

TEMA 05: INGENIERÍA DE TRÁNSITO

5.1 CLASIFICACION DE LA RED VIAL

EN EL ÁMBITO NACIONAL

Según el manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG 2001) aprobado por el MTC, se clasifica la Red Vial Nacional según su función, de acuerdo a la demanda o según sus condiciones orográficas, es así que:

- a) **Según su función**, la Red Vial Nacional se clasifica en tres grandes Rubros:
- Red Vial Primaria o Red Vial Nacional, que esta conformada por carreteras que unen las principales ciudades de la nación con puertos y fronteras;
 - Red Vial Secundaria o Red Vial Departamental, que esta constituida por la red vial circunscrita principalmente en la zona de un departamento, división política de la nación o en zonas de influencia económica, estas constituyen redes troncales departamentales;
 - Red Vial Terciaria o Red Vecinal, que esta compuesta por caminos troncales vecinales que unen pequeñas poblaciones.
- b) **De acuerdo a la Demanda**, tenemos:
- Autopistas, carreteras con un IMDA superior a 4000 veh/día, de calzadas separadas, con uno o más carriles, con control total de accesos (ingreso y salida) que proporcional flujo vehicular completamente continuo.
 - Carreteras Duales o multicarril, carreteras con un IMDA superior a 4000 veh/día, de calzadas separadas, con uno, dos o más carriles; con control parcial de accesos.
 - Carreteras de 1ra Clase, son aquellas con un IMDA entre 4000 a 2001 veh/día de una calzada de dos carriles (DC)
 - Carreteras de 2da Clase, son aquellas de una calzada de dos carriles (DC) que soportan un IMDA de 2000 a 401 veh/día.
 - Carreteras de 3ra Clase, son aquellas de una calzada que soportan un IMDA menor a 400 veh/día
 - Trochas carrozables, es la categoría mas baja de camino transitable para vehículos automotores, construido con un mínimo movimiento de tierras, que el permite el paso de un solo vehículo.
- c) **Según su condiciones Orográficas**, se subdividen en cuatro
- Tipo 1, permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que los vehículos ligeros. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es menor o igual a 10%

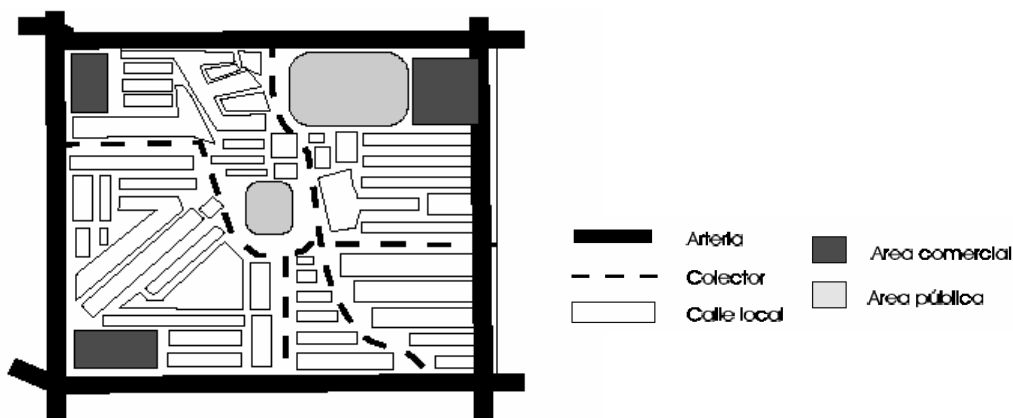
- Tipo 2, es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir velocidades significativamente por debajo de las de los vehículos de pasajeros, sin ocasionar el que aquellos operen a velocidades sostenidas en rampa por un intervalo de tiempo largo. La inclinación transversal del terreno normal al eje de la vía, varía entre 10 y 50%.
- Tipo 3, es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir a velocidad sostenida en rampa durante distancias considerables o a intervalos frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, varía entre 50 y 100%.
- Tipo 4, es la combinación de alineamiento horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en rampa que aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes. La inclinación transversal del terreno, normal al eje de la vía, es mayor de 100%.

EN EL ÁMBITO URBANO

Un sistema vial completamente funcional provee para una serie de movimientos de distintas características dentro de un viaje. Hay seis etapas dentro de la mayoría de los viajes: movimiento principal, transición, distribución, colección, acceso y final.

La jerarquía de movimientos en áreas urbanas se ilustra en la Figura 1. Sin embargo, la clasificación de vialidades es un poco complicada en áreas urbanas, ya que debido a la alta densidad y usos de suelo, los centros específicos de generación de viajes son muy difíciles de identificar; por lo tanto se deben tomar en cuenta consideraciones adicionales, tales como continuidad de las vialidades, distancia entre intersecciones, accesibilidad, de manera de poder definir una red lógica y eficiente.

