

2.3 TRÁFICO.

En esta sección mencionaremos algunos aspectos referentes al tráfico y a la ingeniería de tránsito que debemos tomar en cuenta en el proyecto de una vialidad. No se trata de realizar una presentación exhaustiva del transporte, pero sí conceptualizar de una manera muy general y clara sobre algunos de los aspectos de su estructura básica, sus sistemas y sus modos, de manera que el diseñador conozca los fundamentos de la ingeniería de tránsito y que cuando sea necesario profundizar en estos temas para completar el diseño de una vialidad, ya se tengan las bases y sea más fácil las consultas en publicaciones especializadas en el tema.

a). Ingeniería de Tránsito

El Instituto de Ingenieros del Transporte (ITE) define a la Ingeniería del Transporte y la Ingeniería de Tránsito de la siguiente manera:

Ingeniería de Transporte: Es la aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente.

Ingeniería de Tránsito: Es aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte.

Es decir que la Ingeniería de Tránsito es un subconjunto de la Ingeniería de Transporte, y a su vez el Proyecto Geométrico es una etapa de la Ingeniería de Tránsito.

El Proyecto Geométrico de calles y carreteras, es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, vialidad queda definida geoméricamente por el proyecto de su eje en planta (alineamiento horizontal) y en perfil (alineamiento vertical), y por el proyecto de su sección transversal.

b). Volumen de Tránsito

Al proyectar una calle ó carretera, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición.

Los errores que se cometan en la determinación de estos datos, ocasionará que la carretera o calle funcione durante el periodo de proyecto, bien con volúmenes de

tránsito muy inferiores a aquellos para los que se proyectó, ó mal con problemas de congestamiento por volúmenes de tránsito altos muy superiores a los proyectados.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos sobre puntos ó secciones específicas dentro de un sistema vial. Estos datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimaciones razonables de la calidad de servicio prestado a los usuarios.

Se define como volumen de tránsito al número de vehículos que pasan por un punto ó sección transversal dados, de un carril ó de una calzada, durante un periodo determinado y se expresa como:

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

Donde:

Q = Vehículos que pasan por unidad de tiempo (Vehículos / periodo).
N = Número total de vehículos que pasan (vehículos)
T = Período determinado (unidades de tiempo)

1 VOLÚMENES DE TRÁNSITO ABSOLUTOS Ó TOTALES.

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

- Tránsito anual (TA).

Es el número total de vehículos que pasan durante un año, en este caso $T = 1$ año.

- Tránsito mensual (TM).

Es el número total de vehículos que pasan durante un mes, en este caso $T = 1$ mes.

- Tránsito semanal (TS).

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana, en este caso $T = 1$ semana.

- Tránsito diario (TD).

Es el número total de vehículos que pasan durante un día, en este caso $T = 1$ día.

- Tránsito horario (TH).

Es el número total de vehículos que pasan durante una hora, en este caso $T = 1$ hora.

- Tasa de flujo ó flujo (q).

Es el número total de vehículos que pasan durante un período inferior a una hora, en esta caso $T < 1$ hora.

2 VOLÚMENES DE TRÁNSITO PROMEDIO DIARIOS.

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual ó menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo.

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

- Tránsito promedio diario anual (TPDA)

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

- Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

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

- Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

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

3 CARACTERISTICAS DE LOS VOLUMENES DE TRÁNSITO.

Los volúmenes de tránsito siempre deben ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el periodo de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características, para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar, y prever con la debida anticipación la actuación de las fuerzas dedicadas al control del tránsito y labor preventiva, así como las de conservación.

Por lo tanto, es fundamental, en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de máxima demanda, en las horas de día, en los días de la semana y en los meses del año. Aún más, también es importante conocer las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional y su composición.

Distribución y composición del volumen de tránsito.

La distribución de los volúmenes de tránsito por carriles debe ser considerada, tanto en el proyecto como en la operación de calles y carreteras. Tratándose de tres o más carriles de operación en un sentido, el flujo se asemeja a una corriente hidráulica. Así, al medir los volúmenes de tránsito por carril, en zona urbana, la mayor velocidad y

capacidad, generalmente se logran en el carril del medio; las fricciones laterales, como paradas de autobuses y taxis y las vueltas izquierdas y derechas causan un flujo más lento en los carriles extremos, llevando el menor volumen al carril cercano a la acera.

