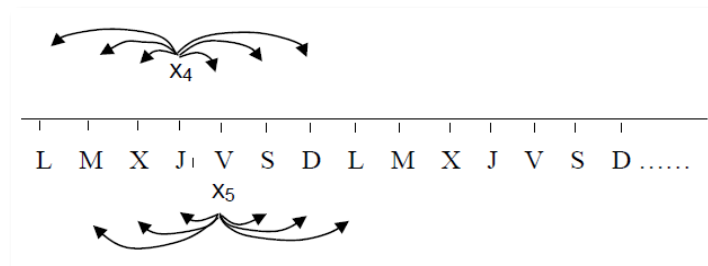
$$X_t = C_t * T_t * S_t * E_t$$

Desarrollemos el proceso para el caso aditivo.

En primer lugar eliminamos el ruido y la estacionalidad. El ruido se elimina sustituyendo cada observación por una media de lo ocurrido anteriormente (media móvil anterior) y la estacionalidad realizando un proceso de media móvil centrada. Este último procedimiento suaviza cada observación tomando la media de igual número de valores anteriores y posteriores a la misma. El orden de la media móvil centrada, es

decir, el número total de observaciones que generará cada media móvil centrada, habitualmente es igual al periodo de la serie. En cualquier caso debe ser tal que no incluya más observaciones de una unidad de periodo que de las demás. Es decir, si la serie tiene periodicidad semanal, en la media móvil centrada no deben estar incluidos los valores correspondientes a dos lunes si no se incluyen también dos veces los del resto de los días de la semana.

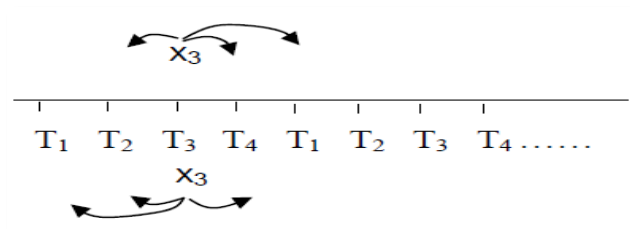
Gráfica 29 - Media móvil centrada de una serie con información diaria periodo (7)



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

En el caso de que el periodo de la serie sea par, por ejemplo los trimestres del año, la media móvil centrada se calcula tomando la media de las dos posibles medias móviles a considerar.

Gráfica 30 - Posibles medias móviles centradas con información trimestral Per (4)



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

Una vez eliminados la estacionalidad y el ruido obtenemos una serie que únicamente está formada por la tendencia y el ciclo.

$$M = Ct + Tt$$

A continuación, eliminando la tendencia y el ciclo de la serie de partida, conseguimos una serie integrada solo por la estacionalidad y el ruido:

$$X_t - M_t = E_t + S_t$$

Para estimar el factor estacional a partir de esta última serie se realiza la media de todas las observaciones disponibles de cada unidad de periodo (por ejemplo, cada mes de un año). De esta forma la serie del factor estacional estará formada por los valores de estas medias, es decir, será una serie que repetirá constantemente los mismos valores en cada unidad de periodo haciendo:

$$X_t - M_t - S_t = E_t$$

Obtenemos una serie con el error, con el ruido en el caso de que los componentes de la serie se combinen de forma multiplicativa el proceso es equivalente. En primer lugar mediante medias móviles obtenemos una forma de serie formada únicamente por la tendencia y el ciclo.

$$M_t = C_t * T_t * A$$

A continuación haciendo:

$$\frac{X_t}{M_t} = E_t * S_t$$

Conseguimos una serie formada solo por la estacionalidad y el ruido, finalmente tras estimar la componente estacional haciendo, obtenemos una serie solo con el error.

$$\frac{X_t}{M_t * S_t} = E_t$$

Dentro del apartado Modelos disponemos de diferentes tipos de ajustes posibles, elegimos los que nos interesen.

3.5.2 Método suavizado

Los métodos de suavizado o alisado son técnicas de tipo predictivo más que descriptivo. Resultan más adecuados para pronosticar, y proporcionan previsiones razonables para horizontes de predicción inmediatos. Además los resultados que se obtienen con ellos son satisfactorios, incluso cuando no se dispone de un gran número de datos históricos.

A diferencia de los métodos de descomposición estacional, para aplicar los de suavizado no es necesario que la serie presente comportamiento estacional. Dentro de estos últimos existen modelos para series no afectadas por tendencia ni estacionalidad, para series con tendencia y para series con tendencia y estacionalidad.

3.5.3 Series Sin Tendencia Y Sin Estacionalidad

Este tipo de series tiene un comportamiento más o menos estable que sigue un patrón subyacente (μ) salvo fluctuaciones aleatorias (ϵ_t), de manera que se modelizan de la siguiente forma:

$$X_t = \mu + \epsilon_t$$

Todos los modelos que se van a exponer a continuación proporcionan una misma previsión para todo el horizonte de previsión. Por esta razón se exige que se apliquen a series sin tendencia ni estacionalidad. Se emplean para realizar predicciones a corto plazo, puesto que a largo plazo lo que se haría es actualizar la serie con la nueva información y efectuar de nuevo una predicción a corto plazo.

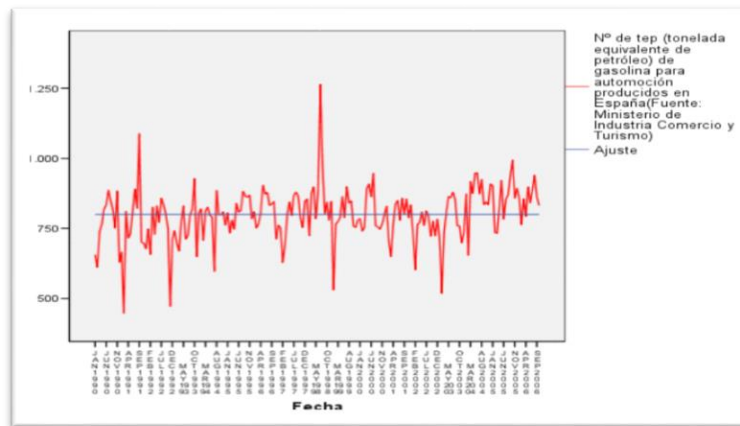
Supongamos que tenemos una serie de este tipo con n observaciones. Para predecir el valor $n+1$ de la serie existen diversas opciones:

Modelos “naive” o ingenuos

Se otorga la misma importancia ($1/n$) a todas las observaciones a la hora de predecir. De esta forma la previsión vendrá dada por la media de las observaciones.

$$X_{n+1} = \bar{x}$$

Gráfica 31 - Ajuste de la serie combustible, a través de su media.



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

Modelos de medias móviles, se basan en considerar únicamente las últimas “k” observaciones. De esta manera se da el mismo peso a los últimos k datos ($1/k$) y cero al resto, mediante un procedimiento de medias móviles. Este procedimiento no es tan extremo como los anteriores, y al sustituir cada dato por una media de los k últimos la serie se suaviza y se elimina ruido, obteniendo el patrón subyacente de la misma. Cuantas más observaciones relevantes (k) tomemos al aplicar este tipo de ajuste más se suavizará la serie.

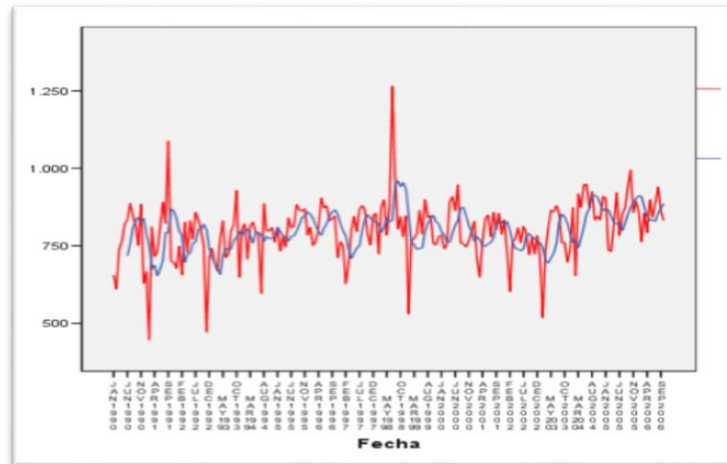
$$X_{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^k X_{n-i+1}}{k}$$

K= Observaciones

$X_{(n-1)}$ = Media de las observaciones

X_{n-i+1} = Medias móviles

Gráfica 32 - Gráfico de secuencia de series considerando medias móviles



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

3.5.4 Series con tendencia y sin estacionalidad

En el caso de series temporales con tendencia lineal (creciente o decreciente) pero sin comportamiento estacional, el modelo clásico que más se suele aplicar es el de Holt. Es un modelo de suavizado exponencial doble y, al igual que en el caso de los modelos de suavizado exponencial simple, su fórmula de ajuste es recursiva:

$$X_{n-1} = a_n + b_n$$

Siendo:

$$a_n = \alpha * X_n + (1 - \alpha) * (a_{n-1} + b_{n-1}) \quad \alpha \in (0,1)$$

$$b_n = \gamma * (a_n - a_{n-1}) + (1 - \gamma) * b_{n-1} \quad \gamma \in (0,1)$$

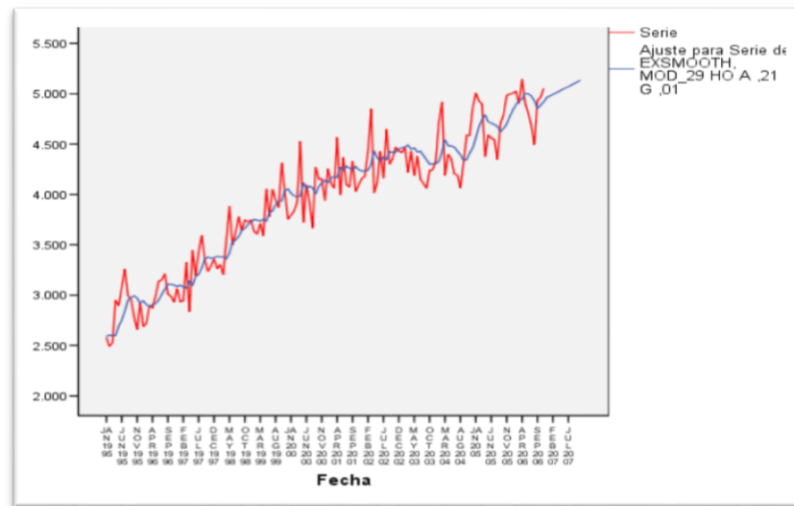
Donde “ α ” es la constante de suavizado del nivel y “ γ ” la del escalón.

La fórmula de previsión de este modelo es:

$$f_{n,h} = a_n + h * b_n$$

Donde h es el momento hasta el que queremos predecir.

Gráfica 33 - Serie suavizado Holt, considerando un modelo exponencial



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

3.5.5 Series con tendencia y con estacionalidad

En el caso de series temporales con tendencia lineal (creciente o decreciente) y comportamiento estacional, el modelo clásico que se aplica es el de Holt-Winters. Es una extensión del modelo de Holt, visto en el apartado anterior, que considera estacionalidad. La tendencia y la estacionalidad se pueden combinar de diferentes maneras, pero las que se consideran más frecuentemente son la combinación aditiva y la multiplicativa.

Igual que en el caso de todos los modelos de suavizado exponencial vistos hasta ahora, la fórmula de ajuste del modelo de Holt-Winters es recursiva:

Caso aditivo:

$$X_{n+1} = a_n + b_n + S_{n-p}$$

Siendo:

$$a_n = \alpha * (X_n - S_{n-p}) + (1 + \alpha) * (a_{n-1} + b_{n-1}) \quad \alpha \in (0,1)$$

$$b_n = \gamma * (a_n - a_{n-1}) + (1 - \gamma) * b_{n-1} \quad \gamma \in (0,1)$$

$$S_t = \delta * (X_n - a_n) + (1 - \delta) * S_{n-p} \quad \delta \in (0,1)$$

Donde “ S_{n-p} ” representa al factor estacional para la misma estación pero un año antes, “ p ” es el periodo de la serie, “ α ” es la constante de suavizado del nivel, “ γ ” la del escalón y “ δ ” la de la estacionalidad.

La fórmula de previsión de este modelo es:

$$f_{n,h} = (a_n + h * b_n) + S_{n+h-p}$$

Donde h es el momento hasta el que queremos predecir.

Caso multiplicativo:

$$X_{n+1} = (a_n + b_n) * S_{n-p}$$

Siendo:

$$a_n = \alpha * \left(\frac{X_n}{S_{n-p}} \right) + (1 - \alpha) * (a_{n-1} + b_{n-1}) \quad \alpha \in (0,1)$$

$$b_n = \gamma * (a_n - a_{n-1}) + (1 - \gamma) * b_{n-1} \quad \gamma \in (0,1)$$

$$S_t = \delta * \left(\frac{X_n}{a_n} \right) + (1 - \delta) * S_{t-p} \quad \delta \in (0,1)$$

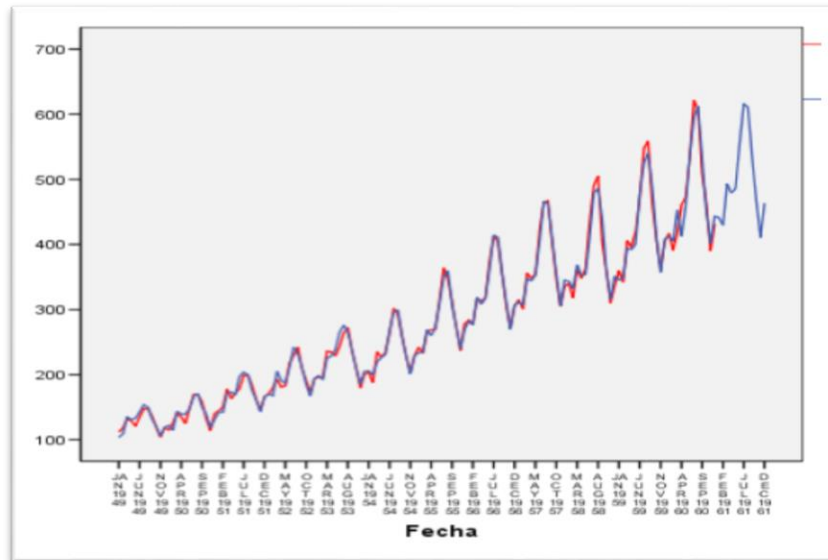
Donde “ S_{n-p} ” representa al factor estacional para la misma estación pero un año antes, “ p ” es el periodo de la serie, “ α ” es la constante de suavizado del nivel, “ γ ” la del escalón y “ δ ” la de la estacionalidad.

La fórmula de previsión de este modelo es:

$$f_{n,h} = (a_n + h * b_n) * S_{n+h-p}$$

Donde h es el momento hasta el que queremos predecir.

Gráfica 34 - Serie Airline, considerando un modelo de Holt-Winters multiplicativo



Fuente: Laboratorio de estadística - Cecilia Esparza Catalán

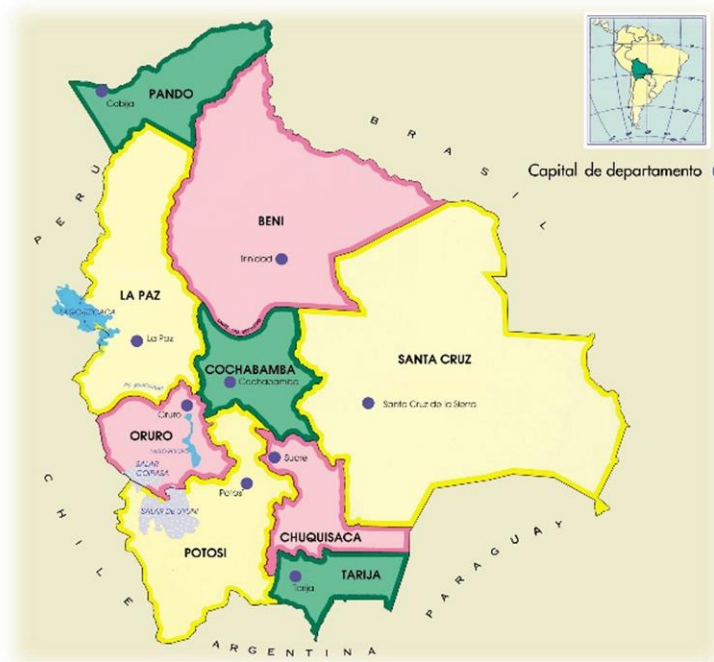
CAPÍTULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El departamento de Tarija se encuentra en la región sur de Bolivia entre los paralelos 20°50" y 22°50" de latitud sur y los meridianos 62°15" a 65°20" latitud oeste, la ciudad de Tarija pertenece al municipio de Cercado que limita al norte con el municipio de San Lorenzo y al Sur con el municipio de Padcaya.

Cuadro 5 - Político de Bolivia



Fuente: www.google.com

Cuadro 6 - Departamento de Tarija



Fuente: www.google.com

4.1.1 Acceso norte

Este sector pertenece al tramo Tomatitas – San Lorenzo de la carretera Tarija – San Lorenzo – Canasmoro, formando parte de la red fundamental.

La zona donde se ubica el tramo en estudio cuenta con mediana densidad poblacional, debido a que se encuentra en zona urbana de la Ciudad de Tarija, nuestro punto conflictivo es el acceso de ingreso y salida de la ciudad de Tarija el cual cuenta de gran flujo automotor en ingreso y salida a la ciudad de Tarija.