Figura 1.- Jerarquía de movimientos en Red Vial Urbana



Clasificación Funcional de Sistemas Viales Urbanos

Los cuatro sistemas funcionales de vialidades para áreas urbanas son las arterias principales y las arterias menores (vialidad primaria), los colectores (vialidad secundaria) y las calles locales.

a) Sistema de Arterias Urbanas Principales

Este tipo de sistema sirve a los mayores centros de actividad en áreas urbanas, los corredores con los más altos volúmenes vehiculares, los deseos de viaje mas largos y lleva una proporción alta de la totalidad de los viajes urbanos a pesar de que constituyen un pequeño porcentaje de la red vial total de la ciudad.

Este tipo de sistemas incluyen autopistas y arterias principales con control de acceso parcial o sin control de acceso.

b) Sistema de Arterias Urbanas Menores

Este sistema se interconecta y complementa al sistema anterior. Incluye a todas las arterias no clasificadas como principales. Este sistema pone mas énfasis en acceso y ofrece menos movilidad de tránsito que el sistema inmediatamente superior. Este sistema puede servir a rutas de autobuses locales y proveer continuidad entre comunidades, pero idealmente, no debería penetrar vecindarios.

c) Sistema de Colectores Urbanos

Este sistema provee acceso y circulación de tránsito dentro de vecindarios residenciales, áreas comerciales e industriales. Este sistema colecta tránsito de calles locales y los canaliza hacia el sistema de vialidades primarias.

d) Sistema de Calles Locales

Este sistema permite acceso directo a generadores de viajes, conectándolos con los sistemas de vialidades superiores. Ofrece el nivel mas bajo de movilidad y por lo general, no debiera llevar rutas de autobuses (por deficiencias en los sistemas viales de nuestras ciudades, esto muchas veces no se cumple).

5.2 TIPOS DE VEHÍCULOS

En nuestro país contamos con un Reglamento Nacional de Vehículos, el mismo que fue aprobado por Decreto Supremo N° 058-2003-MTC del 12 de octubre de 2003, con el objeto de establecer los requisitos y características técnicas que deben cumplir los vehículos, para que ingresen, se registren, transiten, operen y se retiren del Sistema Nacional de Transporte Terrestre.

Los requisitos y características técnicas establecidas en el reglamento están orientadas a la protección y seguridad de las personas, los usuarios del transporte y del tránsito terrestre, así como la protección del medio ambiente y el resguardo de la infraestructura vial.

Todo vehículo que transita por el Sistema Nacional de Transporte Terrestre debe ser identificado de acuerdo a los parámetros establecidos en el Anexo I de la norma, a continuación presentamos un pequeño resumen:

a) VIN (Vehicle identification Number)

Es el número de identificación Vehicular constituido por 17 caracteres, asignado y consignado por el fabricante conforme a lo dispuesto en la Norma Técnica de ITINTEC 383.031 i norma ISO 3780, de acuerdo a lo siguiente:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Identificación Mundial del Fabricante			Corresponden a la sección descriptiva del Vehículo (VDS)						Corresponden a la sección indicativa del Vehículo (VIS)							

b) Número de Chasis o serie

Identifica al Chasis de los vehículos. El fabricante debe grabar este número en el chasis, bastidor o carrocería y, adicionalmente, debe consignarlo en una placa fija en el vehículo.

c) Número de Motor

Identifica al motor de los vehículos, debiendo ser consignado en el motor por el fabricante del mismo.

d) Categorías

Categoría L.- Vehículos Automotores con menos de cuatro ruedas

L1	Vehículos de dos ruedas, hasta 50 cm ³ y velocidad máxima de 50 Km/h
L2	Vehículos de tres ruedas, hasta 50 cm ³ y velocidad máxima de 50 Km/h
L3	Vehículos de dos ruedas, de más de 50 cm ³ o velocidad mayor a 50 Km/h
L4	Vehículos de tres ruedas asimétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm ³ o velocidad mayor a 50 Km/h
L5	Vehículos de tres ruedas asimétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm ³ o velocidad mayor a 50 Km/h y cuyo peso bruto vehicular no exceda de una tonelada.

Categoría M.- Vehículos Automotores con menos de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de pasajeros.

M1	Vehículos de ocho asientos o menos, sin contar con el asiento del conductor
----	---

M2	Vehículos de ocho asientos o menos, sin contar con el asiento del conductor y peso bruto vehicular de 5 toneladas o menos
M3	Vehículos de ocho asientos o menos, sin contar con el asiento del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 toneladas.