En carretera, a volúmenes bajos y medios suele ocurrir lo contrario, por lo que se reserva el carril cerca de la faja separadora central para vehículos más rápidos y para rebases, y se presentan mayores volúmenes en el carril inmediato al acotamiento. En autopistas de tres carriles con altos volúmenes de tránsito, rurales o urbanas, por lo general hay mayores volúmenes en el carril inmediato a la faja separadora central.

En cuanto a la distribución direccional, en las calles que comunican el centro de la ciudad con la periferia de la misma, el fenómeno común que se presenta en el flujo de tránsito es de volúmenes máximos hacia el centro en la mañana y hacia la periferia en las tardes y noches. Es una situación semejante al flujo y reflujo que se presenta los fines de semana cuando los vacacionistas salen de la ciudad el viernes y sábado y regresan el domingo en la tarde. Este fenómeno se presenta especialmente en arterias del tipo radial.

En cambio, ciertas arterias urbanas que comunican centros de gravedad importantes, no registran variaciones direccionales muy marcadas en los volúmenes de tránsito. Un ejemplo de éstos puede citarse en el caso del Anillo Periférico de la Ciudad de México, en su tramo entre el Viaducto y Naucalpan, donde la distribución direccional es bastante equilibrada, tanto en las horas de máxima demanda de la mañana, como en las de la tarde, es decir, no hay mucha diferencia entre los volúmenes en uno u otro sentido.

En los estudios de volúmenes de tránsito es muy útil conocer la composición y variación de los distintos tipos de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de autobuses y de camiones. En los países más adelantados, con un mayor grado de motorización, los porcentajes de autobuses y camiones en los volúmenes de tránsito son bajos.

En cambio, en países con menor grado de desarrollo, el porcentaje de estos vehículos grandes y lentos es mayor. En nuestro medio, como es el caso de México, a nivel rural, es muy común encontrar porcentajes típicos o medios del orden de 60% automóviles, 10% autobuses y 30% camiones, con variaciones de $\pm 10\%$, dependiendo del tipo de carretera, la hora del día y el día de la semana.

Variación diaria del volumen de tránsito.

Se han estudiado cuáles son los días de la semana que llevan los volúmenes normales de tránsito. Así, para carreteras principales de lunes a viernes los volúmenes son muy estables los máximos, generalmente se registran durante el fin de semana, ya sea el sábado o el domingo, debido a que durante estos días por estas carreteras circula una alta demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional.

En carreteras secundarias de tipo agrícola, los máximos volúmenes se presentan entre semana. En las calles de la ciudad, la variación de los volúmenes de tránsito diario no es muy pronunciada entre semana, esto es que están más o menos distribuidos en los días laborales, sin embargo, los más altos volúmenes ocurren el viernes. También vale

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

Variación mensual del volumen de tránsito.

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

4 VOLÚMENES A FUTURO.

Relación entre los volúmenes de tránsito promedio diario, anual y semanal.

El comportamiento de cualquier fenómeno ó suceso estará naturalmente mucho mejor caracterizado cuando se analiza todo su universo. En este caso, el tamaño de su población está limitada en el espacio y en el tiempo por las variables asociadas al mismo.

Con respecto a volúmenes de tránsito, para obtener el tránsito promedio diario anual, TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en periodos horarios, diarios, semanales ó mensuales. Muchas veces esta información anual es difícil de obtener, al menos en todas las vialidades por los costos que ello implica, sin embargo se pueden obtener datos en las casetas de cobro para las carreteras de cuota y mediante contadores automáticos instalados en estaciones maestras de la gran mayoría de las carreteras de la red vial primaria de la nación.

En estos casos, muestras de los datos sujetas a las mismas técnicas de análisis permiten generalizar el comportamiento de la población. No obstante, antes de que los resultados se puedan generalizar, se debe analizar la variabilidad de la muestra para así estar seguros, con cierto nivel de confiabilidad, que ésta se puede aplicar a otro número de casos no incluidos, y que forman parte de las características de la población.

Por lo anterior, en el análisis de volúmenes de tránsito, la media poblacional o tránsito promedio diario anual, TPDA, se estima con base en la media muestral ó tránsito promedio diario semanal, TPDS, según la siguiente expresión:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

Donde:

A = Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

El valor de A, sumado ó restado del TPDS, define el intervalo de confianza dentro del cuál se encuentra el TPDA. Para un determinado nivel de confianza, el valor de A es:

$$A = K E$$

Donde:

K = Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado.