Cuadro 7 - Acceso de ingreso y salida a la ciudad de Tarija Puente de Tomatitas



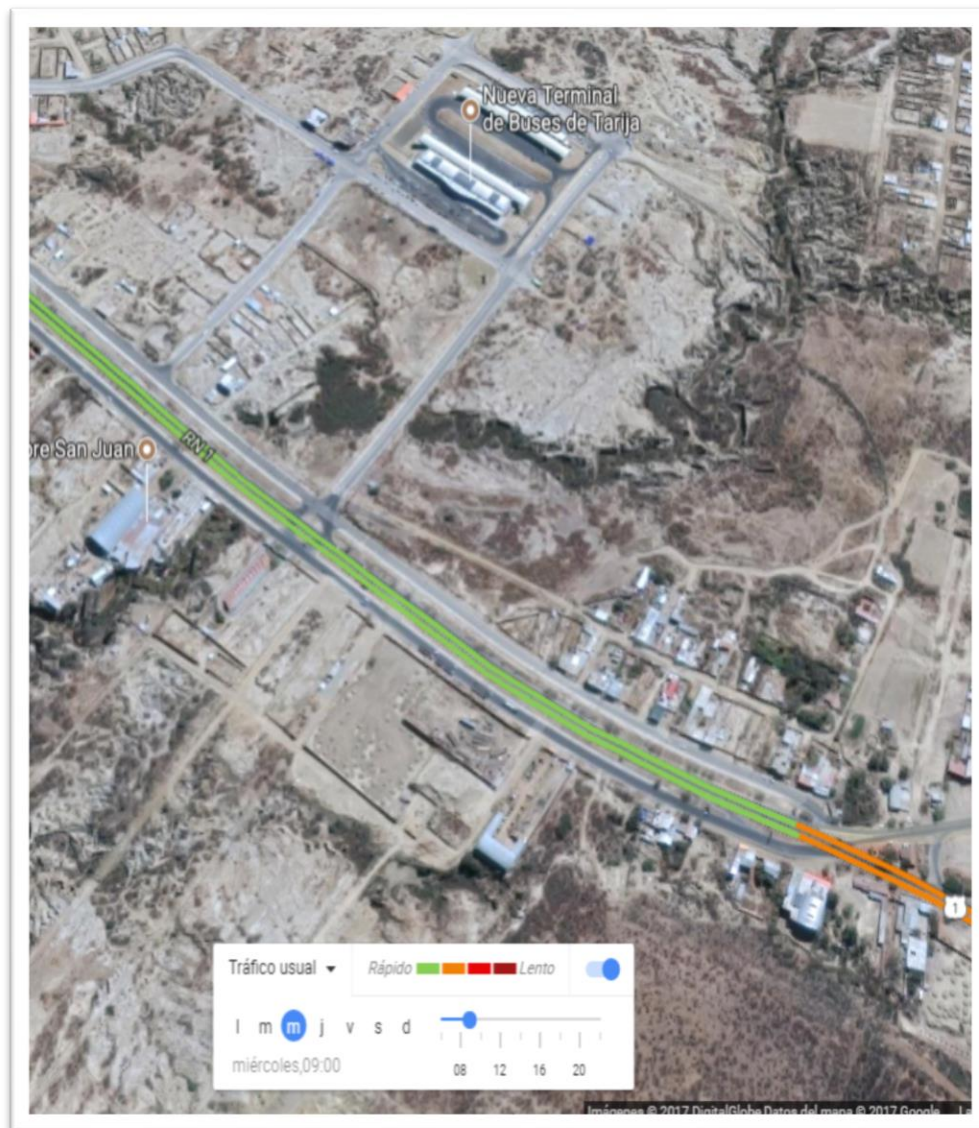
Fuente: Google Maps Imágenes satelitales

4.1.2 Acceso sur

El sector pertenece al tramo Tranca el Portillo – Carretera al Chaco, Tranca el Portillo – Carretera a Bermejo formando parte de la red fundamental.

La zona donde se ubica el tramo en estudio cuenta con mediana densidad poblacional debido a que se encuentra en una zona urbana de la Ciudad de Tarija nuestro punto conflictivo es el acceso de ingreso y salida de la ciudad de Tarija el cual cuenta con gran flujo automotor en ingreso y salida a la ciudad de Tarija.

Cuadro 8 - Acceso de ingreso y salida a la ciudad de Tarija El Portillo



Fuente: Google Maps Imágenes satelitales

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACCESOS

Acceso Norte, partimos con el estudio de sus características en el acceso de ingreso y salida Puente Tomatitas donde pudimos extraer las siguientes características.

Tabla 1 - Ancho de vía, ancho de carril y berma

| TRAMO | ACCESO NORTE |
|-----------------|---------------------|
| Ancho de vía | 9 m. |
| Ancho de carril | 3.70 m |
| Ancho de berma | 0.80 m |

Fuente: Elaboración propia

Acceso Sur partimos con el estudio de sus características en el acceso de ingreso y salida de la Tranca del Portillo donde pudimos observar tres vías de circulación donde pudimos extraer las siguientes características.

Tabla 2 - Vía de circulación (3) Salida de la ciudad de Tarija

| TRAMO | ACCESO SUR (SALIDA) |
|-----------------|----------------------------|
| Ancho de vía | 9 m |
| Ancho de carril | 3.70 m |
| Ancho de berma | 0.80 m |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 - Vía de circulación (2) Ingreso a la ciudad de Tarija

| TRAMO | ACCESO SUR (INGRESO) |
|-----------------|-----------------------------|
| Ancho de vía | 9.50 m |
| Ancho de carril | 3.50 m |
| Ancho de berma | 1.25 m |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 - Vía de circulación (1) Ingreso y salida a la ciudad de Tarija

| TRAMO | ACCESO SUR (INGRESO Y SALIDA) |
|-----------------|--------------------------------------|
| Ancho de vía | 9 m |
| Ancho de carril | 3.30 m |
| Ancho de berma | 1.20 m |

Fuente: Elaboración propia

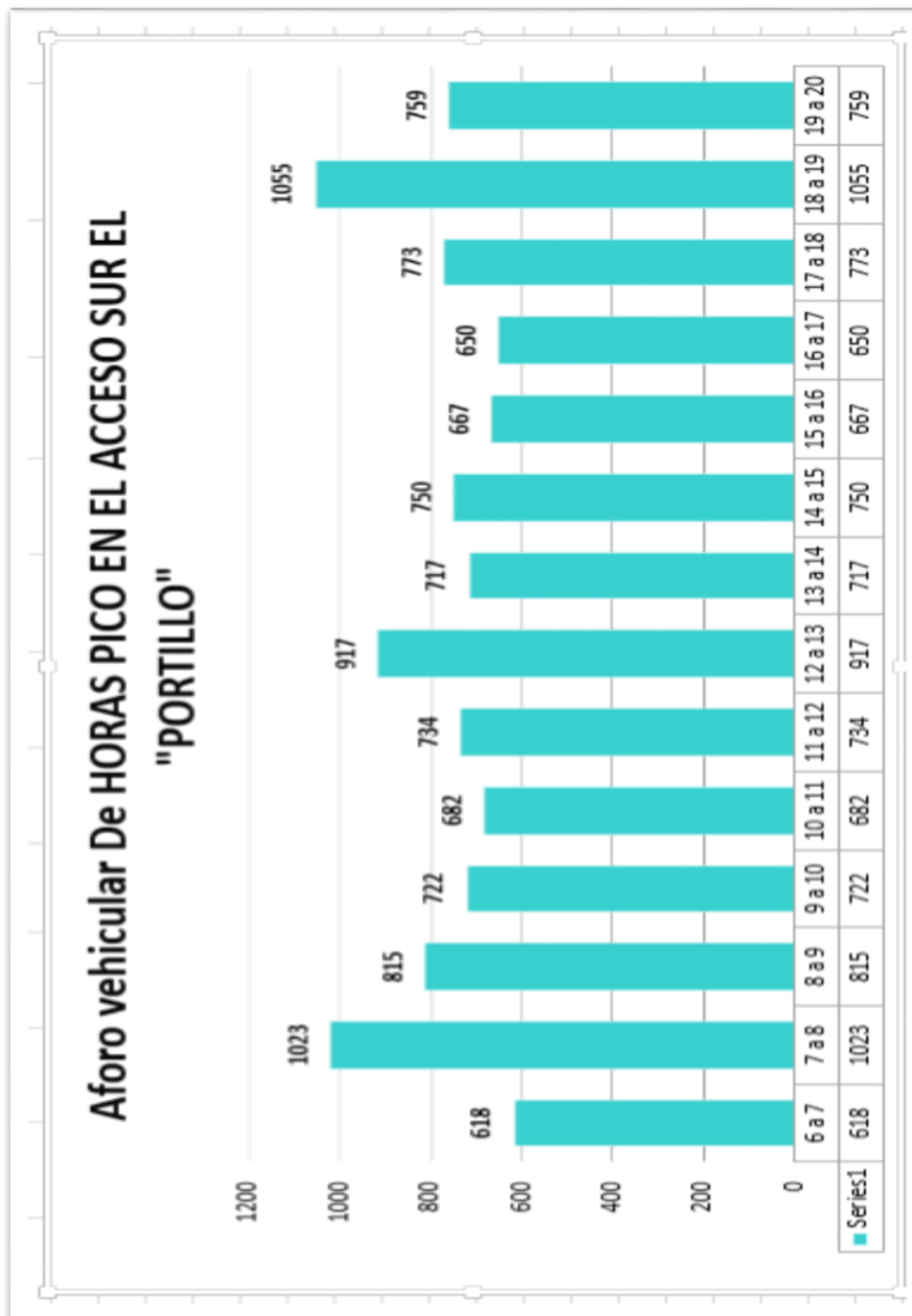
4.2.1 Estudio de tránsito

El estudio de tránsito tiene la finalidad de analizar la movilidad en una zona determinada, considerando de manera coordinada los diferentes elementos que participan en ella y simulando la interacción de los nuevos proyectos de infraestructura con la red existente, para proponer soluciones a la medida de cada proyecto logrando una movilidad eficiente, segura y comprometida con el medio ambiente.

4.2.2 Procedimiento del aforo

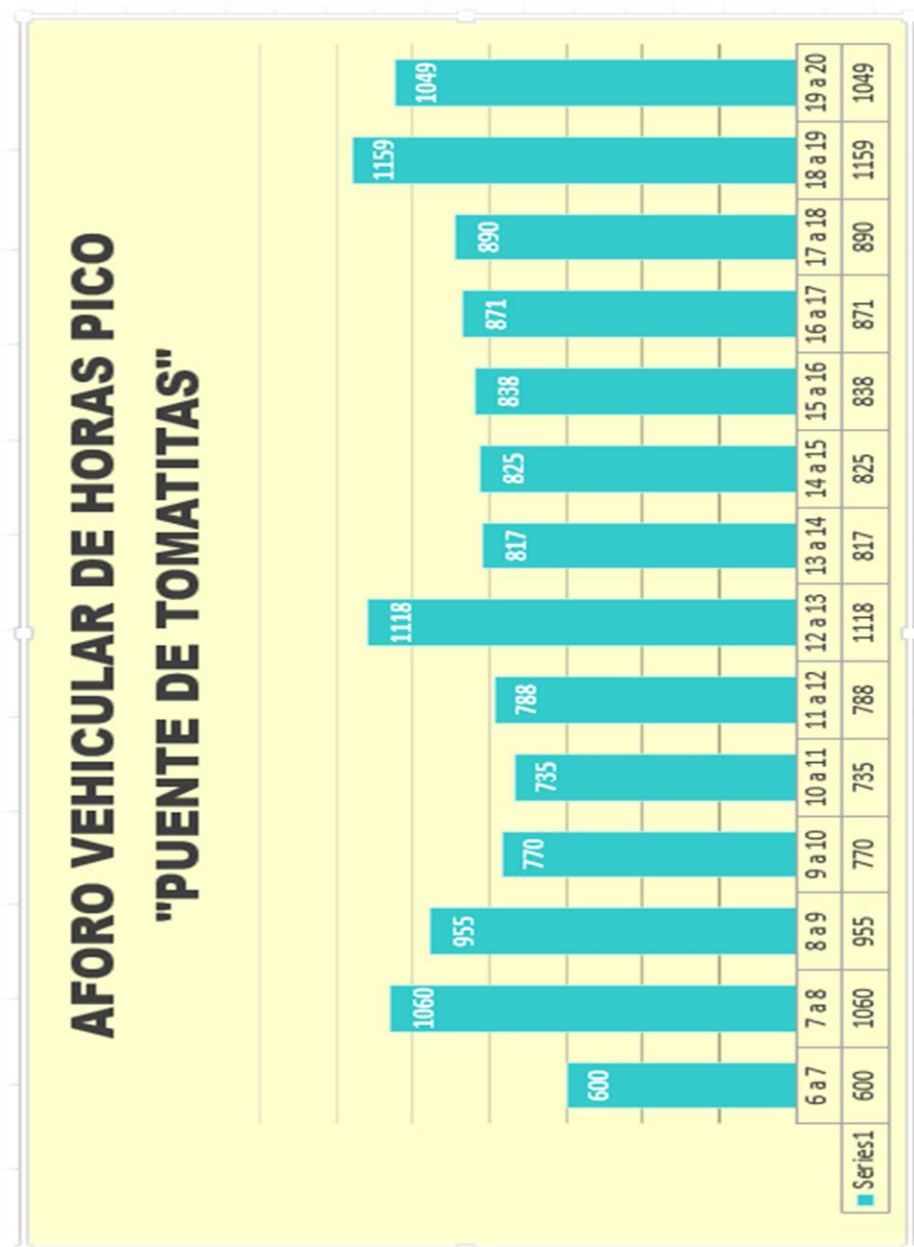
El procedimiento del aforo lo realizaremos por el método de la AASTHO donde nos indica que deberemos primeramente un estudio de las horas pico del tráfico vehicular, donde realizaremos el aforo desde las horas 06:00 am a 08:00 pm cuyo objetivo será el de conseguir los pico de flujo vehicular, y extraer las horas de estudio principal, una vez obtenido esto procederemos a aforar dos días hábiles y un día no hábil durante las tres semanas de estudio en las horas pico anteriormente encontradas, este procedimiento lo realizaremos en los accesos norte y sur de la ciudad de Tarija.

Cuadro 9 - Aforos pico vehiculares acceso norte de la ciudad de Tarija "Portillo"



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10 - Aforos pico vehiculares acceso sur "Puente de Tomatitas"



Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Elaboración y presentación de datos

Acceso Norte “Puente Tomatitas” – Ingreso

| Lunes 07:00 a 08:00 | Lunes 12:00 a 13:00 | Lunes 18:00 a 19:00 |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| 580 | 603 | 635 |
| 574 | 617 | 654 |
| 583 | 607 | 600 |
| 579 | 609 | 630 |

| Martes 07:00 a 08:00 | Martes 12:00 a 13:00 | Martes 18:00 a 19:00 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 585 | 618 | 615 |
| 579 | 601 | 604 |
| 583 | 607 | 619 |
| 582 | 609 | 613 |

| Sábado 07:00 a 08:00 | Sábado 12:00 a 13:00 | Sábado 18:00 a 19:00 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 455 | 466 | 533 |
| 450 | 470 | 564 |
| 462 | 475 | 585 |
| 456 | 470 | 561 |

Como explicamos anteriormente que el aforo vehicular se lo realizo dos días hábiles y un día no hábil en las horas pico establecidas durante las próximas tres semanas, y además aclarando para una mejor comprensión de los datos que las celdas marcadas con el color rojo son las medias aritméticas extraídas en su respectivo día y hora de medición para una mejor apreciación del cálculo posterior.

Acceso Norte “Puente Tomatitas” – Salida

| Lunes 07:00 a 08:00 | Lunes 12:00 a 13:00 | Lunes 18:00 a 19:00 |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| 475 | 501 | 531 |
| 481 | 495 | 521 |
| 478 | 517 | 535 |
| 478 | 504 | 529 |

| Martes 07:00 a 08:00 | Martes 12:00 a 13:00 | Martes 18:00 a 19:00 |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| 478 | 525 | 509 |
| 480 | 489 | 525 |
| 467 | 512 | 517 |
| 475 | 509 | 517 |

| Sábado 07:00 a 08:00 | Sábado 12:00 a 13:00 | Sábado 18:00 a 19:00 |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| 365 | 372 | 481 |
| 375 | 385 | 488 |
| 393 | 412 | 498 |
| 378 | 390 | 489 |

Como explicamos anteriormente que el aforo vehicular se lo realizo dos días hábiles y un día no hábil en las horas pico establecidas durante las próximas tres semanas, y además aclarando para una mejor comprensión de los datos que las celdas marcadas con el color rojo son las medias aritméticas extraídas en su respectivo día y hora de medición para una mejor apreciación del cálculo posterior.

Acceso Sur “El Portillo” – Vía de circulación (1) Ingreso

| Miércoles 07:00 a 08:00 | Miércoles 12:00 a 13:00 | Miércoles 18:00 a 19:00 |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 83 | 65 | 85 |
| 86 | 67 | 83 |
| 85 | 65 | 87 |
| 85 | 66 | 85 |

| Jueves 07:00 a 08:00 | Jueves 12:00 a 13:00 | Jueves 18:00 a 19:00 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 85 | 69 | 92 |
| 82 | 68 | 88 |
| 90 | 69 | 85 |
| 86 | 69 | 88 |

| Domingo 07:00 a 08:00 | Domingo 12:00 a 13:00 | Domingo 18:00 a 19:00 |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 81 | 65 | 80 |
| 79 | 62 | 78 |
| 83 | 63 | 83 |
| 81 | 63 | 80 |

Como explicamos anteriormente que el aforo vehicular se lo realizo dos días hábiles y un día no hábil en las horas pico establecidas durante las próximas tres semanas, y además aclarando para una mejor comprensión de los datos que las celdas marcadas con el color rojo son las medias aritméticas extraídas en su respectivo día y hora de medición para una mejor apreciación del cálculo posterior.

Como el acceso sur cuenta con tres vías de circulación diferentes con ingreso y salida o simplemente algunas con solo ingreso o solo salida las separaremos para una mejor comprensión del cálculo posterior.

Acceso Sur “El Portillo” – Vía de circulación (1) Salida

| Miércoles 07:00 a 08:00 | Miércoles 12:00 a 13:00 | Miércoles 18:00 a 19:00 |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 8 | 7 | 8 |
| 10 | 8 | 8 |
| 9 | 8 | 8 |
| 9 | 8 | 8 |

| Jueves 07:00 a 08:00 | Jueves 12:00 a 13:00 | Jueves 18:00 a 19:00 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 10 | 10 | 8 |
| 7 | 7 | 7 |
| 8 | 5 | 7 |
| 8 | 7 | 7 |

| Domingo 07:00 a 08:00 | Domingo 12:00 a 13:00 | Domingo 18:00 a 19:00 |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 5 | 4 | 6 |
| 3 | 4 | 4 |
| 4 | 5 | 5 |
| 4 | 4 | 5 |

Como explicamos anteriormente que el aforo vehicular se lo realizo dos días hábiles y un día no hábil en las horas pico establecidas durante las próximas tres semanas, y además aclarando para una mejor comprensión de los datos que las celdas marcadas con el color rojo son las medias aritméticas extraídas en su respectivo día y hora de medición para una mejor apreciación del cálculo posterior.