Los vehículos de las categorías M2 y M3, a su vez de acuerdo a la disposición de pasajeros se clasifican en:

- Clase I: Vehículos contruidos con áreas para pasajeros de pie permitiendo el desplazamiento frecuente de éstos.
- Clase II: Vehículos contruidos principalmente para el transporte de pasajeros sentados y también diseñados para permitir el transporte de pasajeros de pie en el pasadizo y/o en un área que no excede el espacio previsto para dos asientos dobles.
- Clase III: Vehículos contruidos exclusivamente para el transporte de pasajeros sentados.

Categoría N.- Vehículos Automotores con menos de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de mercancías.

N1	Vehículos de peso bruto vehicular de 3.5 toneladas o menos
N2	Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 3.5 toneladas hasta 12 toneladas.
N3	Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 12 toneladas

Categoría O.- Remolques (incluido semiremolques).

O ₁	Remolques de peso bruto vehicular de 0.75 toneladas o menos
O ₂	Remolques de peso bruto vehicular de más de 0.75 toneladas hasta 3.5 toneladas
O ₃	Remolques de peso bruto vehicular de más de 3.5 toneladas hasta 10 toneladas
O ₄	Remolques de peso bruto vehicular de más de 10 toneladas

Pesos y Medidas Máximas Permitidas

En el Anexo N° 01, se presenta todos los tipos de vehículos con el detalle de pesos y medidas Máximas permitidas.

Algunas Definiciones Importantes

Camión:	Vehículo automotor de la categoría N, destinado exclusivamente para el transporte de mercancías con un peso bruto vehicular mayor o igual a 4000 Kg. Puede incluir una carrocería o estructura portante.
Carrocería:	Estructura que se instala sobre el chasis o estructura autoportante, para el transporte de personas y/o mercancías.
Eje:	Elemento mecánico que sirve de soporte del vehículo, aloja a las ruedas y permite la movilidad del mismo.
Eje de Tracción:	Eje que trasmite la fuerza de tracción
Eje direccional:	Eje a través del cual se aplica los controles de dirección del vehículo.
Eje no motriz:	Eje que soporta carga y no transmite la fuerza de tracción, es decir las ruedas giran libremente.
Eje Retractil	Eje que puede dejar de tener contacto con la superficie de la vía mediante dispositivos mecánicos, hidráulicos o neumáticos.
Eje simple:	Eje que no forma un conjunto de ejes, es decir, se considera como tal, cuando la distancia entre centro y centro del eje más próximo es superior a 2.40 m. Puede ser motriz o no, direccional o no, anterior, central o posterior.
Eje doble:	Conjunto de dos (2) ejes motrices o no, separados a una distancia entre centros de ruedas superior a 1.20 m e inferior a 2.40 m.
Eje Triple:	Conjunto de tres (3) ejes motrices o no, separados una distancia entre centro de ruedas externas superior a 2.40 m e inferior a 3.60 m.
Omnibus	Vehículo motorizado de la categoría M3, con un peso neto no menor a 4000 Kg y un peso bruto vehicular superior a los 1200 Kg.
Vehículo	Medio capaz de desplazamiento pudiendo ser motorizado o no, que sirve para transportar personas o mercancías.
Vehículo articulado	Conjunto de vehículos acoplados, siendo uno de ellos motorizado.
Vehículo combinado	Combinación de dos o mas vehículos siendo el primero un vehículo automotor y los demás remolcados.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y SU EFECTO EN EL FLUJO VEHICULAR

Existen varios factores que influyen o afectan el flujo vehicular, entre ellos podemos mencionar: las características geométricas de la vía (ancho, pendiente, curvatura), tipo de superficie (trocha, afirmado, tratamiento superficial, carpeta asfáltica), deterioros en la vía (baches, hudimientos, ahuellamientos, etc) y la señalización o dispositivos de control de tránsito tales como semáforos y señales restrictivas.

Características Geométricas de la Vía

Las características geométricas de la vía esta directamente relacionadas con la capacidad de la vía, con el tipo de vehículos que circularán por ella y con la velocidad de circulación. El ancho de los carriles, la altura libre existente en las estructuras bajo las que pasa la vía, así como otras características geométricas de la misma, limitan las dimensiones de los vehículos. De la misma manera, estas dimensiones imponen unas características geométricas mínimas a la vía.

La interdependencia entre la vía y el vehículo, tiene también lugar en lo referente a los pesos totales o por eje que afectan esencialmente al tipo y resistencia de los pavimentos y a la resistencia de las estructuras.

El ancho, la separación entre ejes y la longitud total del vehículo determinan un radio mínimo de giro; es así que para diseñar una vía es indispensable conocer el radio de la curva descrita por la rueda interior trasera o radio interior de los vehículos tipo que circularán por dicha vía.

Tipo de Superficie

La superficie de rodadura es un factor que influye directamente en el tráfico, es así que la velocidad que desarrolla un vehículo que circula por una trocha carrozable, difiere tremendamente de la velocidad que este pueden desarrollar al circular en una vía pavimentada.