E = error estándar de la media

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras, tomadas de la misma población, se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional con una desviación estándar equivalente al error estándar. Por lo tanto también se puede expresar que:

$$E = \sigma'$$

Donde:

σ' = estimador de la desviación estándar poblacional (σ)

$$\sigma' = \frac{S}{(n)^{1/2}} \left(\frac{(N - n)}{(N - 1)} \right)^{1/2}$$

Donde:

S = Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito ó desviación estándar muestral.

n = Tamaño de la muestra en número de días del aforo.

N = Tamaño de la población en número de días del año.

La desviación estándar muestral, S, se calcula como:

$$S = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Td_i - TPDS)^2}{n - 1} \right)^{1/2}$$

Donde:

TD_i = Volumen de tránsito del día i.

Finalmente la relación entre los volúmenes de tránsito promedio diario anual y semanal es:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

$$TPDA = TPDS \pm K E$$

$$TPDA = TPDS \pm K \sigma'$$

Pronóstico del volumen de tránsito futuro.

El Pronóstico del volumen de tránsito futuro, por ejemplo el TPDA del año de proyecto, en el mejoramiento de una carretera existente o en la construcción de una nueva carretera, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en los incrementos del tránsito que se espera utilicen la nueva carretera.

Tránsito actual.

El tránsito actual (TA) es el volumen de tránsito que usará la carretera mejorada o la nueva carretera en el momento de quedar completamente en servicio. En el mejoramiento de una carretera existente, el tránsito actual se compone del tránsito existente (TE) antes de la mejora, más el tránsito atraído (TAt) a ella de otras carreteras una vez finalizada su reconstrucción total. En el caso de la apertura de una nueva carretera, el tránsito actual se compone completamente de tránsito atraído.

El tránsito actual (TA) se puede establecer a partir de aforos vehiculares sobre las vialidades de la región que influyan en la nueva carretera, estudios de origen y destino, ó utilizando parámetros socioeconómicos que se identifiquen plenamente con la economía de la zona. En áreas rurales cuando no se dispone de estudios de origen y destino ni datos de tipo económico, para estudios preliminares es suficiente la utilización de las series históricas de los aforos vehiculares en términos de los volúmenes de tránsito promedio diario anual (TPDA) representativos de cada año. De esta manera, el tránsito actual (TA) se expresa como:

$$TA = TE + TAt$$

Para la estimación del tránsito atraído (TAt) se debe tener un conocimiento completo de las condiciones locales, de los orígenes y destinos vehiculares y del grado de atracción de todas las vialidades comprendidas. A su vez, la cantidad de tránsito atraído depende de la capacidad y de los volúmenes de las carreteras existentes, así por ejemplo, si están saturadas ó congestionadas, la atracción será mucho más grande. Los usuarios, componentes del tránsito atraído a una nueva carretera, no cambian ni su origen, ni su destino, ni su modo de viaje, pero la eligen motivados por una mejora en los tiempos de recorrido, en la distancia, en las características geométricas, en la comodidad y en la seguridad. Como no se cambia su modo de viaje, a este volumen de tránsito también se le denomina tránsito desviado.

Incremento del tránsito.

El incremento del tránsito (IT) es el volumen de tránsito que se espera use la nueva carretera en el año futuro seleccionado como de proyecto. Este incremento se compone del crecimiento normal del tránsito (CNT) del tránsito generado (TG) y del tránsito desarrollado (TD).

El crecimiento normal del tránsito (CNT) es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento normal en el uso de los vehículos. El deseo de las personas por moverse, la flexibilidad ofrecida por el vehículo y la producción industrial de más vehículos cada día, hacen que esta componente del tránsito siga aumentando. Sin embargo, deberá tenerse gran cuidado en la utilización de los indicadores del crecimiento del parque vehicular nacional para propósitos de proyecto, ya que no necesariamente reflejan las tasas de crecimiento en el área local bajo estudio, aunque se ha comprobado que existe cierta correlación entre el crecimiento del parque vehicular y el crecimiento del TPDA.