Como el acceso sur cuenta con tres vías de circulación diferentes con ingreso y salida o simplemente algunas con solo ingreso o solo salida las separaremos para una mejor comprensión del cálculo posterior.

Acceso Sur “El Portillo” – Vía de circulación (2) Ingreso

| Miércoles 07:00 a 08:00 | Miércoles 12:00 a 13:00 | Miércoles 18:00 a 19:00 |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 404 | 369 | 490 |
| 400 | 366 | 484 |
| 407 | 361 | 486 |
| 404 | 365 | 487 |

| Jueves 07:00 a 08:00 | Jueves 12:00 a 13:00 | Jueves 18:00 a 19:00 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 397 | 375 | 495 |
| 390 | 376 | 493 |
| 394 | 382 | 489 |
| 394 | 378 | 492 |

| Domingo 07:00 a 08:00 | Domingo 12:00 a 13:00 | Domingo 18:00 a 19:00 |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 365 | 425 | 488 |
| 372 | 415 | 470 |
| 369 | 420 | 482 |
| 369 | 420 | 480 |

Como explicamos anteriormente que el aforo vehicular se lo realizo dos días hábiles y un día no hábil en las horas pico establecidas durante las próximas tres semanas, y además aclarando para una mejor comprensión de los datos que las celdas marcadas con el color rojo son las medias aritméticas extraídas en su respectivo día y hora de medición para una mejor apreciación del cálculo posterior.

Como el acceso sur cuenta con tres vías de circulación diferentes con ingreso y salida o simplemente algunas con solo ingreso o solo salida las separaremos para una mejor comprensión del cálculo posterior.

Acceso Sur “El Portillo” – Vía de circulación (3) Salida

| Miércoles 07:00 a 08:00 | Miércoles 12:00 a 13:00 | Miércoles 18:00 a 19:00 |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 552 | 431 | 489 |
| 550 | 436 | 485 |
| 548 | 434 | 493 |
| 550 | 434 | 489 |

| Jueves 07:00 a 08:00 | Jueves 12:00 a 13:00 | Jueves 18:00 a 19:00 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 548 | 435 | 481 |
| 556 | 432 | 484 |
| 550 | 437 | 495 |
| 551 | 435 | 487 |

| Domingo 07:00 a 08:00 | Domingo 12:00 a 13:00 | Domingo 18:00 a 19:00 |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 544 | 425 | 483 |
| 546 | 424 | 489 |
| 540 | 430 | 496 |
| 543 | 426 | 489 |

Como explicamos anteriormente que el aforo vehicular se lo realizo dos días hábiles y un día no hábil en las horas pico establecidas durante las próximas tres semanas, y además aclarando para una mejor comprensión de los datos que las celdas marcadas con el color rojo son las medias aritméticas extraídas en su respectivo día y hora de medición para una mejor apreciación del cálculo posterior.

Como el acceso sur cuenta con tres vías de circulación diferentes con ingreso y salida o simplemente algunas con solo ingreso o solo salida las separaremos para una mejor comprensión del cálculo posterior.

4.2.4 Resumen de medias de los aforos vehiculares

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

A los aforos anteriormente presentados les extraeremos sus respectivas medias aritméticas para un mayor ordenamiento de los datos para el uso del cálculo vehicular, esta media vehicular la aplicaremos en los respectivos días de aforo en las respectivas horas pico anteriormente calculadas, para los respectivos puntos de estudio en los accesos sur y norte de la ciudad de Tarija.

Ordenando los valores de ingreso y salida para el acceso norte y acceso sur de la ciudad de la Ciudad de Tarija.

Puente de Tomatitas:

| INGRESO |
|---------|
| 606 |
| 601 |
| 496 |

| SALIDA |
|--------|
| 504 |
| 500 |
| 419 |

El Portillo Vía de circulación (1) de Ingreso y salida.

| INGRESO |
|---------|
| 78 |
| 81 |
| 75 |

| SALIDA |
|--------|
| 8 |
| 8 |
| 4 |

El Portillo Vía de circulación (2) de Ingreso.

| INGRESO |
|---------|
| 419 |
| 421 |
| 423 |

El Portillo Vía de circulación (3) de Ingreso.

| INGRESO |
|---------|
| 491 |
| 491 |
| 486 |

4.3 APLICACIÓN DE MODELOS DE SERIES TEMPORALES

Para una mejor comprensión del procedimiento a aplicar y las series temporales a utilizar procederemos de forma ordenada partiendo primeramente por las proyecciones a futuro para el acceso Norte Puente Tomatitas donde proyectaremos el tráfico vehicular a futuro para (1, 3, 5, 7 y 10 años) usando los diferentes modelos de series temporales como ser el (Lineal, potencial, exponencial y logarítmico), donde buscaremos cual será el de mejor ajuste y de mejor adecuo a nuestro medio.

Posteriormente pasaremos a aplicar las series temporales a utilizar de forma ordenada partiendo de las proyecciones a futuro para el acceso Sur El Portillo, recalando donde tendremos a analizar tres vías de circulación que serán nombradas como: Vía de circulación (1) de ingreso y salida a la ciudad de Tarija, Vía de circulación (2) de ingreso a la ciudad de Tarija y Vía de circulación (3) de salida de la ciudad de Tarija, donde proyectaremos el tráfico vehicular a futuro para (1, 3, 5, 7 y 10 años) usando los diferentes modelos de series temporales como ser el (Lineal, potencial, exponencial y logarítmico), donde buscaremos cual será el de mejor ajuste y de mejor adecuo a nuestro medio.

Para ello indicaremos las formulas a utilizar y el procedimiento a seguir, partiendo primeramente por un índice de crecimiento que calcularemos con la ayuda de datos proporcionados por el (RUAT DE LA ALCALDIA) de movilidades donde adjuntaremos los datos y procederemos a su posterior cálculo del mismo.

Cálculo del índice de crecimiento:

$$Ic \equiv \frac{Total\ futuro - Total\ pasado}{Total\ futuro} * 100\%$$

| | |
|---|------------------|
| Parque automotor mes diciembre 2015 = | 61230 Veh |
| Parque automotor mes diciembre 2016 = | 66102 Veh |
| Parque automotor mes septiembre 2017 = | 69618 Veh |

Para este cálculo del índice de crecimiento nos apoyaremos en los datos aportados por el RUAT de la Alcaldía el cual nos otorgó para tres años con los cuales hicimos uso de el para el cálculo y que los mismos adjuntaremos en los Anexos del trabajo de estudio.

Cálculo del índice de crecimiento 2015 – 2016

$$Ic= 7.37 \%$$

Cálculo del índice de crecimiento 2016 - 2017

$$Ic= 5.05 \%$$

Cálculo del índice de crecimiento medio

$$p = \frac{Ic1 + Ic2 + \dots + Icn}{n}$$

$$I_p = 6.21 \%$$

En el cálculo del índice de crecimiento encontramos valor para diferentes periodos de años por lo tanto para la aplicación de Series Temporales encontraremos un índice de crecimiento promedio para la aplicación del posterior calculo, y además adjuntaremos en los anexos los datos otorgados por el RUAT de la Alcaldía.

4.3.1 Proyección del tráfico vehicular para 1, 3, 5, 7 y 10 años

Acceso Norte – Puente de Tomatitas

| Ingreso |
|---------|
| 606 |
| 601 |
| 496 |

| Salida |
|--------|
| 504 |
| 500 |
| 419 |

Realizando la proyección del tráfico vehicular en el acceso Norte de la ciudad de Tarija, para el ingreso del tráfico vehicular para los años 1, 3, 5, 7 y 10 años por los Sigüientes modelos de series temporales Lineal, Potencial, Exponencial y Logarítmica.

Serie temporal lineal Para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "ingreso"

$$Tf = To \left(1 + \frac{i * t}{100} \right)$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

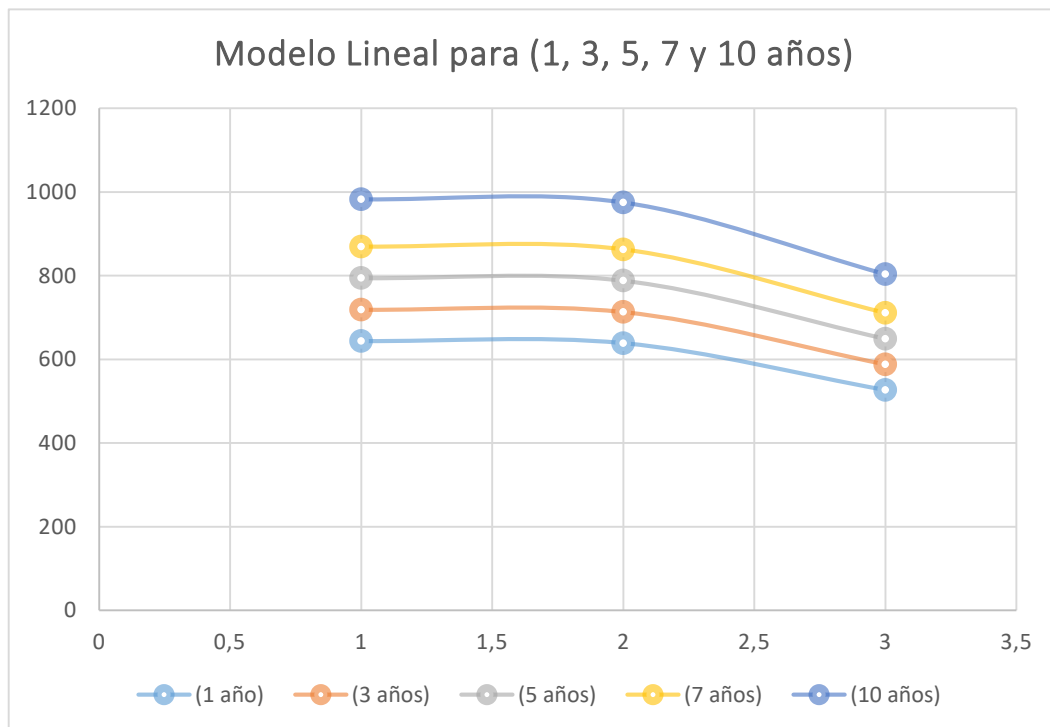
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 644 | 719 | 794 | 869 | 982 |
| 639 | 713 | 788 | 863 | 975 |
| 526 | 588 | 649 | 711 | 803 |



Ajuste lineal para 10 años

$$Y = -89.425X + 1098.9 \leftrightarrow R^2 = 0.7817$$

Ajuste lineal para 7 años

$$Y = -79.148X + 972.57 \leftrightarrow R^2 = 0.7817$$

Ajuste lineal para 5 años

$$Y = -72.296X + 888.37 \leftrightarrow R^2 = 0.7817$$

Ajuste lineal para 3 años $Y = -65.444X + 804.18 \leftrightarrow R^2 = 0.7817$

Ajuste lineal para 1 año $Y = -58.593X + 719.99 \leftrightarrow R^2 = 0.7817$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste potencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal lineal para (1, 3, 5, 7 Y 10 Años) "salida"

$$Tf = To\left(1 + \frac{i * t}{100}\right)$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

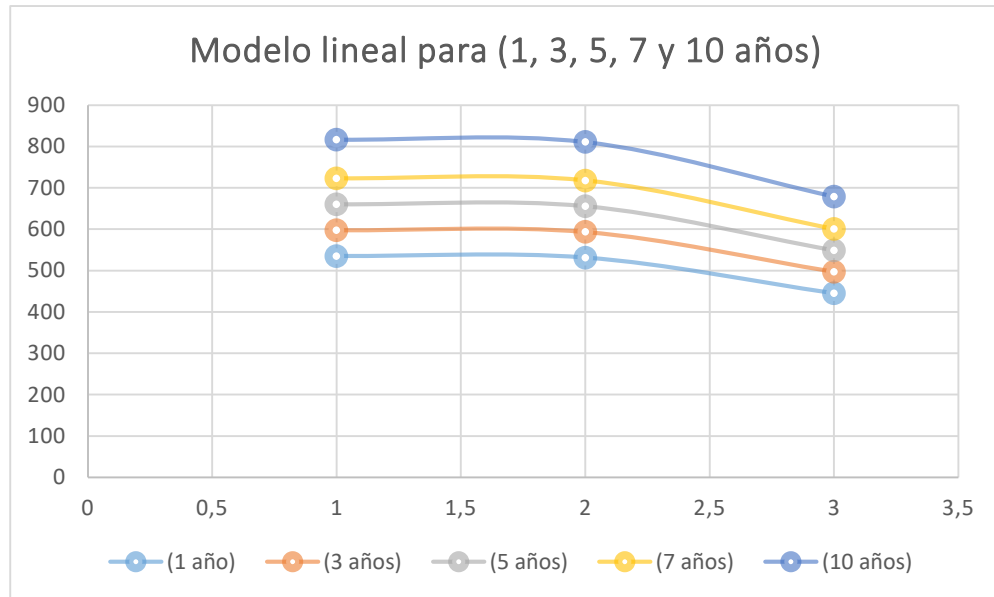
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 535 | 598 | 660 | 723 | 817 |
| 531 | 593 | 656 | 718 | 811 |
| 445 | 497 | 549 | 601 | 679 |



Ajuste lineal para 10 años

$$Y = -68.893X + 906.56 \leftrightarrow R^2 = 0.7813$$

Ajuste lineal para 7 años

$$Y = -60.975X + 802.37 \leftrightarrow R^2 = 0.7813$$

Ajuste lineal para 5 años

$$Y = -55.696X + 732.91 \leftrightarrow R^2 = 0.7813$$

Ajuste lineal para 3 años

$$Y = -50.418X + 663.45 \leftrightarrow R^2 = 0.7813$$

Ajuste lineal para 1 año

$$Y = -45.139X + 593.99 \leftrightarrow R^2 = 0.7813$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste lineal con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días

no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal exponencial para (1, 3, 5, 7 Y 10 Años) "ingreso"

$$Tf = T_o * e^{\left(\frac{i*t}{100}\right)}$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

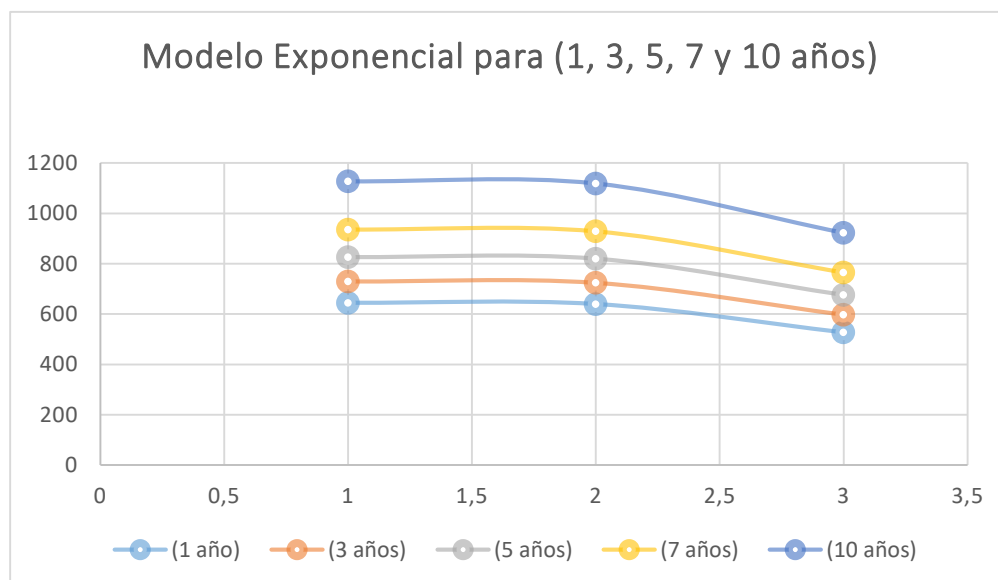
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 645 | 730 | 826 | 936 | 1127 |
| 640 | 724 | 820 | 929 | 1119 |
| 527 | 597 | 676 | 765 | 922 |



Ajuste exponencial para 10 años $Y = 1285.8e^{-0.101x} \leftrightarrow R^2 = 0.7788$

Ajuste exponencial para 7 años $Y = 1067.2e^{-0.101x} \leftrightarrow R^2 = 0.7788$

Ajuste exponencial para 5 años $Y = 942.59e^{-0.101x} \leftrightarrow R^2 = 0.7788$

Ajuste exponencial para 3 años $Y = 832.5e^{-0.101x} \leftrightarrow R^2 = 0.7788$

Ajuste exponencial para 1 año $Y = 735.26e^{-0.101x} \leftrightarrow R^2 = 0.7788$

Serie temporal exponencial para (1, 3, 5, 7 y 10 Años) "salida"

$$Tf = To * e^{\left(\frac{i*t}{100}\right)}$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

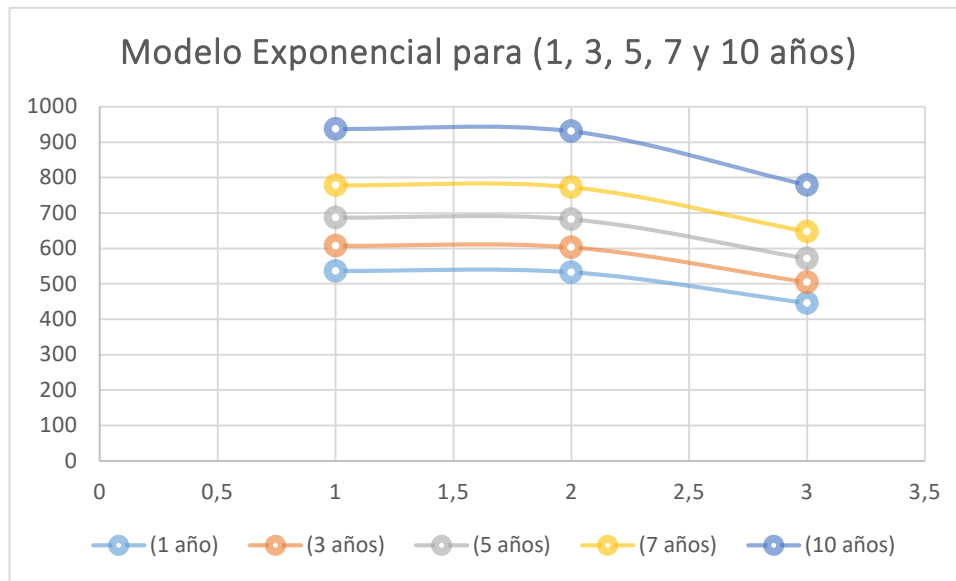
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 536 | 607 | 687 | 778 | 937 |
| 532 | 603 | 682 | 773 | 931 |
| 446 | 505 | 571 | 647 | 779 |