Según el MTC, a diciembre del 2004, la Red Vial Nacional tiene una extensión de 78,554.04 Km y esta compuesta por 17,094.65 Km de vías nacionales 14,595.75 Km de vías departamentales y 46,863.64 Km de vías departamentales. De los 78,554 Km sólo están asfaltados 11,074 Km, es decir el 14.1% del total de la Red Vial y el 51.8% de la red Vial Nacional.

Cuadro N° .- Longitud de la Red Vial por Tipo de Superficie de Rodadura

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA Y SISTEMA DE CARRETERA	LONGITUD DE LA RED VIAL					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
TOTAL	78,127	78,213	78,252	78,319	78,397	78,554
NACIONAL	16,967	17,053	17,091	17,158	16,857	17,095
DEPARTAMENTAL	14,251	14,251	14,251	14,251	14,251	14,596
VECINAL	46,909	46,909	46,909	46,910	47,289	46,864

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA Y SISTEMA DE CARRETERA	LONGITUD DE LA RED VIAL					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
ASFALTADO	10,189	10,574	10,745	11,044	10,038	11,074
NACIONAL	8,141	8,523	8,693	8,989	7,990	8,857
DEPARTAMENTAL	1,106	1,106	1,105	1,105	1,106	1,240
VECINAL	942	945	947	950	942	976
AFIRMADO	18,533	18,719	18,802	18,947	18,616	17,097
NACIONAL	6,640	6,762	6,816	6,911	6,642	7,184
DEPARTAMENTAL	6,015	6,037	6,047	6,064	6,015	5,137
VECINAL	5,878	5,921	5,940	5,973	5,959	4,776
SIN AFIRMAR	13,809	13,373	13,179	12,839	13,945	14,028
NACIONAL	1,860	1,502	1,342	1,063	1,899	912
DEPARTAMENTAL	4,291	4,276	4,269	4,257	4,291	5,060
VECINAL	7,658	7,596	7,568	7,519	7,755	8,055
TROCHA	35,596	35,548	35,526	35,488	35,797	36,356
NACIONAL	326	267	241	195	326	141
DEPARTAMENTAL	2,839	2,833	2,830	2,826	2,839	3,159
VECINAL	32,431	32,448	32,455	32,468	32,632	33,056

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones -MTC

Deterioros en la vía

El estado de conservación de la superficie de rodadura influye en la velocidad y en la seguridad de circulación de los vehículos; por ejemplo, la existencia de baches puede ocasionar accidentes de tránsito.

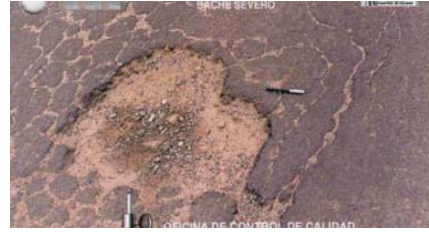
Entre los deterioros mas frecuentes podemos mencionar:

a) Deterioros de la Superficie

Bache con Pérdida de Base

Es la desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.





Exudación de Asfalto

Consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.



b) Deformaciones

Ahuellamientos

Es la deformación permanente longitudinal a lo largo de los carriles del tránsito y donde el largo es superior a 80 cm. Estas se pueden producir en uno o los dos carriles de rodadura.



Canalizaciones

Deformación del perfil transversal, tanto por hundimiento a lo largo de los ahuellamientos como por elevación de las áreas vecinas adyacentes a las huellas. Las deformaciones presentan una configuración más amplia que los ahuellamientos.



Ondulaciones

Deformaciones del perfil longitudinal con crestas y valles regularmente espaciados a distancias cortas. Generalmente están acompañadas, en los sitios críticos, por grietas semicirculares.





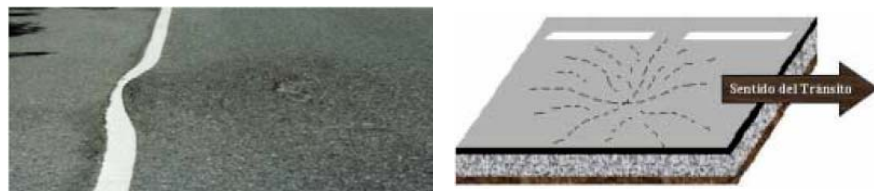
Hinchamiento

Abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.



Hundimiento

Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo.



En vías No pavimentadas, tenemos:

Huecos:

Los huecos resultan de aguas estancadas en la superficie de la carretera. El tráfico favorece su desarrollo. Generalmente, estorban a los vehículos cuando su tamaño alcanza el orden de 0.20 m. Su calificación resulta del tipo de las medidas correctivas requeridas (mantenimiento rutinario, recapeo o reconstrucción).



Encalaminado:

Se trata de ondulaciones de la superficie. Resultan de la acción de las vibraciones transmitidas por los vehículos sobre los agregados del material granular.