El tránsito generado (TG) consta de aquellos viajes vehiculares, distintos a los del transporte público, que no se realizarían si no se construye la nueva carretera. El tránsito generado se compone de tres categorías: el tránsito inducido, o nuevos viajes no realizados previamente por ningún modo de transporte; el tránsito convertido, o nuevos viajes que previamente se hacían masivamente en taxi, autobús, tren, avión o barco, y que por razón de la nueva carretera se harían en vehículos particulares; y el tránsito trasladado, consistente en viajes previamente hechos a destinos completamente diferentes, atribuibles a la atracción de la nueva carretera y no al cambio en el uso del suelo. Al tránsito generado se le asignan tasas de incremento entre el 5 y el 25 % del tránsito actual, con un periodo de generación de uno ó dos años después de que la carretera ha sido abierta al servicio.

El tránsito desarrollado (TD) es el incremento del volumen de tránsito debido a las mejoras en el suelo adyacente a la carretera. A diferencia del tránsito generado, el tránsito desarrollado continua actuando por mucho años después que la nueva carretera ha sido puesta al servicio. El incremento del tránsito debido al desarrollo normal del suelo adyacente forma parte del crecimiento normal del tránsito, por lo tanto, éste no se considera como una parte del tránsito desarrollado. Pero la experiencia indica que en carreteras construidas con altas especificaciones, el suelo lateral tiende a desarrollarse más rápidamente de lo normal, generando valores del orden del 5 % del tránsito actual.

El incremento del tránsito (IT) se expresa así:

$$IT = CNT + TG + TD$$

Tránsito a futuro.

Los volúmenes de tránsito futuro (TF), para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual (TA) y del incremento del tránsito (IT), esperado al final del periodo ó año meta seleccionado. De acuerdo a esto, se puede plantear la siguiente expresión:

$$TF = TA + IT$$

Sustituyendo en la ecuación del tránsito futuro (TF), encontramos que:

$$\begin{aligned} TF &= TA + IT \\ TF &= (TE + TAt) + (CNT + TG + TD) \end{aligned}$$

En la figura 2.3-1 se presenta de manera gráfica los componentes del volumen de tránsito futuro.

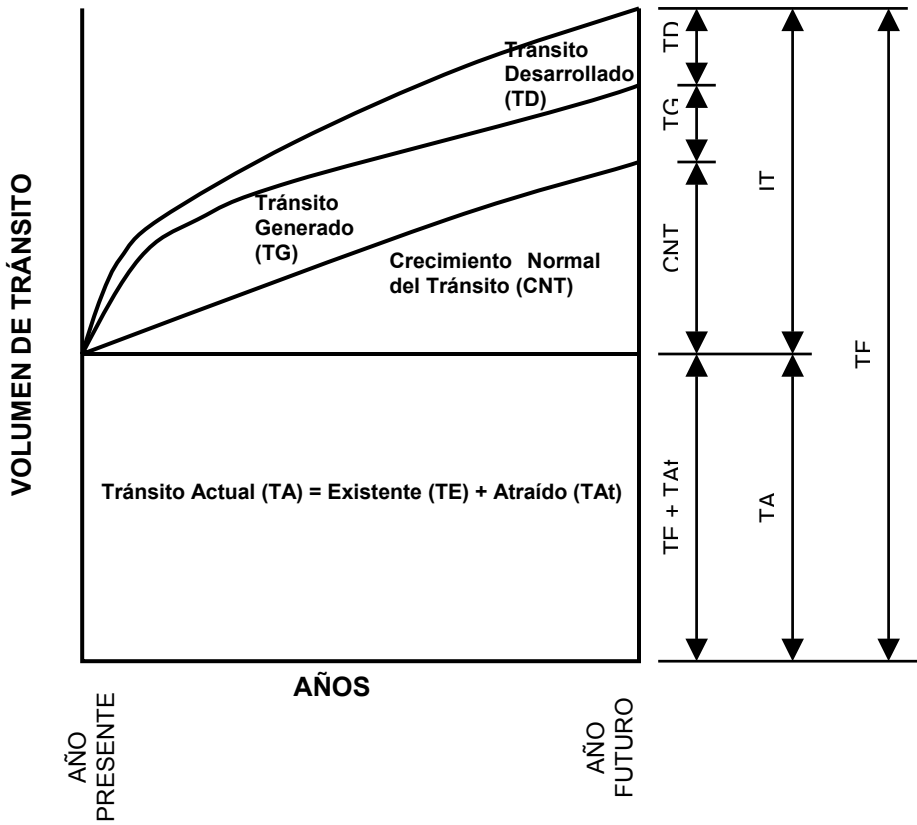


Figura 2.3-1 Componentes del volumen de tránsito futuro.