Ajuste exponencial para 10 años

$$Y = 1057.8e^{-0.092x} \leftrightarrow R^2 = 0.7787$$

Ajuste exponencial para 7 años

$$Y = 878.02e^{-0.092x} \leftrightarrow R^2 = 0.7787$$

Ajuste exponencial para 5 años

$$Y = 775.47e^{-0.092x} \leftrightarrow R^2 = 0.7787$$

Ajuste exponencial para 3 años

$$Y = 684.9e^{-0.092x} \leftrightarrow R^2 = 0.7787$$

Ajuste exponencial para 1 año

$$Y = 604.9e^{-0.092x} \leftrightarrow R^2 = 0.7787$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste exponencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal potencial para (1, 3, 5, 7 y 10 Años) "ingreso"

$$Tf = To * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

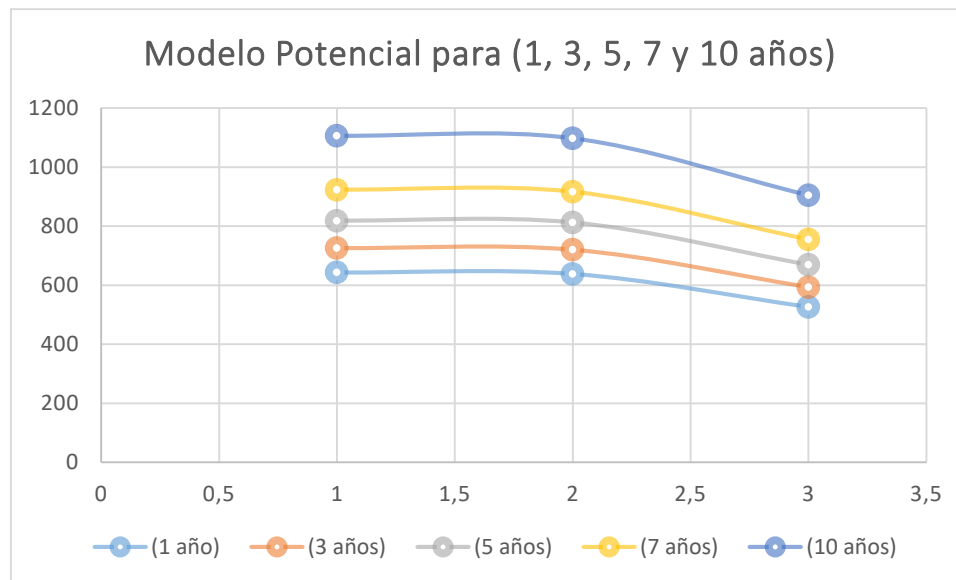
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 644 | 726 | 819 | 924 | 1107 |
| 639 | 720 | 813 | 917 | 1098 |
| 526 | 594 | 670 | 756 | 905 |



Ajuste potencial para 10 años

$$Y = 1138.9x^{-0.164} \leftrightarrow R^2 = 0.6436$$

Ajuste potencial para 7 años $Y = 950.59x^{-0.164} \leftrightarrow R^2 = 0.6436$

Ajuste potencial para 5 años $Y = 842.68x^{-0.164} \leftrightarrow R^2 = 0.6436$

Ajuste potencial para 3 años $Y = 747.02x^{-0.164} \leftrightarrow R^2 = 0.6436$

Ajuste potencial para 1 año $Y = 662.22x^{-0.164} \leftrightarrow R^2 = 0.6436$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste potencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal potencial para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = To * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

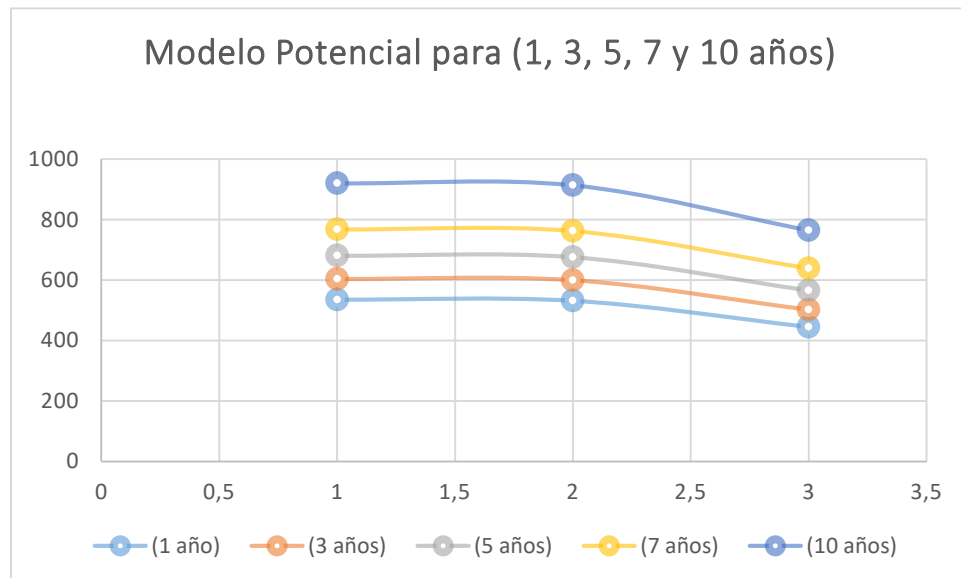
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 535 | 604 | 681 | 768 | 920 |
| 531 | 599 | 676 | 763 | 914 |
| 445 | 502 | 566 | 638 | 765 |



Ajuste potencial para 10 años

$$Y = 944.79x^{-0.151} \leftrightarrow R^2 = 0.6435$$

Ajuste potencial para 7 años

$$Y = 788.56x^{-0.151} \leftrightarrow R^2 = 0.6435$$

Ajuste potencial para 5 años

$$Y = 699.05x^{-0.151} \leftrightarrow R^2 = 0.6435$$

Ajuste potencial para 3 años

$$Y = 619.69x^{-0.151} \leftrightarrow R^2 = 0.6435$$

Ajuste potencial para 1 año

$$Y = 549.34x^{-0.151} \leftrightarrow R^2 = 0.6435$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste potencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal logarítmica para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "ingreso"

$$Tf = e^{(KG*t + \ln To)}$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

To= Tráfico inicial (veh)

KG= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

t= Número de años

$$KGi = \frac{\Delta \ln To}{\Delta t}$$

ΔT = Intervalo de tiempo del periodo intercensal

$\Delta \ln To$ = Diferencia de logaritmos del trafico inicial y final

KGi= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

$$KG = (KG1 * KG2 * \dots * KGN)^{\frac{1}{m}}$$

KG= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

KG1=KG2=KGN= Ctte. De proporcionalidad media de la ecuación para 1 año

m= Numero de estudios realizados

De los valores anteriormente mencionados de la cantidad total de vehículos, otorgados por el RUAT de la Alcaldía, procederemos para el cálculo de la proyección logarítmica, realizando un pequeño calculo auxiliar para el cálculo de la constante de proporcionalidad media de la ecuación, para ello posteriormente realizar el cálculo de proyecciones a futuro para los posteriores años siguientes (1, 3, 5, 7 y 10 años), estos datos otorgados por el RUAT serán presentados en los anexos.

Vehículos Gobierno Municipal de Tarija parque automotor al mes de Diciembre del año 2015

| | | |
|--------------|-------|------------|
| Total | 61230 | Veh |
|--------------|-------|------------|

Vehículos Gobierno Municipal de Tarija parque automotor al mes de Diciembre del año 2016

| | | |
|--------------|-------|------------|
| Total | 69618 | Veh |
|--------------|-------|------------|

Para el cálculo del KGi empezaremos con la ayuda del total de vehículos aforados, por el gobierno municipal de Tarija proporcionado por el RUAT.

$$KGi = \left(\frac{\ln(66102) - \ln(61230)}{1} \right) = 0.0766$$

$$KGi = 0.0766$$

$$KGi = \left(\frac{\ln(69618) - \ln(66102)}{1} \right) = 0.0518$$

$$KGi = 0.0518$$

Para el cálculo del KG final procederemos aplicando la siguiente formula de KG que mencionamos anteriormente.

$$KG = (KG1 * KG2)^{\frac{1}{M}} = (0.0766 * 0.0518)^{\frac{1}{2}} = 0.0630$$

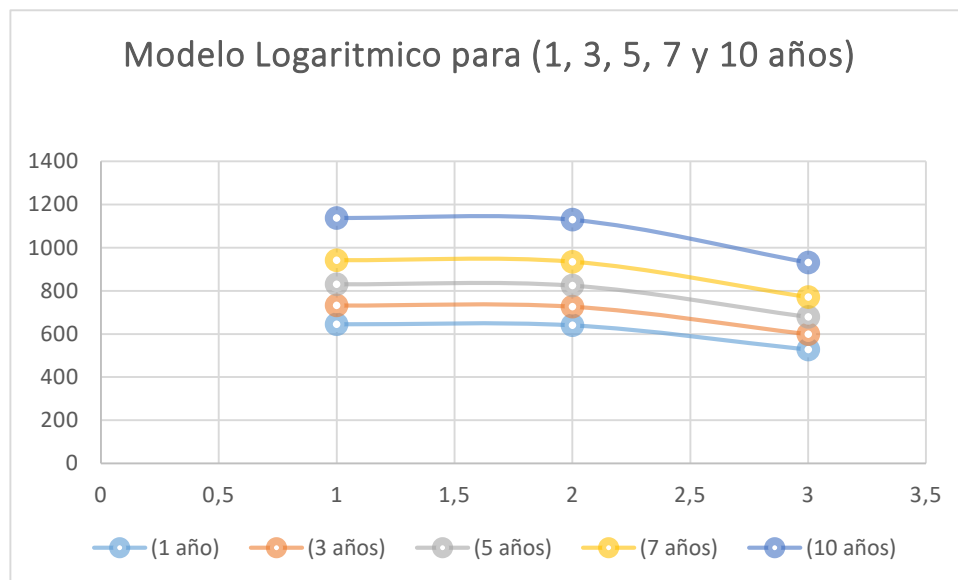
$$KG = 0.0630$$

Una vez obtenido la constante KG de ecuación procederemos al cálculo del tráfico vehicular a futuro para los posteriores años (1, 3, 5, 7 y 10 años) Realizaremos un cálculo de ejemplo para el cálculo del tráfico a futuro por un método logarítmico.

$$Tf = e^{(KG*t + \ln(To))} = e^{(0.0630*(1) + \ln(606))} = 645 \text{ veh}$$

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 645 | 732 | 830 | 942 | 1138 |
| 640 | 726 | 824 | 934 | 1129 |
| 528 | 599 | 679 | 770 | 930 |



Ajuste logarítmico para 10 años $Y = -169.6 \ln(x) + 1166.8 \leftrightarrow R^2 = 0.647$

Ajuste logarítmico para 7 años $Y = -140.4 \ln(x) + 965.92 \leftrightarrow R^2 = 0.647$

Ajuste logarítmico para 5 años $Y = -123.8 \ln(x) + 851.59 \leftrightarrow R^2 = 0.647$

Ajuste logarítmico para 3 años $Y = -109.1 \ln(x) + 750.79 \leftrightarrow R^2 = 0.647$

Ajuste logarítmico para 1 año $Y = -96.21 \ln(x) + 661.92 \leftrightarrow R^2 = 0.647$

Serie temporal logarítmica para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = e^{(KG*t + \ln To)}$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

To= Tráfico inicial (veh)

KG= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

t= Número de años

$$KGi = \frac{\Delta \ln To}{\Delta t}$$

ΔT = Intervalo de tiempo del periodo intercensal

$\Delta \ln To$ = Diferencia de logaritmos del tráfico inicial y final

KGi= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

$$KG = (KG1 * KG2 * \dots * KGN)^{\frac{1}{m}}$$

KG= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

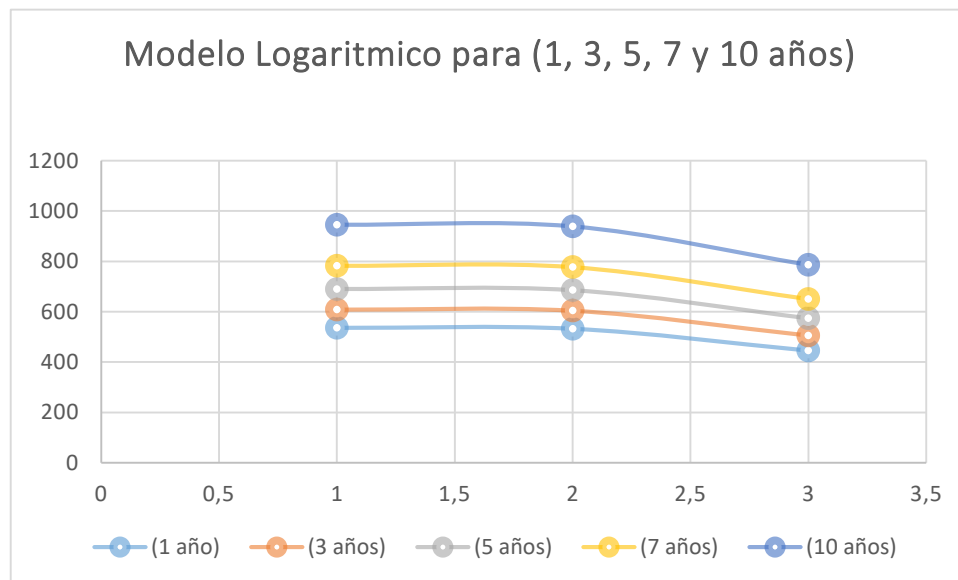
KG1=KG2=KGN= Ctte. De proporcionalidad media de la ecuación para 1 año

m= Numero de estudios realizados

Como ya desarrollamos los cálculos auxiliaremos correspondientes anteriormente procederemos a aplicar las formulas correspondientes para el cálculo del tráfico a futuro para (1, 3, 5, 7 y 10 años).

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 537 | 609 | 690 | 783 | 946 |
| 533 | 604 | 685 | 777 | 939 |
| 446 | 506 | 574 | 651 | 786 |



Ajuste logarítmico para 10 años $Y = -130.7 \ln(x) + 968.42 \leftrightarrow R^2 = 0.6466$

Ajuste logarítmico para 7 años $Y = -108.2 \ln(x) + 801.67 \leftrightarrow R^2 = 0.6466$

Ajuste logarítmico para 5 años $Y = -95.35 \ln(x) + 706.78 \leftrightarrow R^2 = 0.6466$

Ajuste logarítmico para 3 años $Y = -84.07 \ln(x) + 623.12 \leftrightarrow R^2 = 0.6466$

Ajuste logarítmico para 1 año $Y = -74.12 \ln(x) + 549.36 \leftrightarrow R^2 = 0.6466$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste logarítmico con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

El Portillo acceso sur – vía de circulación (1) de ingreso y salida a la ciudad de Tarija

Unas ves adquiridas los datos de las respectivas vías, trabajaremos para la vía de circulación (1) donde realizaremos las proyecciones del tráfico vehicular por los siguientes modelos de series temporales lineal, exponencial, potencial y logarítmico.