Lodazal y cruce de agua

Un lodazal es una sección de suelo fino que se caracteriza por su transitabilidad baja o intransitabilidad durante las épocas de lluvia. En épocas secas, si no se realizan las tareas de mantenimiento requeridas, los vehículos tienen dificultades debidas a las deformaciones del material.

Un cruce de agua proviene de un escurrimiento de agua transversal que crea un surco erosivo en parte o en todo el ancho de la carretera.



5.4 FACTORES QUE AFECTAN LA CAPACIDAD Y VOLÚMENES DE CIRCULACIÓN CONTINUA

La capacidad de un carril es el máximo número de vehículos que puede pasar por él, suponiendo una velocidad uniforme, generalmente se expresa en vehículos/hora.

$$c = \frac{v}{s} \times 1.00$$

Donde:

v : velocidad en km/h

s : separación media mínima en metros entre las partes frontales de dos vehículos sucesivos, para determinar la velocidad.

Las variables v y s no son independientes. El valor de s es función de la longitud de los vehículos, del tiempo de reacción de los conductores y de la distancia de frenado, pudiendo expresarse en función de v por una fórmula del tipo:

$$s = a + bv + cv^2$$

El término independiente corresponde a la longitud de los vehículos, el término bv al tiempo de reacción de los conductores y el cv^2 a la distancia de frenado.

En un estudio realizado en Inglaterra por R.J. Smeed¹, se encontró la siguiente fórmula para la separación más frecuente en función a la velocidad:

$$s = 5.35 + 0.22v + 0.00094v^2$$

En 1950, el Bureau of Public Roads de los Estados Unidos publicó el Manual de Capacidad, del que se distribuyeron 30,000 ejemplares traducidos a 10 idiomas, la experiencia acumulada en este manual constituyó un paso decisivo para la Ingeniería de Tráfico, que dispuso de la posibilidad de analizar cuantitativamente y con cierta seguridad los problemas de circulación.

En este manual de cuyas ideas básicas continúan vigentes, se definían los siguientes tipos de capacidad:

¹ R.J. Smeed y G Bennett: Research en road safety and traffic flow- Institute of Civil Engineers. Road Paper n° 29, Londres 1949

- a) Capacidad básica, o máximo número de vehículos-tipo que pueden pasar por una sección dada de un carril durante una hora, en las condiciones óptimas tanto de la vía, como de los vehículos y de los agentes externos (condiciones atmosféricas y luz)
- b) Capacidad posible, o máximo número de vehículos-tipo que pueden pasar por una sección dada de un carril durante una hora en las condiciones existentes del tramo de la vía considerando el tráfico que circula por ella.
- c) Capacidad práctica, o máximo número de vehículos-tipo que puede pasar por una sección dada de un carril durante una hora sin que la intensidad del tráfico sea tan alta que cause pérdidas de tiempo, peligro o restricciones a la maniobrabilidad de los conductores más allá de lo razonable, en las condiciones existentes del tramo de vía considerado y del tráfico que pasa por ella.

Los valores indicados en el manual de 1950 para condiciones ideales de la vía y que a efectos de la capacidad posible se alcanzan normalmente para velocidades de 40 a 50 Km/h, son los siguientes:

- En calzadas de sentido único, la capacidad básica y posible en una vía ideal es de 2000 vehículos/hora por carril, y la capacidad práctica de 1000 vehículos/hora por carril en tramos rurales y de 1500 vehículos/hora en tramos urbanos.
- En carreteras de dos carriles y doble sentido de circulación, la capacidad básica y posible para la circulación en dos sentidos es de 2000 vehículos/hora y la practica de 900 vehículos/hora y 1500 vehículos/hora entamos rurales y urbanos respectivamente.

La infraestructura vial, sea esta una vía rural o calle, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos fijos externos al flujo de tránsito, tales como semáforos, que producen interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo de tránsito, tales como semáforos, las señales de alto y otros tipos de regulación

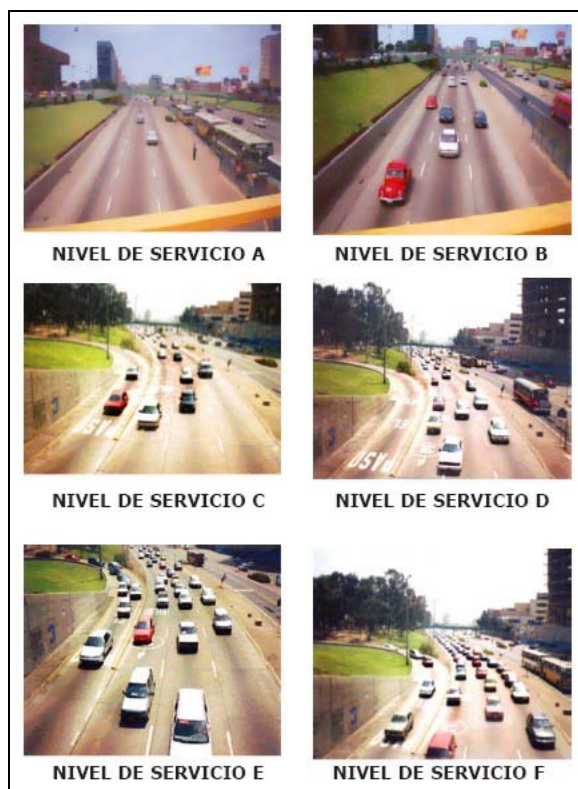
Dependiendo del tipo de infraestructura a analizar se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su capacidad.

Niveles de servicio

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio, que es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los conductores y/o pasajeros.

Estas condiciones se describen en términos de factores tale como velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

El Manual de Capacidad de Carreteras de 1985, Special Report 209 del TRB, traducido al español por la Asociación Técnica de Carreteras de España, ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor. Las condiciones de operación de estos niveles, para sistemas viales de circulación continua se ilustran a continuación:



Fuente: Manual 2005 VCHI de Diseño Geométrico de Vías Urbanas

Los niveles de servicio de la A a D se definen a partir de unos ciertos valores de la velocidad o tiempo de recorrido y del i/c. El nivel E corresponde a situaciones próximas a la saturación, y el F, se produce cuando por haberse rebasado la capacidad de la vía, las condiciones son inestables y tanto la velocidad como la intensidad pueden fluctuar considerablemente.

El Nivel A, corresponde a una situación de tráfico fluido, con intensidad de tráfico baja y velocidades altas, sólo limitadas por las condiciones físicas de la vía. Los conductores no se ven forzados a mantener una determinada velocidad por causa de otros vehículos.

El nivel B, corresponde a una circulación estable, es decir, que no se producen cambios bruscos en la velocidad, aunque ya comienza a ser condicionada por los otros vehículos, pero los conductores pueden mantener velocidades de servicio razonables, y en general eligen el carril por donde circulan. Los límites inferiores de velocidad e intensidad que define a este nivel son análogos a los normalmente utilizados para el dimensionamiento de carreteras rurales.

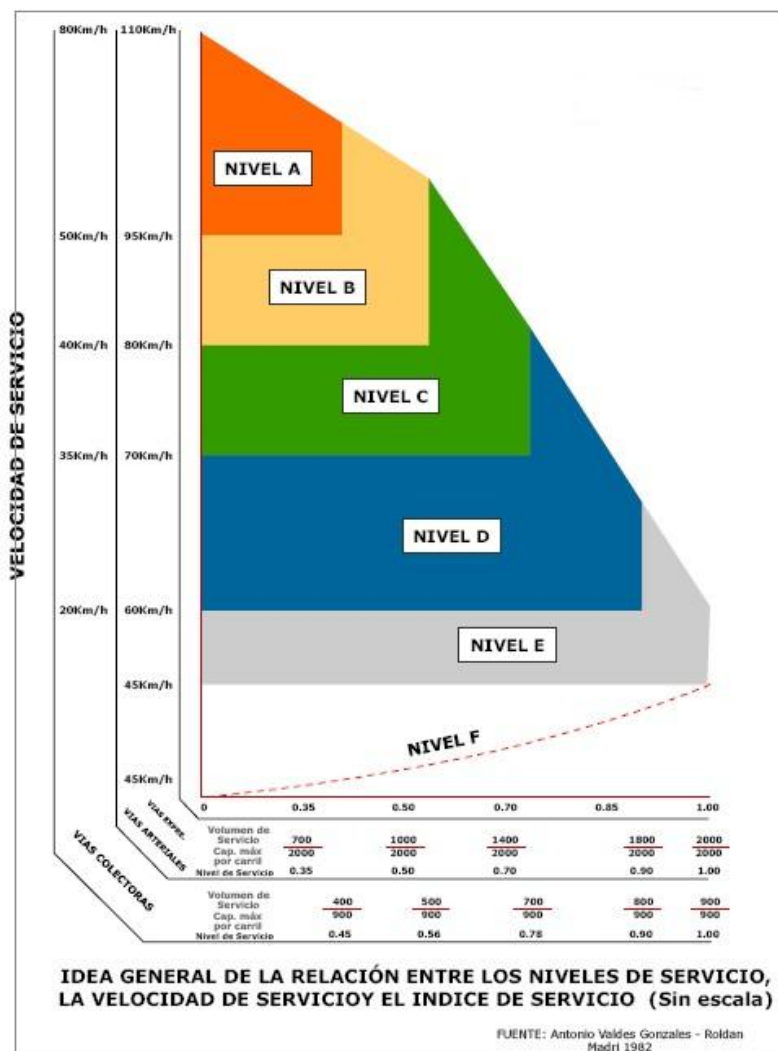
El nivel C, corresponde también a una circulación estable, pero la velocidad y la maniobrabilidad están ya considerablemente condicionadas por el resto del tráfico. Los adelantamientos y cambios de carril son más difíciles, aunque las condiciones de circulación son todavía muy tolerables. El límite inferior de velocidad, que define este nivel, coincide en general con el que se recomienda para el dimensionamiento de arterias urbanas.