Vía de circulación (1) – Ingreso y salida

| Ingreso |
|---------|
| 78 |
| 81 |
| 75 |

| Salida |
|--------|
| 8 |
| 8 |
| 4 |

Serie temporal lineal para (1, 3, 5, 7 y 10 Años) "ingreso"

$$Tf = To(1 + \frac{i * t}{100})$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

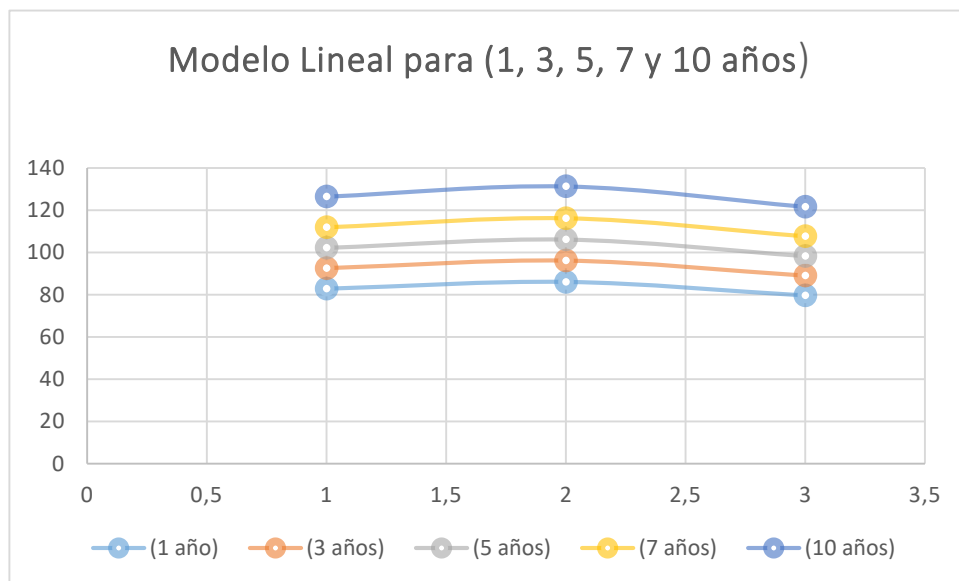
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 83 | 93 | 102 | 112 | 126 |
| 86 | 96 | 106 | 116 | 131 |
| 80 | 89 | 98 | 108 | 122 |



Ajuste lineal para 10 años

$$Y = -2.4315X + 131.3 \leftrightarrow R^2 = 0.25$$

Ajuste lineal para 7 años

$$Y = -2.152X + 116.21 \leftrightarrow R^2 = 0.25$$

Ajuste lineal para 5 años $Y = -1.9658X + 106.15 \leftrightarrow R^2 = 0.25$

Ajuste lineal para 3 años $Y = -1.7795X + 96.09 \leftrightarrow R^2 = 0.25$

Ajuste lineal para 1 año $Y = -1.5932X + 86.03 \leftrightarrow R^2 = 0.25$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste logarítmico con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal exponencial para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "ingreso"

$$Tf = To * e^{\left(\frac{i*t}{100}\right)}$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

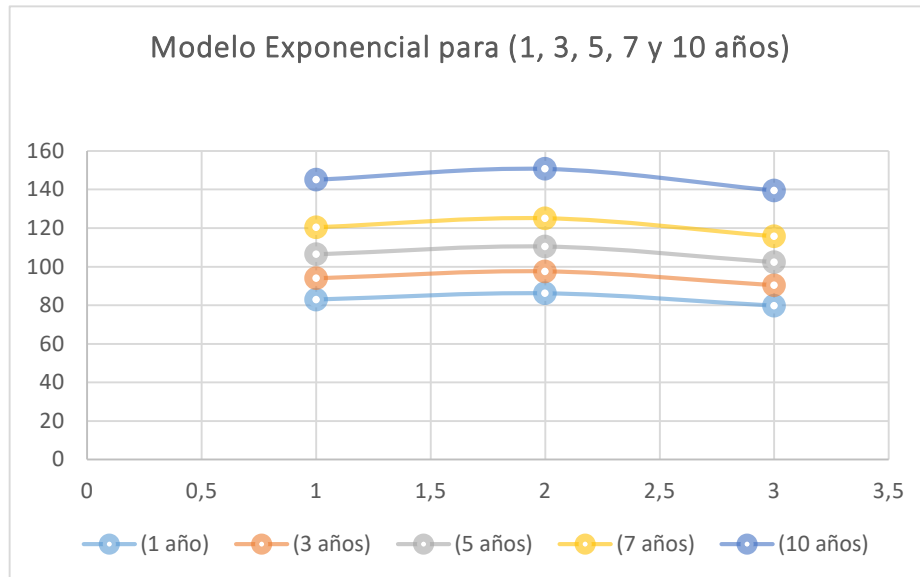
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 83 | 94 | 106 | 120 | 145 |
| 86 | 98 | 110 | 125 | 151 |
| 80 | 90 | 102 | 116 | 140 |



Ajuste exponencial para 10 años

$$Y = 150.87e^{-0.02x} \leftrightarrow R^2 = 0.2597$$

Ajuste exponencial para 7 años

$$Y = 125.23e^{-0.02x} \leftrightarrow R^2 = 0.2597$$

Ajuste exponencial para 5 años

$$Y = 110.6e^{-0.02x} \leftrightarrow R^2 = 0.2597$$

Ajuste exponencial para 3 años

$$Y = 97.684e^{-0.02x} \leftrightarrow R^2 = 0.2597$$

Ajuste exponencial para 1 año

$$Y = 86.275e^{-0.02x} \leftrightarrow R^2 = 0.2597$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste logarítmico con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en

los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal potencial para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "ingreso"

$$Tf = To * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

Tf= Tráfico futuro (veh)

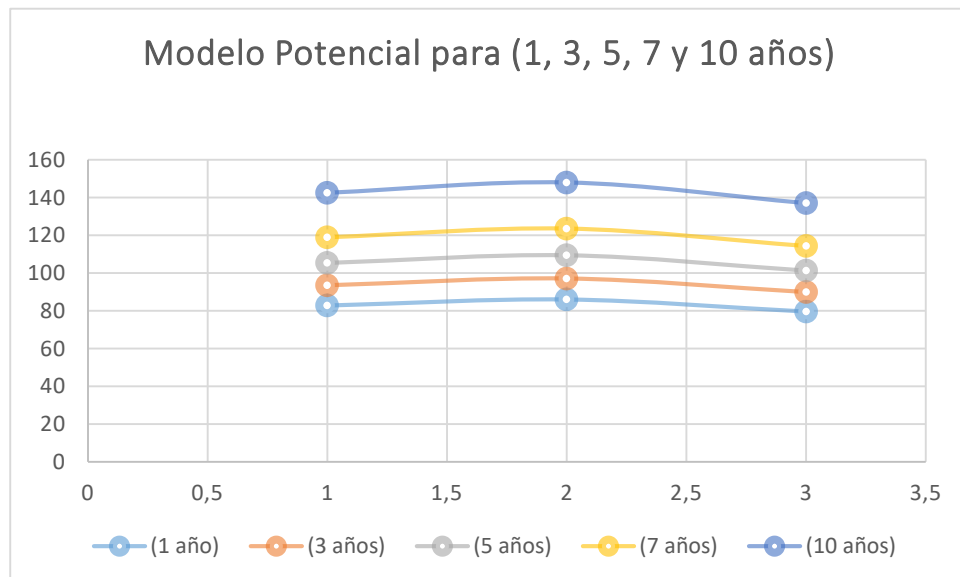
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 83 | 93 | 105 | 119 | 142 |
| 86 | 97 | 109 | 123 | 148 |
| 80 | 90 | 101 | 114 | 137 |



Ajuste potencial para 10 años $Y = 144.64x^{-0.026} \leftrightarrow R^2 = 0.1408$

Ajuste potencial para 7 años $Y = 120.72x^{-0.026} \leftrightarrow R^2 = 0.1408$

Ajuste potencial para 5 años $Y = 107.02x^{-0.026} \leftrightarrow R^2 = 0.1408$

Ajuste potencial para 3 años $Y = 94.868x^{-0.026} \leftrightarrow R^2 = 0.1408$

Ajuste potencial para 1 año $Y = 84.098x^{-0.026} \leftrightarrow R^2 = 0.1408$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste logarítmico con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal logarítmica para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "ingreso"

$$Tf = e^{(KG*t + \ln To)}$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

To = Tráfico inicial (veh)

i = Índice de crecimiento (%)

t = Número de años

$$KGi = \frac{\Delta \ln To}{\Delta t}$$

ΔT = Intervalo de tiempo del periodo intercensal

$\Delta \ln T_0$ = Diferencia de logaritmos del trafico inicial y final

KG_i = Constante de proporcionalidad media de la ecuación

$$KG = (KG1 * KG2 * \dots * KGN)^{\frac{1}{m}}$$

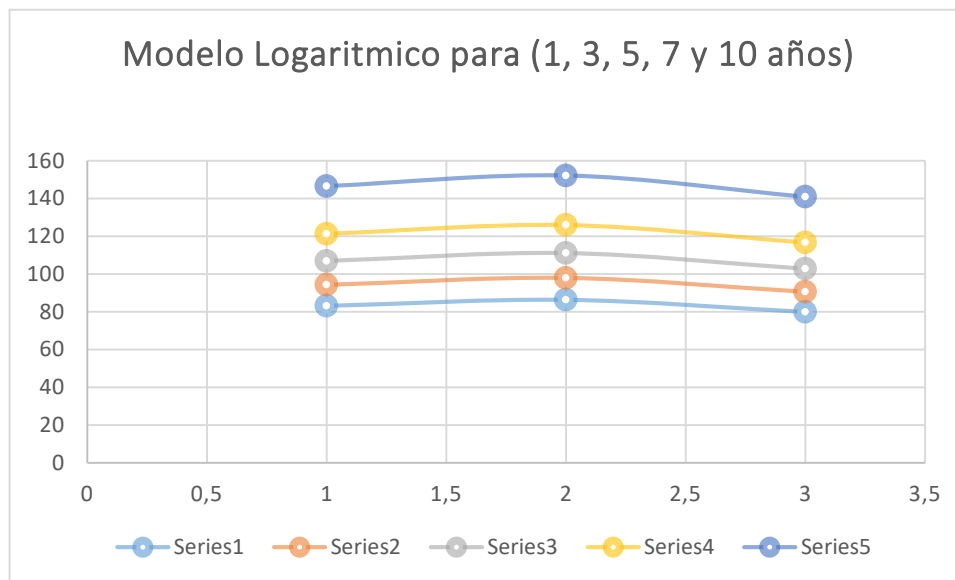
KG = Constante de proporcionalidad media de la ecuación

$KG1=KG2=KGN=$ Ctte. De proporcionalidad media de la ecuación para 1 año

m = Número de estudios realizados

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 83 | 94 | 107 | 121 | 146 |
| 86 | 98 | 111 | 126 | 152 |
| 80 | 91 | 103 | 117 | 141 |



Ajuste logarítmico para 10 años $Y = -3.7 \ln(x) + 148.66 \leftrightarrow R^2 = 0.1332$

Ajuste logarítmico para 7 años $Y = -3.063 \ln(x) + 123.06 \leftrightarrow R^2 = 0.1332$

Ajuste logarítmico para 5 años $Y = -2.7 \ln(x) + 108.49 \leftrightarrow R^2 = 0.1332$

Ajuste logarítmico para 3 años $Y = -2.381 \ln(x) + 95.649 \leftrightarrow R^2 = 0.1332$

Ajuste logarítmico para 1 año $Y = -2.099 \ln(x) + 84.326 \leftrightarrow R^2 = 0.1332$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste logarítmico con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Acceso sur – vía de circulación (1) de ingreso y salida a la ciudad de Tarija

Unas ves adquiridas los datos de las respectivas vías, trabajaremos para la vía de circulación (1) donde realizaremos las proyecciones del tráfico vehicular por los siguientes modelos de series temporales lineal, exponencial, potencial y logarítmico.

Vía de circulación (1) – Ingreso y salida

| Ingreso |
|---------|
| 78 |
| 81 |
| 75 |

| Salida |
|--------|
| 8 |
| 8 |
| 4 |

Serie temporal lineal para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = To(1 + \frac{i * t}{100})$$

Tf= Tráfico futuro (veh)

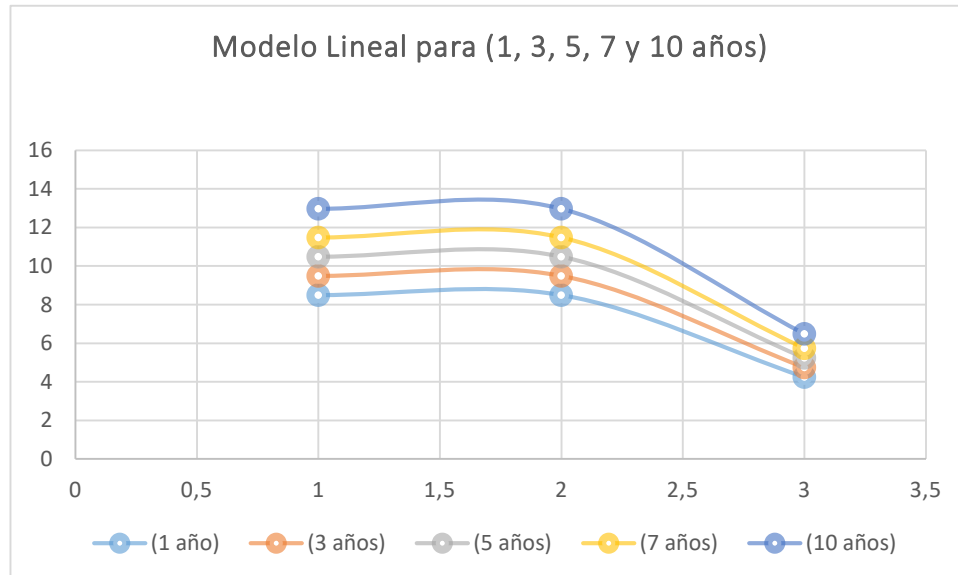
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 8 | 9 | 10 | 11 | 13 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 13 |
| 4 | 5 | 5 | 6 | 6 |



Ajuste lineal para 10 años

$$Y = -3.242X + 17.291 \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste lineal para 7 años

$$Y = -2.8694X + 15.303 \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste lineal para 5 años $Y = -2.621X + 13.979 \leftrightarrow R^2 = 0.75$

Ajuste lineal para 3 años $Y = -2.3726X + 12.654 \leftrightarrow R^2 = 0.75$

Ajuste lineal para 1 año $Y = -2.1242X + 11.329 \leftrightarrow R^2 = 0.75$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste lineal con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal exponencial para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = To * e^{\left(\frac{i*t}{100}\right)}$$

Tf= Tráfico futuro (veh)

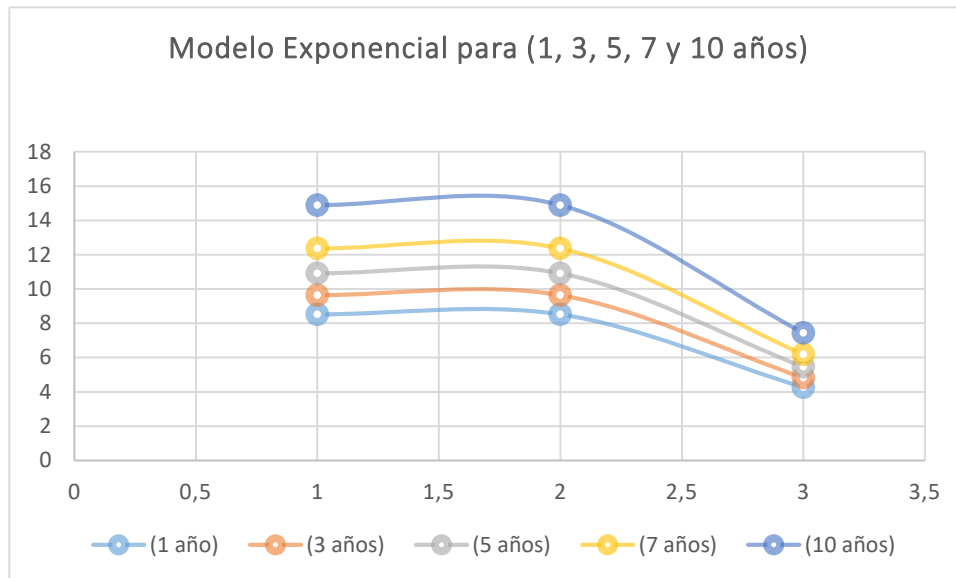
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 9 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |

**Ajuste exponencial para 10 años**

$$Y = 23.631e^{-0.347x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste exponencial para 7 años

$$Y = 19.614e^{-0.347x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste exponencial para 5 años

$$Y = 17.323e^{-0.347x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste exponencial para 3 años

$$Y = 15.3e^{-0.347x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste exponencial para 1 año

$$Y = 13.513e^{-0.347x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años

mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste exponencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal potencial para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = To * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

Tf= Tráfico futuro (veh)

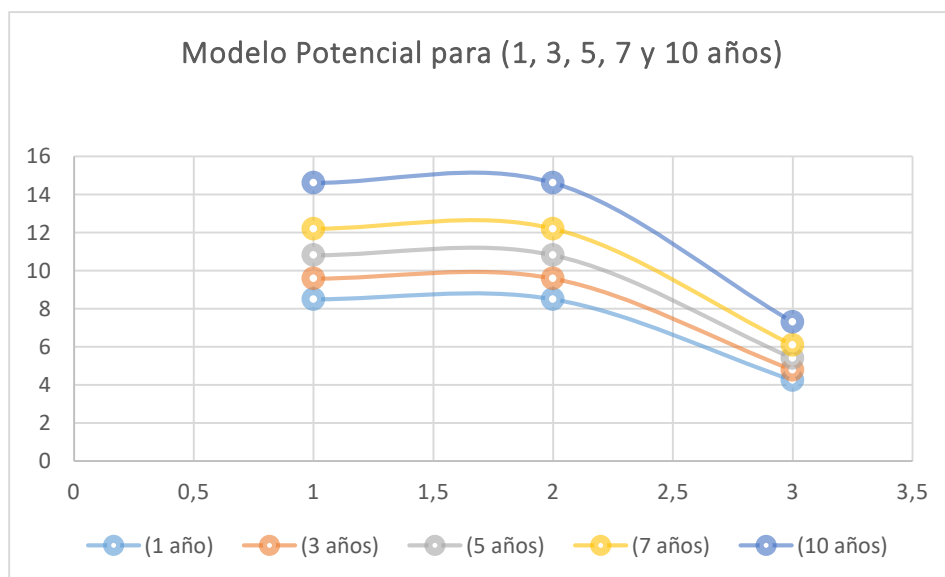
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 8 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 8 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |



Ajuste potencial para 10 años $Y = 16.234x^{-0.563} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste potencial para 7 años $Y = 13.55x^{-0.563} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste potencial para 5 años $Y = 12.012x^{-0.563} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste potencial para 3 años $Y = 10.648x^{-0.563} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste potencial para 1 año $Y = 9.4394x^{-0.563} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste potencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

Serie temporal logarítmica para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = e^{(KG*t + \ln To)}$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

To= Tráfico inicial (veh)

KG= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

t= Número de años

$$KGi = \frac{\Delta \ln To}{\Delta t}$$

ΔT = Intervalo de tiempo del periodo intercensal

$\Delta \ln T_0$ = Diferencia de logaritmos del trafico inicial y final

KG_i = Constante de proporcionalidad media de la ecuación

$$KG = (KG_1 * KG_2 * \dots * KG_N)^{\frac{1}{m}}$$

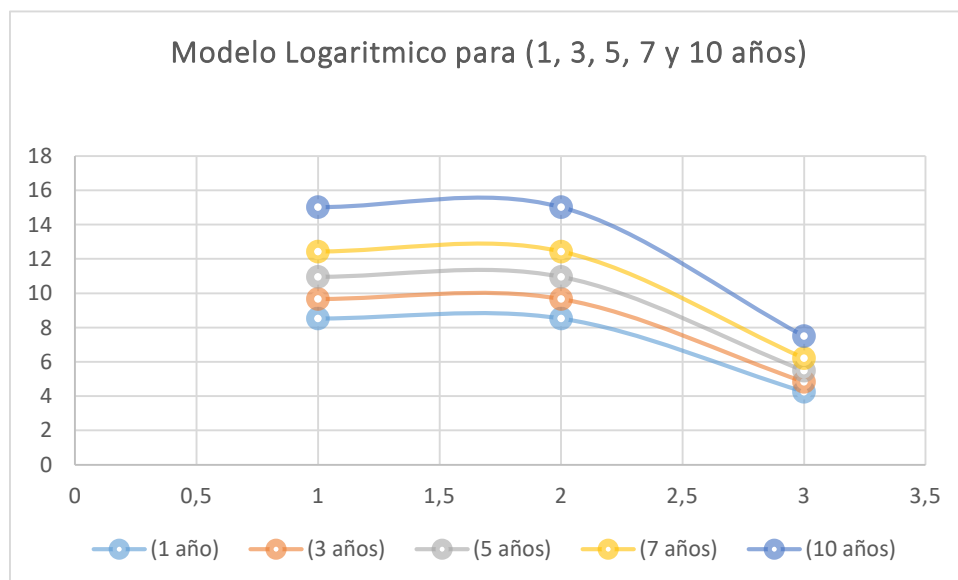
KG = Constante de proporcionalidad media de la ecuación

$KG_1=KG_2=KG_N$ = Ctte. De proporcionalidad media de la ecuación para 1 año

m = Número de estudios realizados

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 9 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 4 | 5 | 5 | 6 | 8 |



Ajuste logarítmico para 10 años

$$Y = -6.1 \ln(x) + 16.161 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$$

Ajuste logarítmico para 7 años $Y = -5.05 \ln(x) + 13.378 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste logarítmico para 5 años $Y = -4.452 \ln(x) + 11.794 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste logarítmico para 3 años $Y = -3.925 \ln(x) + 10.398 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste logarítmico para 1 año $Y = -3.46 \ln(x) + 9.1668 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso como salida lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste logarítmico con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un decremento haciéndonos notar que lo predominante son los días hábiles en la gráfica.

El Portillo acceso sur – vía de circulación (2) de ingreso y salida a la ciudad de Tarija

Unas ves adquiridas los datos de las respectivas vías, trabajaremos para la vía de circulación (2) donde realizaremos las proyecciones del tráfico vehicular por los siguientes modelos de series temporales lineal, exponencial, potencial y logarítmico.

| Ingreso |
|---------|
| 419 |
| 421 |
| 423 |

Serie temporal lineal para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "ingreso"

$$Tf = To(1 + \frac{i * t}{100})$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

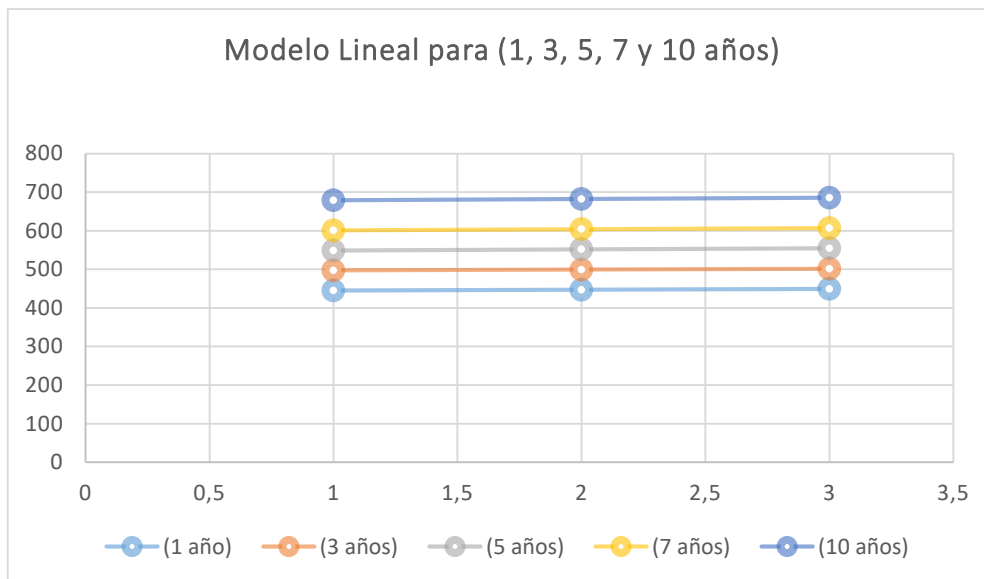
To = Tráfico inicial (veh)

i = Índice de crecimiento (%)

t = Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 445 | 497 | 549 | 601 | 679 |
| 447 | 499 | 552 | 604 | 682 |
| 449 | 502 | 554 | 607 | 686 |



Ajuste lineal para 10 años

$$Y = 3.242X + 675.96 \leftrightarrow R^2 = 1$$

Ajuste lineal para 7 años

$$Y = 2.8694X + 598.27 \leftrightarrow R^2 = 1$$

Ajuste lineal para 5 años

$$Y = 2.621X + 546.48 \leftrightarrow R^2 = 1$$

Ajuste lineal para 3 años

$$Y = 2.3726X + 494.69 \leftrightarrow R^2 = 1$$

Ajuste lineal para 1 año

$$Y = 2.1242X + 442.9 \leftrightarrow R^2 = 1$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste lineal con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un incremento haciéndonos notar que lo predominante en la gráfica por el incremento vehicular.

Serie temporal exponencial para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "ingreso"

$$Tf = To * e^{\left(\frac{i*t}{100}\right)}$$

Tf= Tráfico futuro (veh)

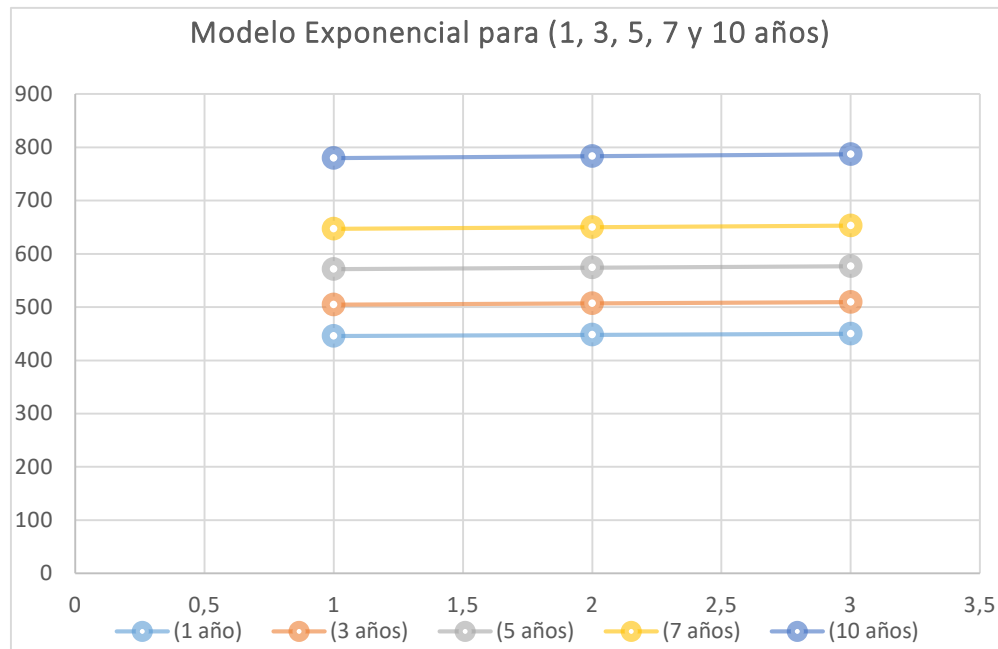
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 446 | 505 | 572 | 647 | 780 |
| 448 | 507 | 574 | 650 | 783 |
| 450 | 510 | 577 | 653 | 787 |



Ajuste exponencial para 10 años

$$Y = 775.98e^{0.0048x} \leftrightarrow R^2 = 1$$

Ajuste exponencial para 7 años

$$Y = 644.08e^{0.0048x} \leftrightarrow R^2 = 1$$

Ajuste exponencial para 5 años

$$Y = 568.85e^{0.0048x} \leftrightarrow R^2 = 1$$

Ajuste exponencial para 3 años

$$Y = 502.41e^{0.0048x} \leftrightarrow R^2 = 1$$

Ajuste exponencial para 1 año

$$Y = 443.73e^{0.0048x} \leftrightarrow R^2 = 1$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste exponencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un incremento haciéndonos notar que lo predominante en la gráfica por el incremento vehicular.

Serie temporal potencial para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "ingreso"

$$Tf = To * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

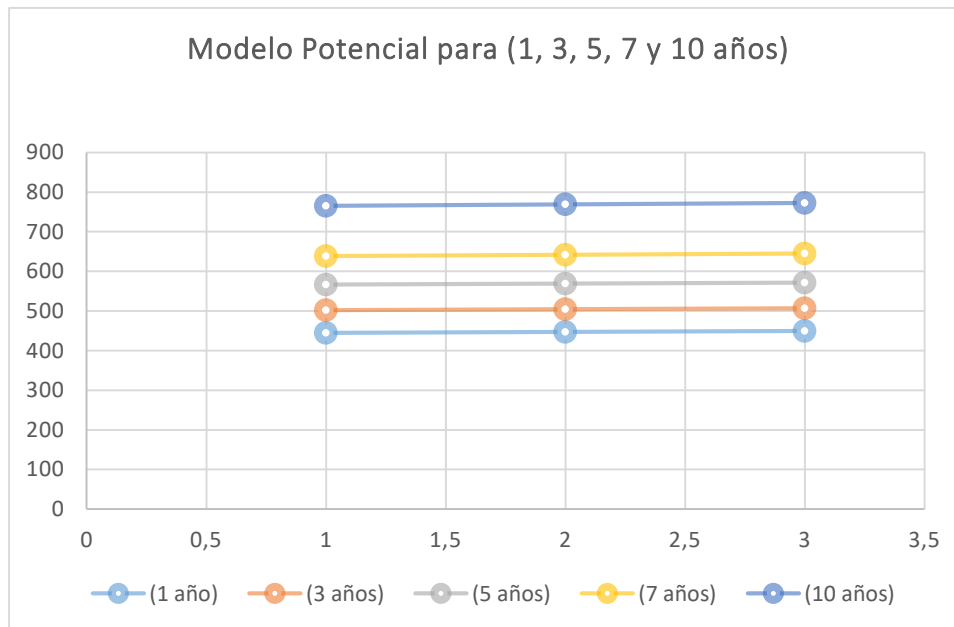
To = Tráfico inicial (veh)

i = Índice de crecimiento (%)

t = Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 445 | 502 | 566 | 639 | 765 |
| 447 | 504 | 569 | 642 | 769 |
| 449 | 507 | 572 | 645 | 773 |



Ajuste potencial para 10 años

$$Y = 765.14x^{0.0085} \leftrightarrow R^2 = 0.9781$$

Ajuste potencial para 7 años

$$Y = 638.62x^{0.0085} \leftrightarrow R^2 = 0.9781$$

Ajuste potencial para 5 años

$$Y = 566.12x^{0.0085} \leftrightarrow R^2 = 0.9781$$

Ajuste potencial para 3 años

$$Y = 501.86x^{0.0085} \leftrightarrow R^2 = 0.9781$$

Ajuste potencial para 1 año

$$Y = 444.89x^{0.0085} \leftrightarrow R^2 = 0.9781$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste potencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un incremento haciéndonos notar que lo predominante en la gráfica por el incremento vehicular.

Serie temporal logarítmica para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "ingreso"

$$Tf = e^{(KG*t+lnTo)}$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

To= Tráfico inicial (veh)

KG= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

t= Número de años

$$KGi = \frac{\Delta \ln To}{\Delta t}$$

ΔT = Intervalo de tiempo del periodo intercensal

$\Delta \ln To$ = Diferencia de logaritmos del trafico inicial y final

KGi= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

$$KG = (KG1 * KG2 * \dots * KGN)^{\frac{1}{m}}$$

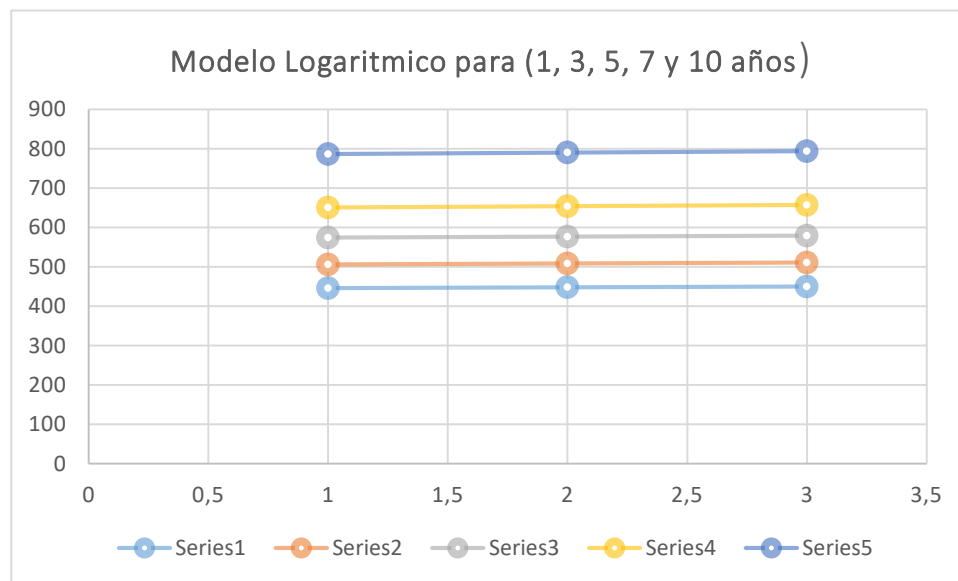
KG= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

KG1=KG2=KGN= Ctte. De proporcionalidad media de la ecuación para 1 año

m= Número de estudios realizados

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 446 | 506 | 574 | 651 | 787 |
| 448 | 509 | 577 | 654 | 790 |
| 451 | 511 | 580 | 657 | 794 |



Ajuste logarítmico para 10 años $Y = 6.6835 \ln(x) + 786.48 \leftrightarrow R^2 = 0.9777$

Ajuste logarítmico para 7 años $Y = 5.5325 \ln(x) + 651.04 \leftrightarrow R^2 = 0.9777$

Ajuste logarítmico para 5 años $Y = 4.8776 \ln(x) + 573.97 \leftrightarrow R^2 = 0.9777$

Ajuste logarítmico para 3 años $Y = 4.3001 \ln(x) + 506.02 \leftrightarrow R^2 = 0.9777$

Ajuste logarítmico para 1 año

$$Y = 3.7911 \ln(x) + 446.11 \leftrightarrow R^2 = 0.9777$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste logarítmico con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un incremento haciéndonos notar que lo predominante en la gráfica por el incremento vehicular.

El Portillo acceso sur – vía de circulación (3) de salida a la ciudad de Tarija

Unas ves adquiridas los datos de las respectivas vías, trabajaremos para la vía de circulación (3) donde realizaremos las proyecciones del tráfico vehicular por los siguientes modelos de series temporales lineal, exponencial, potencial y logarítmico.

Serie temporal lineal para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = To \left(1 + \frac{i * t}{100}\right)$$

Tf= Tráfico futuro (veh)

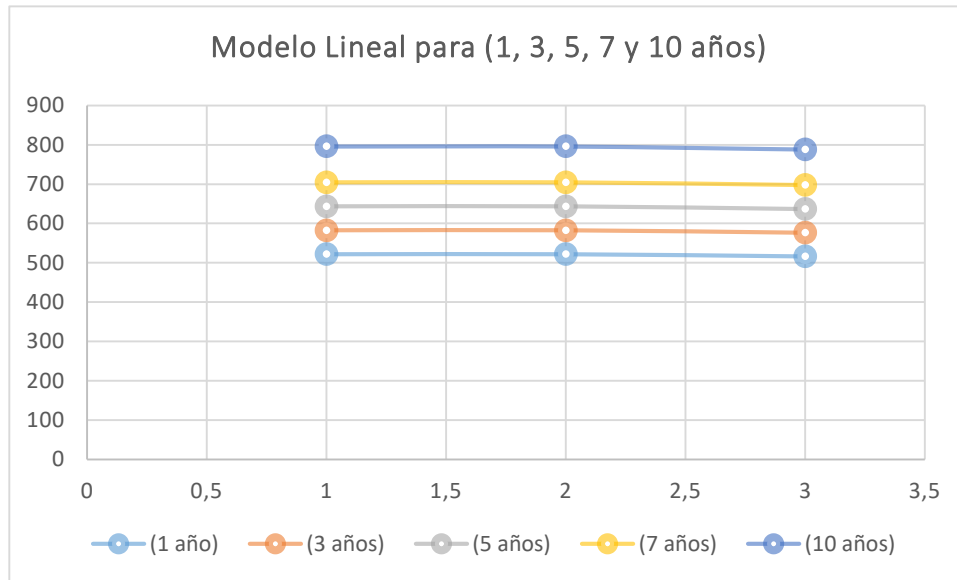
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 521 | 582 | 643 | 704 | 796 |
| 521 | 582 | 643 | 704 | 796 |
| 516 | 577 | 637 | 697 | 788 |



Ajuste lineal para 10 años

$$Y = -4.0525X + 801.31 \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste lineal para 7 años

$$Y = -3.5867X + 709.22 \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste lineal para 5 años

$$Y = -3.2762X + 647.82 \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste lineal para 3 años

$$Y = -2.9658X + 586.43 \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste lineal para 1 año

$$Y = -2.6553X + 525.03 \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste lineal con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles

tuvo un incremento haciéndonos notar que lo predominante en la gráfica por el incremento vehicular.