El nivel D corresponde a situaciones que empiezan a ser inestables, es decir, en que se producen cambios bruscos e imprevistos en la velocidad, y la maniobrabilidad de los conductores está ya muy restringida por el resto del tráfico. En esta situación unos aumentos pequeños de la intensidad obligan a cambios importantes en la velocidad. Aunque la conducción ya no resulte cómoda, esta situación puede ser tolerable durante períodos no muy largos.

El nivel E supone que la intensidad de tráfico es ya próxima a la capacidad de la vía, y las velocidades no pueden rebasar normalmente los 50 Km/h. Las detenciones son frecuentes, siendo inestables o forzadas las condiciones de circulación.

Por último el nivel F, corresponde a una circulación muy forzada a velocidades bajas y con colas frecuentes que obligan a detenciones que pueden ser prolongadas.

El extremo de este nivel F es la absoluta congestión de la vía, lo que normalmente se alcanza durante las horas punta en muchas vías céntricas de las grandes ciudades.



Factores que afectan la capacidad

Las características de la mayor parte de las vías rurales y urbanas y del tráfico que las utiliza difieren más o menos de las que se consideran ideales desde el punto de vista de capacidad. Por ello es preciso aplicar una serie de factores de corrección para tener en cuenta la forma en que afectan la capacidad las diferencias que existen entre las circunstancias reales y las teóricas ideales. A veces, estos factores son a su vez función del nivel de servicio que se pretende.

Unos factores se refieren a las vías en sí y otros a las características del tráfico, aunque no siempre son independientes, como por ejemplo en el caso de la influencia de las pendientes y de la proporción de camiones que utiliza una determinada vía.

a) Factores que se refieren a las características de las vías.

i. Ancho de carriles

El ancho ideal de un carril es de 3.50 m. Si es menor, en carreteras de dos carriles, el adelantamiento es algo más difícil y la maniobra suele ocupar durante más tiempo el carril destinado al tráfico que circula en sentido opuesto; en calzadas de varios carriles un porcentaje mayor de vehículos ocupa parte de los carriles adyacentes.

A continuación se presenta una tabla que relaciona el ancho del carril con el % de capacidad.

Ancho del Carril (m)	% de la capacidad con carriles de 3.50 m	
	Carreteras de dos carriles	Vías de 4 o más carriles
3.50	100	100
3.30	88	97
3.00	81	91
2.70	76	81

Fuente: Highway Capacity Manual

ii. Obstáculos laterales a la calzada y ancho de bermas

Cualquier obstáculo lateral a la calzada próximo al borde, excepto un bordillo montable de 15 cm, produce cierto efecto de estrechamiento.

Un ejemplo de la influencia de la influencia de los obstáculos laterales, se recoge de la tabla siguiente, para carreteras de dos carriles. En la práctica estos coeficientes se engloban en otros que reflejan conjuntamente el ancho de los carriles y que se dan al definir los niveles de servicio de los distintos tipos de vías.

Distancia al obstáculo desde el borde de la calzada (a ambos lados) (m)	Ancho efectivo de dos carriles de 3.50 m	Capacidad de una vía de dos carriles de 3.50 m %de la capacidad ideal
1.80	7.00 m	100
1.50	6.60 m	92
0.60	6.00 m	83
0	5.10 m	72

Es fundamental la existencia de bermas que permitan situar fuera de la calzada los vehículos que hayan de detenerse momentáneamente, que no solo anulan un carril, si no que reducen la capacidad del carril adyacente por la existencia del obstáculo lateral que representa el vehículo detenido.

iii. Carriles auxiliares

Además de los carriles principales en una calzada, muchas veces la existencia de carriles auxiliares mejora las condiciones de capacidad, por que eliminan de la calzada principal obstáculos y dificultades de circulación. Es el caso de carriles de aceleración o desaceleración, carriles para ciertos movimientos de giro, carriles auxiliares en los tramos de trespaso y carriles para tráfico pesado.

iv. Estado del pavimento

Un pavimento deficiente reduce considerablemente la capacidad y es incompatible con los niveles de servicio elevados. Sin embargo, no es normal que en las calzadas donde las intensidades de tráfico son tan altas que llega a preocupar su falta de capacidad, el pavimento no permita circular a 40 o 50 km/h velocidades a las que se alcanza la máxima capacidad.

v. Trazado

Las características del trespaso tienen una influencia considerable en la velocidad de servicio y por tanto, en el nivel de servicio. En cuanto a su influencia en la capacidad no es importante ya que las velocidades que corresponden a intensidades del orden de la capacidad, son bajas.

vi. Pendientes.