Serie temporal exponencial para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = To * e^{\left(\frac{i*t}{100}\right)}$$

Tf= Tráfico futuro (veh)

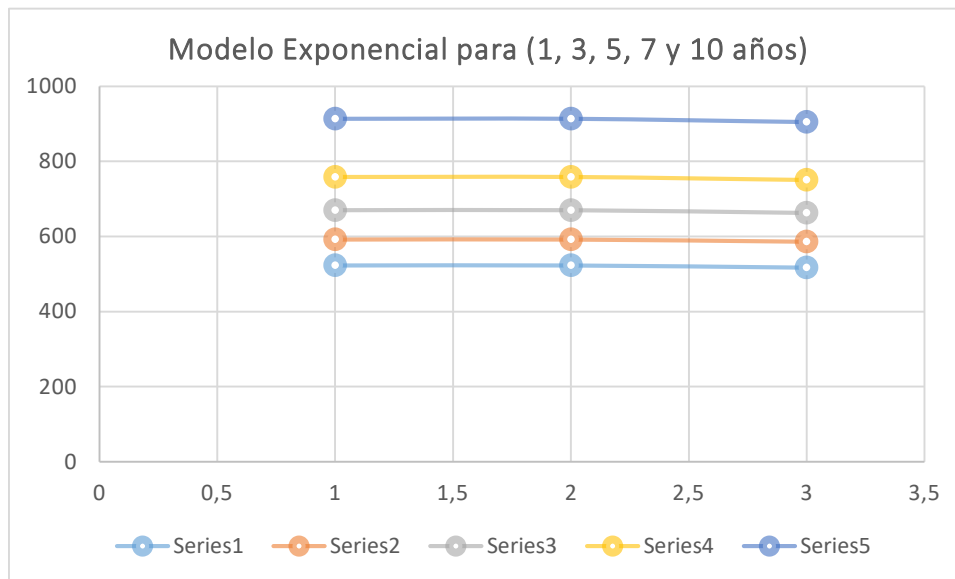
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 522 | 592 | 670 | 758 | 914 |
| 522 | 592 | 670 | 758 | 914 |
| 517 | 586 | 663 | 751 | 904 |



Ajuste exponencial para 10 años

$$Y = 919.9e^{-0.005x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste exponencial para 7 años $Y = 763.54e^{-0.005x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$

Ajuste exponencial para 5 años $Y = 674.36e^{-0.005x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$

Ajuste exponencial para 3 años $Y = 595.6e^{-0.005x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$

Ajuste exponencial para 1 año $Y = 526.04e^{-0.005x} \leftrightarrow R^2 = 0.75$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste exponencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un incremento haciéndonos notar que lo predominante en la gráfica por el incremento vehicular.

Serie temporal potencial para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = To * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t$$

Tf= Tráfico futuro (veh)

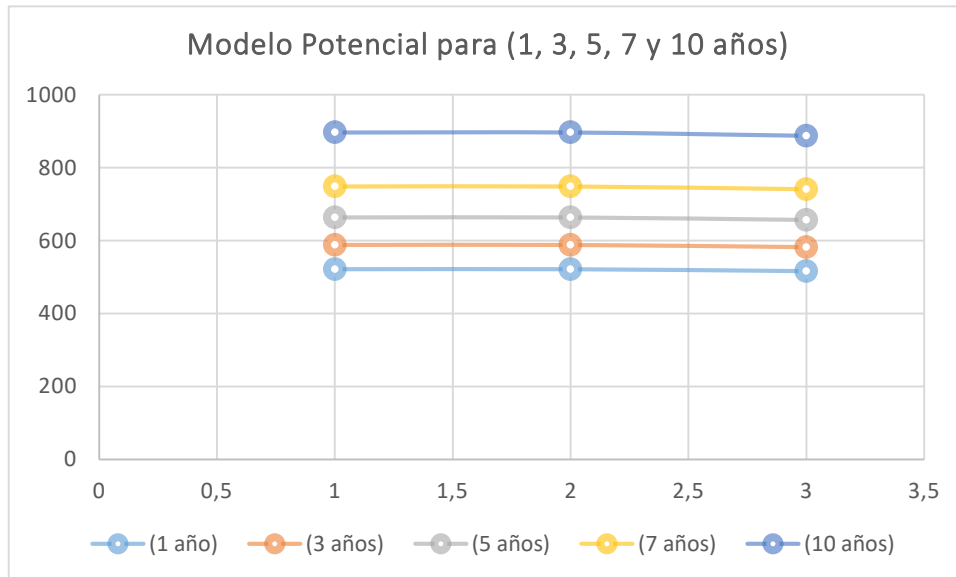
To= Tráfico inicial (veh)

i= Índice de crecimiento (%)

t= Número de años

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 521 | 588 | 664 | 749 | 897 |
| 521 | 588 | 664 | 749 | 897 |
| 516 | 582 | 657 | 741 | 888 |



Ajuste potencial para 10 años

$$Y = 898.28x^{-0.008} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$$

Ajuste potencial para 7 años

$$Y = 749.75x^{-0.008} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$$

Ajuste potencial para 5 años

$$Y = 664.63x^{-0.008} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$$

Ajuste potencial para 3 años

$$Y = 589.19x^{-0.008} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$$

Ajuste potencial para 1 año

$$Y = 522.3x^{-0.008} \leftrightarrow R^2 = 0.6108$$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste potencial con sus respectiva regresión podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un incremento haciéndonos notar que lo predominante en la gráfica por el incremento vehicular.

Serie temporal logarítmica para (1, 3, 5, 7 y 10 años) "salida"

$$Tf = e^{(KG*t + \ln To)}$$

Tf = Tráfico futuro (veh)

To= Tráfico inicial (veh)

KG= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

t= Número de años

$$KGi = \frac{\Delta \ln To}{\Delta t}$$

ΔT = Intervalo de tiempo del periodo intercensal

$\Delta \ln To$ = Diferencia de logaritmos del trafico inicial y final

KGi= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

$$KG = (KG1 * KG2 * \dots * KGN)^{\frac{1}{m}}$$

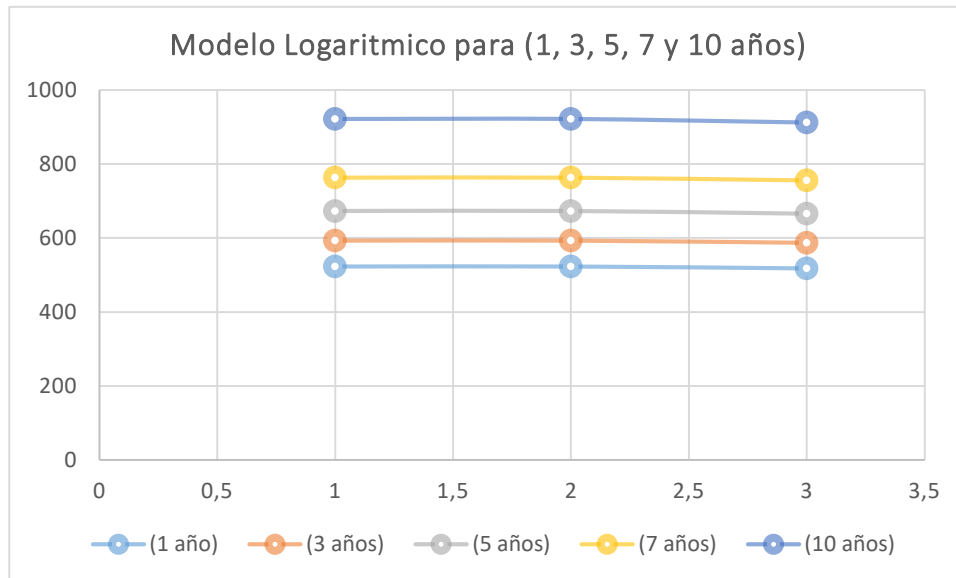
KG= Constante de proporcionalidad media de la ecuación

KG1=KG2=KGN= Ctte. De proporcionalidad media de la ecuación para 1 año

m= Número de estudios realizados

Proyecciones correspondientes:

| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
|---------|----------|----------|----------|-----------|
| 523 | 593 | 673 | 763 | 922 |
| 523 | 593 | 673 | 763 | 922 |
| 518 | 587 | 666 | 755 | 913 |



Ajuste logarítmico para 10 años $Y = -7.625 \ln(x) + 923.33 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste logarítmico para 7 años $Y = -6.312 \ln(x) + 764.32 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste logarítmico para 5 años $Y = -5.565 \ln(x) + 673.84 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste logarítmico para 3 años $Y = -4.906 \ln(x) + 594.06 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Ajuste logarítmico para 1 año $Y = -4.325 \ln(x) + 523.74 \leftrightarrow R^2 = 0.6108$

Los ajustes que realizamos a las gráficas tanto al ingreso lo realizamos con el fin de conocer el tráfico vehicular que tomará a futuro para los posteriores años mencionados y le adecuamos una ecuación de ajuste logarítmico con sus respectiva regresión

podemos observar un cambio en la gráfica debido a que el flujo vehicular en los días no hábiles tuvo un incremento haciéndonos notar que lo predominante en la gráfica por el incremento vehicular.

4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Primeramente para una mejor comprensión de los resultados adquiridos deberemos realizar un análisis por separado en ambos puntos de acceso e ingreso a la ciudad de Tarija, al norte en el Puente de Tomatitas tendremos una sola vía de acceso y salida a la ciudad de Tarija, al sur en la tranca del Portillo nos presentamos, tres vías de acceso de las cuales haremos notar lo siguiente, la vía de circulación (1) de ingreso y salida a la Ciudad de Tarija, la vía de circulación (2) de exclusivamente de uso de ingreso a la Ciudad de Tarija, la vía de circulación (3) de exclusivamente de uso de salida de la Ciudad de Tarija, por lo tanto habiendo aclarado la orientación, sentido y uso de las vías procederemos a presentar cuadros de los resultados de regresión por separado tanto al Norte y al Sur de la Ciudad de Tarija.

Ajustes realizados:

| Puente de Tomatitas | | |
|---------------------|----------------|-------------|
| Ingreso | Salida | Ajuste |
| $R^2 = 0.7817$ | $R^2 = 0.7813$ | Lineal |
| $R^2 = 0.7788$ | $R^2 = 0.7788$ | Exponencial |
| $R^2 = 0.6436$ | $R^2 = 0.6435$ | Potencial |
| $R^2 = 0.647$ | $R^2 = 0.6466$ | Logarítmico |

Con ayuda de los aforos pico vehiculares extraído anteriormente realizamos los diferentes series temporales, por ello observando vemos que el mejor ajuste es el lineal y exponencial para el ingreso y salida de la ciudad de Tarija debido a que el lugar de estudio es un punto de conflicto y de gran circulación vehicular.

Ajustes realizados:

| El Portillo Vía de circulación (1) | | |
|---|---------------|---------------|
| Ingreso | Salida | Ajuste |
| $R^2= 0.25$ | $R^2= 0.75$ | Lineal |
| $R^2= 0.2597$ | $R^2= 0.75$ | Exponencial |
| $R^2= 0.1408$ | $R^2= 0.6108$ | Potencial |
| $R^2= 0.1332$ | $R^2= 0.6108$ | Logarítmico |

Con ayuda de los aforos pico vehiculares extraído anteriormente realizamos los diferentes series temporales, y como indicamos anteriormente que en el acceso Sur nos encontraríamos con tres vías de acceso empezaremos indicando la primera la vía de circulación (1), donde observamos que el mejor ajuste para el ingreso es el lineal y para la salida el lineal y exponencial, todo esto debido a que esta vía vehicular es de menor uso de menor cantidad de flujo vehicular, podríamos decir que casi desierta y siendo muy poco el flujo vehicular en esta vía de ingreso y salida de la Ciudad de Tarija.

Ajustes realizados:

| El Portillo Vía de circulación (2) | |
|---|---------------|
| Ingreso | Ajuste |
| $R^2= 1$ | Lineal |
| $R^2= 1$ | Exponencial |
| $R^2= 0.9781$ | Potencial |
| $R^2= 0.9777$ | Logarítmico |

Con ayuda de los aforos pico vehiculares extraído anteriormente realizamos los diferentes series temporales, y como indicamos anteriormente que en el acceso Sur nos encontraríamos con tres vías de acceso empezaremos indicando la segunda que se trata de una vía únicamente de ingreso a la Ciudad de Tarija, ahora mediante la observación y estudio podemos observar que el mejor ajuste se encuentra en el lineal y exponencial dejando con mínima diferencia al ajuste potencial y al logarítmico, esto debido a que

nos encontramos de una vía de gran circulación vehicular de gran flujo automotor tanto liviano como pesado.

Ajustes realizados:

| El Portillo Vía de circulación (3) | |
|---|---------------|
| Salida | Ajuste |
| $R^2= 0.75$ | Lineal |
| $R^2= 0.75$ | Exponencial |
| $R^2= 0.6108$ | Potencial |
| $R^2= 0.6108$ | Logarítmico |

Con ayuda de los aforos pico vehiculares extraído anteriormente realizamos los diferentes series temporales, y como indicamos anteriormente que en el acceso Sur nos encontraríamos con tres vías de acceso donde finalizaremos indicando que se tratara de una vía de circulación únicamente de uso de salida de la Ciudad de Tarija donde por estudio, observación podemos ver que los mejor ajustes son los del lineal y el exponencial para la vía de circulación (3) esto debido que a lo largo del estudio pudimos entender que se trata de un punto de gran conflicto y de gran magnitud y volumen de flujo vehicular.

Al transcurso de lo vivido y realizado en los cálculos de proyecciones del tráfico vehicular en los puntos de acceso Sur y Norte de la Ciudad de Tarija pudimos entender la variación que puede existir del tráfico vehicular tanto debido en los días hábiles de estudio como los días no hábiles de estudio esto debido a la magnitud de variaciones que puede haber en el transcurso del transporte vehicular ya sea por temas mecánicos, sociales, económicos y de la misma población en un dicho lugar esto realizando cambios en el tráfico vehicular.

Como empezamos partiendo por el ajuste correspondiente de los diferentes modelos de Series Temporales en los diferentes accesos de ingreso y salida a la Ciudad de Tarija, ahora empezaremos a realizar el análisis del crecimiento vehicular debidamente separado tanto al sur y al norte de la Ciudad de Tarija tomando en cuenta las vías de

circulación para la extracción de un total de aforo en los puntos de estudio, además que se tomara en cuenta los ajustes en los diferentes modelos de series temporales para una mejor proyección del tráfico vehicular a futuro.

Acceso Norte – Puente de Tomatitas

| TOMATITAS INGRESO - MODELO LINEAL | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 644 | 719 | 794 | 869 | 982 |
| 639 | 713 | 788 | 863 | 975 |
| 526 | 588 | 649 | 711 | 803 |

| TOMATITAS SALIDA - MODELO LINEAL | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 535 | 598 | 660 | 723 | 817 |
| 531 | 593 | 656 | 718 | 811 |
| 445 | 497 | 549 | 601 | 679 |

| CRECIMIENTO VEHICULAR PREVISTO EN TOMATITAS | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 1179 | 1317 | 1454 | 1592 | 1799 |
| 1170 | 1306 | 1444 | 1581 | 1786 |
| 971 | 1085 | 1198 | 1312 | 1482 |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 1799 | Veh | 10 años | LINEAL |
| MÍNIMO | 971 | Veh | 1 año | LINEAL |

Dado que el mejor ajuste presente en el acceso norte es el lineal podemos apreciar el crecimiento vehicular que tomara a futuro.

| TOMATITAS INGRESO - MODELO EXPONENCIAL | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 645 | 730 | 826 | 936 | 1127 |
| 640 | 724 | 820 | 929 | 1119 |
| 527 | 597 | 676 | 765 | 922 |

| TOMATITAS SALIDA - MODELO EXPONENCIAL | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 536 | 607 | 687 | 778 | 937 |
| 532 | 603 | 682 | 773 | 931 |
| 446 | 505 | 571 | 647 | 779 |

| CRECIMIENTO VEHICULAR PREVISTO EN TOMATITAS | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 1181 | 1337 | 1513 | 1714 | 2064 |
| 1172 | 1327 | 1502 | 1702 | 2050 |
| 973 | 1102 | 1247 | 1412 | 1701 |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 2064 | Veh | 10 años | EXPON. |
| MÍNIMO | 973 | Veh | 1 año | EXPON. |

Podemos apreciar el segundo mejor ajuste que es el exponencial, donde apreciamos su respectivo crecimiento vehicular.

| TOMATITAS INGRESO - MODELO POTENCIAL | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 644 | 726 | 819 | 924 | 1107 |
| 639 | 720 | 813 | 917 | 1098 |
| 526 | 594 | 670 | 756 | 905 |

| TOMATITAS SALIDA - MODELO POTENCIAL | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 535 | 604 | 681 | 768 | 920 |
| 531 | 599 | 676 | 763 | 914 |
| 445 | 502 | 566 | 638 | 765 |

| CRECIMIENTO VEHICULAR PREVISTO EN TOMATITAS | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 1179 | 1330 | 1500 | 1692 | 2027 |
| 1170 | 1319 | 1489 | 1680 | 2012 |
| 971 | 1096 | 1236 | 1394 | 1670 |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 2027 | Veh | 10 años | POTEN. |
| MÍNIMO | 971 | Veh | 1 año | POTEN. |

Presentamos el cuarto mejor ajuste en el acceso norte que es el potencial presentando una notable diferencia en los ajustes de relación.

| TOMATITAS INGRESO - MODELO LOGARÍTMICO | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 645 | 732 | 830 | 942 | 1138 |
| 640 | 726 | 824 | 934 | 1129 |
| 528 | 599 | 679 | 770 | 930 |

| TOMATITAS SALIDA - MODELO LOGARÍTMICO | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 537 | 609 | 690 | 783 | 946 |
| 533 | 604 | 685 | 777 | 939 |
| 446 | 506 | 574 | 651 | 786 |

| CRECIMIENTO VEHICULAR PREVISTO EN TOMATITAS | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 1182 | 1341 | 1520 | 1725 | 2084 |
| 1173 | 1330 | 1509 | 1711 | 2068 |
| 974 | 1105 | 1253 | 1421 | 1716 |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|----------------|
| MÁXIMO | 2084 | Veh | 10 años | LOGART. |
| MÍNIMO | 974 | Veh | 1 año | LOGART. |

Finalizando en el acceso norte de la Ciudad de Tarija se presenta el ajuste logarítmico con una tercera posición de mejor ajuste, presentando sus respectivos crecimientos vehiculares.

Acceso Sur - El Portillo

| VÍA (1) - EL PORTILLO MODELO LINEAL "INGRESO" | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 83 | 93 | 102 | 112 | 126 |
| 86 | 96 | 106 | 116 | 131 |
| 80 | 89 | 98 | 108 | 122 |

| VÍA (1) - EL PORTILLO MODELO LINEAL "SALIDA" | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 13 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 13 |
| 4 | 5 | 5 | 6 | 6 |

| VÍA (2) - EL PORTILLO MODELO LINEAL "INGRESO" | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 445 | 497 | 549 | 601 | 679 |
| 447 | 499 | 552 | 604 | 682 |
| 449 | 502 | 554 | 607 | 686 |

| VÍA (3) - EL PORTILLO MODELO LINEAL "SALIDA" | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 521 | 582 | 643 | 704 | 796 |
| 521 | 582 | 643 | 704 | 796 |
| 516 | 577 | 637 | 697 | 788 |

| CRECIMIENTO VEHICULAR PREVISTO EN EL PORTILLO | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 1057 | 1181 | 1304 | 1428 | 1614 |
| 1062 | 1186 | 1311 | 1435 | 1622 |
| 1049 | 1173 | 1294 | 1418 | 1602 |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 1622 | Veh | 10 años | LINEAL |
| MÍNIMO | 1049 | Veh | 1 año | LINEAL |

Al encontrarnos en el acceso norte y ubicarnos con tres vías de circulación de ingreso y salida o de igual sentido los totales serán los crecimiento a futuro que tomara el tráfico vehicular en El Portillo, además que el ajuste lineal es el de mejor correlación de ajuste, con compañía del ajuste exponencial, que ambos presentaron idénticos ajustes de correlación.

| VÍA (1) - EL PORTILLO MODELO EXPONENCIAL "INGRESO" | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 83 | 94 | 106 | 120 | 145 |
| 86 | 98 | 110 | 125 | 151 |
| 80 | 90 | 102 | 116 | 140 |

| VÍA (1) - EL PORTILLO MODELO EXPONENCIAL "SALIDA" | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |

| VÍA (2) - EL PORTILLO MODELO EXPONENCIAL "INGRESO" | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 446 | 505 | 572 | 647 | 780 |
| 448 | 507 | 574 | 650 | 783 |
| 450 | 510 | 577 | 653 | 787 |

| VÍA (3) - EL PORTILLO MODELO EXPONENCIAL "SALIDA" | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 522 | 592 | 670 | 758 | 914 |
| 522 | 592 | 670 | 758 | 914 |
| 517 | 586 | 663 | 751 | 904 |

| CRECIMIENTO VEHICULAR PREVISTO EN EL PORTILLO | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 1060 | 1201 | 1359 | 1537 | 1854 |
| 1065 | 1207 | 1365 | 1545 | 1863 |
| 1051 | 1191 | 1347 | 1526 | 1838 |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 1863 | Veh | 10 años | EXPON. |
| MÍNIMO | 1051 | Veh | 1 año | EXPON. |

En el presente gráfico podemos apreciar el crecimiento a futuro por una serie temporal exponencial además de que la misma junto con la lineal son las que mejor se ajustan a este medio.

| VÍA (1) - EL PORTILLO MODELO POTENCIAL "INGRESO" | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 83 | 93 | 105 | 119 | 142 |
| 86 | 97 | 109 | 123 | 148 |
| 80 | 90 | 101 | 114 | 137 |

| VÍA (1) - EL PORTILLO MODELO POTENCIAL "SALIDA" | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 8 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 8 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 4 | 5 | 5 | 6 | 7 |

| VÍA (2) - EL PORTILLO MODELO POTENCIAL "INGRESO" | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 445 | 502 | 566 | 639 | 765 |
| 447 | 504 | 569 | 642 | 769 |
| 449 | 507 | 572 | 645 | 773 |

| VÍA (3) - EL PORTILLO MODELO POTENCIAL "SALIDA" | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 521 | 588 | 664 | 749 | 897 |
| 521 | 588 | 664 | 749 | 897 |
| 516 | 582 | 657 | 741 | 888 |

| CRECIMIENTO VEHICULAR PREVISTO EN EL PORTILLO | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 1057 | 1193 | 1346 | 1519 | 1819 |
| 1062 | 1199 | 1353 | 1526 | 1829 |
| 1049 | 1184 | 1335 | 1506 | 1805 |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 1829 | Veh | 10 años | POTEN. |
| MÍNIMO | 1049 | Veh | 1 año | POTEN. |

Podemos apreciar el crecimiento vehicular por medio de una serie potencial y cuyo ajuste se encuentra por debajo del lineal y la de exponencial, presentado la cantidad vehicular solo para aspecto de un análisis de resultados.

| VÍA (1) - EL PORTILLO MODELO LOGARÍTMICO "INGRESO" | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 83 | 94 | 107 | 121 | 146 |
| 86 | 98 | 111 | 126 | 152 |
| 80 | 91 | 103 | 117 | 141 |

| VÍA (1) - EL PORTILLO MODELO LOGARÍTMICO "SALIDA" | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 9 | 10 | 11 | 12 | 15 |
| 4 | 5 | 5 | 6 | 8 |

| VÍA (2) - EL PORTILLO MODELO LOGARÍTMICO "INGRESO" | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 446 | 506 | 574 | 651 | 787 |
| 448 | 509 | 577 | 654 | 790 |
| 451 | 511 | 580 | 657 | 794 |

| VÍA (3) - EL PORTILLO MODELO LOGARÍTMICO "SALIDA" | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 523 | 593 | 673 | 763 | 922 |
| 523 | 593 | 673 | 763 | 922 |
| 518 | 587 | 666 | 755 | 913 |

| CRECIMIENTO VEHICULAR PREVISTO EN EL PORTILLO | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| (1 año) | (3 años) | (5 años) | (7 años) | (10 años) |
| 1061 | 1203 | 1365 | 1547 | 1870 |
| 1066 | 1210 | 1372 | 1555 | 1879 |
| 1053 | 1194 | 1354 | 1535 | 1856 |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|-----------------|
| MÁXIMO | 1879 | Veh | 10 años | LOGARIT. |
| MÍNIMO | 1053 | Veh | 1 año | LOGARIT. |

Finalizando esta presentación del análisis de los resultados podemos apreciar el crecimiento vehicular logarítmico, aclarando que solo los modelos lineal y exponencial presentaron el mejor ajuste, y que los demás presentes resultados se encuentran para poder brindar la información necesaria o que sea necesitada.

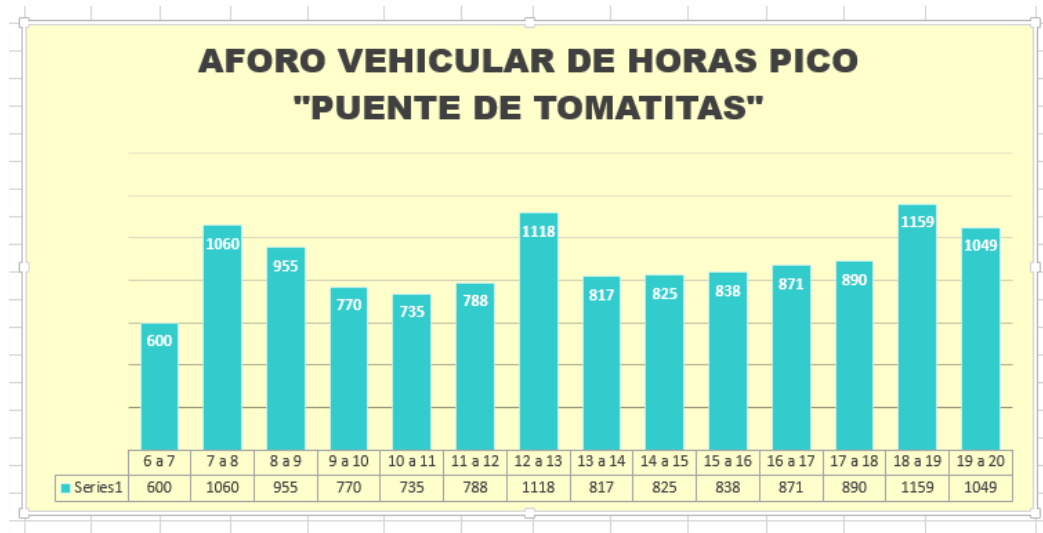
CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

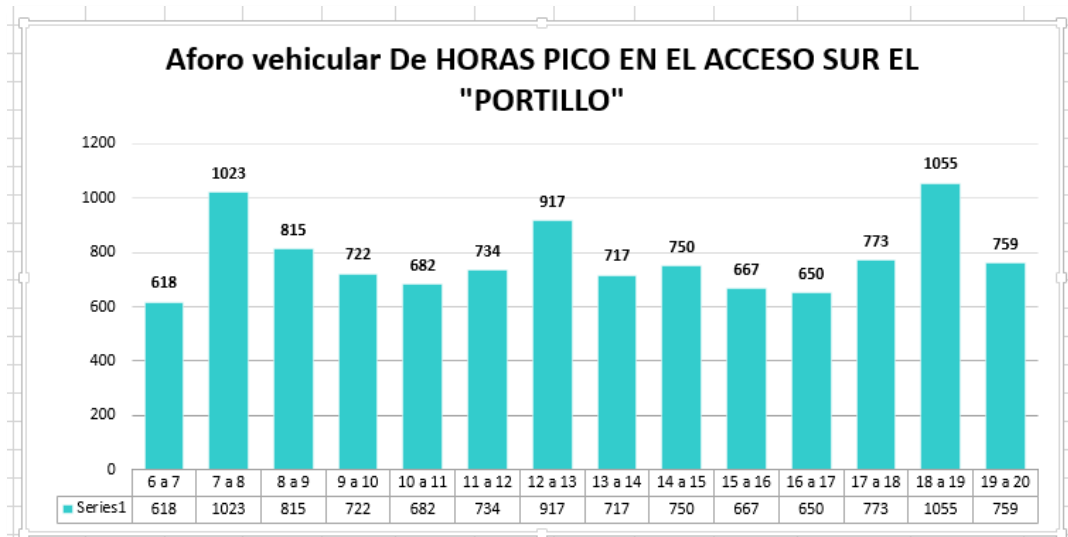
5.1 CONCLUSIONES

Al finalizar el estudio de este proyecto de grado se determinó las siguientes conclusiones respecto al estudio de la comparación de técnicas de series temporales aplicado a la salida sur y norte de la Ciudad de Tarija.

- ✓ La ubicación de los puntos de estudio y el conocimiento de la zona de estudio serán de vital importancia para la realización de una excelente recolección de aforos vehiculares para el éxito del proyecto.
- ✓ Se ponen en manifiesto la importancia de los estudios de los aforos de tráfico para conocer la situación de la circulación vehicular, conocer el congestionamiento o libre circulación vehicular en los puntos de acceso e ingreso a la Ciudad de Tarija.
- ✓ Para la obtención de un volumen vehicular más certero se trabajó con un estudio de aforos vehicular de 8 horas de estudio para la determinación de las horas pico de prioridad de congestionamiento vehicular en los puntos de acceso sur y norte de la Ciudad de Tarija.
- ✓ La normativa para la toma de datos de aforos de volúmenes de tráfico vehicular en el procedimiento normativo ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), requiere más tiempo en la toma de datos ya que establece que el aforo se debe realizar en tiempo de 24 horas en una semana como mínimo, tanto en vías interrumpidas como ininterrumpidas.
- ✓ Para la realización de este proyecto de grado se realizó con el procedimiento Normativo de la AASTHO (Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales), que exige menos tiempo en horas de aforo pero como mínimo de un mes en tres días de la semana siendo dos días hábiles y un día no hábil.



Gráfica de aforos durante 8 horas para la determinación de las horas pico ubicada en el Acceso Norte Puente de Tomatitas.



Gráfica de aforos durante 8 horas para la determinación de las horas pico ubicada en el Acceso Sur El Portillo.

- ✓ Dependiendo de la situación o de la misma fecha ya sea festiva o religiosa el tráfico vehicular puede variar significativamente del día de estudio hábil donde debería presentarse mayor cantidad de tráfico vehicular al día no hábil de estudio que para algunos son más tomados como días de reposo, reunión familiar por ello el estudio dependerá del buen desempeño del aforador como la de la misma fecha de estudio ya que pueden presentar variaciones.
- ✓ Los diferentes modelos de series temporales fueron aplicados y analizados comparativamente tanto en el mejor ajuste posible y el número de vehículos que había incrementado al aplicar diferentes modelos de series temporales para la proyección del tráfico vehicular a futuro, los ajustes tanto en el acceso norte como en el sur son leve diferencia, otorgando al acceso norte como mejor ajuste de proyección de tráfico al lineal con el exponencial, al sur también siendo notorio como mejor ajuste al lineal con el exponencial.

Ajustes realizados:

| Puente de Tomatitas | | |
|----------------------------|---------------|---------------|
| Ingreso | Salida | Ajuste |
| $R^2= 0.7817$ | $R^2= 0.7813$ | Lineal |
| $R^2= 0.7788$ | $R^2= 0.7788$ | Exponencial |
| $R^2= 0.6436$ | $R^2= 0.6435$ | Potencial |
| $R^2= 0.647$ | $R^2= 0.6466$ | Logarítmico |

Ajustes realizados:

| El Portillo Vía de circulación (1) | | |
|---|---------------|---------------|
| Ingreso | Salida | Ajuste |
| $R^2= 0.25$ | $R^2= 0.75$ | Lineal |
| $R^2= 0.2597$ | $R^2= 0.75$ | Exponencial |
| $R^2= 0.1408$ | $R^2= 0.6108$ | Potencial |
| $R^2= 0.1332$ | $R^2= 0.6108$ | Logarítmico |

Ajustes realizados:

| El Portillo Vía de circulación (2) | |
|------------------------------------|-------------|
| Ingreso | Ajuste |
| $R^2= 1$ | Lineal |
| $R^2= 1$ | Exponencial |
| $R^2= 0.9781$ | Potencial |
| $R^2= 0.9777$ | Logarítmico |

| El Portillo Vía de circulación (3) | |
|------------------------------------|-------------|
| Salida | Ajuste |
| $R^2= 0.75$ | Lineal |
| $R^2= 0.75$ | Exponencial |
| $R^2= 0.6108$ | Potencial |
| $R^2= 0.6108$ | Logarítmico |

- ✓ Realizando un estudio del tráfico proyecto a futuro para una breve inspección del crecimiento para el primer año y al décimo año para ver las similitudes que puedan presentarse, y aclarando para una mayor inspección de los volúmenes de tráfico vehicular para diferentes años se encuentran en el capítulo cuatro para una mejor inspección de todos ellos.

Acceso Norte – Puente de Tomatitas

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 1799 | Veh | 10 años | LINEAL |
| MÍNIMO | 971 | Veh | 1 año | LINEAL |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 2064 | Veh | 10 años | EXPON. |
| MÍNIMO | 973 | Veh | 1 año | EXPON. |

Acceso Sur – El Portillo

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 1622 | Veh | 10 años | LINEAL |
| MÍNIMO | 1049 | Veh | 1 año | LINEAL |

| | | | | |
|---------------|------|-----|---------|---------------|
| MÁXIMO | 1863 | Veh | 10 años | EXPON. |
| MÍNIMO | 1051 | Veh | 1 año | EXPON. |

- ✓ Habiendo finalizado el análisis de los resultados con ayuda de la proyección del tráfico vehicular mediante el uso de diferentes series temporales, obtuvimos los ajustes matemáticos que mejor se adecuan a nuestro medio para el acceso Norte de ingreso y salida Puente de Tomatitas y el acceso Sur de ingreso y salida El Portillo el cual cuenta con tres vías de circulación de estudio y gracias al estudio presentaremos los ajustes en los diferentes puntos de estudio.

Puente de Tomatitas

Estudio de ingreso:

$$\text{Ajuste lineal para 7 años } \rightarrow y = -79.148X + 972.57 \leftrightarrow R^2 = 0.7817$$

Estudio de salida:

$$\text{Ajuste lineal para 7 años } \rightarrow y = -60.975X + 802.37 \leftrightarrow R^2 = 0.7813$$

El Portillo

Vía de estudio (1) - ingreso

$$\text{Ajuste lineal para 7 años } \rightarrow y = -2.152X + 116.21 \leftrightarrow R^2 = 0.25$$

$$\text{Ajuste exponencial para 7 años } \rightarrow y = 125.23e^{-0.02X} \leftrightarrow R^2 = 0.2597$$

Vía de estudio (1) – salida

$$\text{Ajuste lineal para 7 años } \rightarrow y = -2.8694X + 15.303 \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

$$\text{Ajuste exponencial para 7 años } \rightarrow y = 19.614e^{-0.347X} \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Vía de estudio (2) – ingreso

$$\text{Ajuste lineal para 7 años } \rightarrow Y = 2.8694X + 598.27 \leftrightarrow R^2 = 1$$

$$\text{Ajuste exponencial para 7 años } \rightarrow Y = 644.08e^{0.0048X} \leftrightarrow R^2 = 1$$

Vía de estudio (3) – salida

$$\text{Ajuste lineal para 7 años } \rightarrow y = -3.5867X + 709.22 \leftrightarrow R^2 = 0.75$$

Ajuste exponencial para 7 años $\rightarrow y = 763.54e^{-0.005X} \leftrightarrow R^2 = 0.75$

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Para la realización de la toma de datos aforos recomendamos que se tenga conocimiento de la normativa de aplicación tanto para ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), como la de Normativo de la AASTHO (Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales), para su correspondiente y correcta aplicación.
- ✓ Se recomienda para vías ininterrumpidas se aconseja que se opte por la utilización del procedimiento normativo establecido AASTHO (Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales), ya que éste es más factible en el tiempo de aforo.
- ✓ Para la obtención de aforos debido a la dificultad que presenta se recomienda que la medición sea realizada con un mínimo de tres personas y un máximo de 5 personas dependiendo tanto la complejidad de la zona de estudio, como el estado emocional o fátiga acumulada para las mediciones de los aforos vehiculares.
- ✓ Promover por parte del ente rector de la administración del tránsito y la seguridad vial, la implementación del modelo para el sistema integrado de generación de datos y registro de información de los volúmenes de tránsito lo cual ayudara a los planificadores, diseñadores y ejecutores de proyectos viales tanto en el ámbito del tránsito, transporte y de infraestructura vial.