El efecto de las pendientes esta muy ligado al tráfico pesado. Desde el punto de vista de la capacidad, la pendiente solo tiene efectos favorables cuando obliga a reducir la velocidad de los camiones por debajo de 50 km/h a cuya velocidad se alcanza aproximadamente la máxima capacidad. El efecto sobre la velocidad de servicio se produce mucho antes y por tanto la pendiente influye considerablemente en los niveles de servicio, cuando el porcentaje de vehículos pesados es apreciable.

En carreteras de dos carriles, el efecto de la pendiente suele ir acompañado por el también desfavorable de una reducción de la visibilidad de adelantamiento. Por ello muchas veces es conveniente el establecimiento de carriles lentos para los camiones.

b) Factores que se refieren al tráfico

i. Camiones

Cualquier camión influye desfavorablemente en la capacidad, es decir, en el número total de vehículos/hora que pueden pasar por un tramo. Cada camión desplaza un cierto número de vehículos ligeros, cuyo número, que depende de circunstancias de cada caso, se representa por un coeficiente de equivalencia.

ii. Autobuses

Los autobuses influyen desfavorablemente en la capacidad de forma análoga, aunque menos acusada, que los camiones.

Factores Medios De Equivalencia De Distintos Tipos De Vehículos En Función De La Clase De Vía Que Utilizan

Tipo de vehículo	Rurales	Urbanas	Tramos de trenzado	Intersecciones con semáforos
Coches	1	1	1	1
Camiones medios	3	1.75	2.8	1.75
Camiones pesados	3	2.5	2.8	1.75
Autobuses	3	3	2.8	2.25
Motos	1	0.75	0.75	0.33
Bicicletas	0.5	0.33	0.5	0.2

Fuente: Research on Road Traffic, Road Research Laboratory, Londres 1965

iii. Distribución del tráfico en los carriles de una calzada

La intensidad de tráfico en cada uno de los carriles de una calzada de autopista o arteria principal no es la misma.

Cuando se llega a situaciones próximas a la saturación, en una autopista con calzada de tres carriles, son típicas intensidades de 1700 vehículos/hora en el carril derecho, 2100 en el carril central y de 2200 en el carril izquierdo. En general se suelen usar los carriles izquierdos, sobre todo en los niveles de servicio más altos.

iv. Variación de la intensidad de tráfico dentro de una hora

Las cifras de capacidad normalmente se refieren a intensidades horarias, aunque la intensidad de tráfico no es uniforme durante los 60 minutos de una hora.

Con intensidades elevadas, las puntas acusadas dentro de la hora pueden reducir la capacidad horaria total. Para valorar este efecto, el manual de capacidad considera un factor de hora punta, que se determina en las autopistas por la relación entre el tráfico que pasa durante una hora y 12 veces el tráfico que pasa en 5 minutos de mayor intensidad.

Para carreteras rurales hay menos experiencias en la valoración de este fenómeno, que además no interesa tanto, generalmente por que en ellas no es frecuente que las intensidades de tráfico alcancen valores próximos a la capacidad.

v. Interrupciones de circulación.

Cuando los vehículos están detenidos por cualquier interrupción, no es normal que puedan luego moverse a un ritmo superior a 1500 vehículos por carril. Como en condiciones de circulación continua la capacidad es de 2000 vehículos/hora es evidente que una brusca interrupción del tráfico, aunque sea corta, puede producir colas, ya que origina una disminución importante de la capacidad.

Definiciones

Las siguientes definiciones son comúnmente usadas en Ingeniería de Tránsito:

Volumen: Cantidad de vehículos que pasa sobre una sección de vía durante un periodo de tiempo.

TPDA ó VDPA ó IMDA: Volumen diario promedio anual
$$VDPA = (\text{Volumen Anual Total})/365$$

TPDS o VDPS: volumen promedio diario semanal
$$VDPS = (\text{Volumen semanal})/7$$

VDP: Volumen diario promedio
$$VDP = \text{Volumen Total en "N" días} / N$$

Volumen en Hora de Máxima Demanda: Es el cantidad de vehículos que pasa sobre una sección de vía durante 60 minutos consecutivos.

VHDD: Volumen Horario Direccional de Diseño
$$VHDD = VDPA \times K \times D$$

donde,

K = % de VDPA en la hora de máxima demanda

D = % de volumen en la hora de máxima demanda en la dirección mas marcada.

Tasa de Flujo: Expresión horaria del de la cantidad de vehículos que pasa por una sección de vía por un periodo menor a una hora

Factor de la Hora de Máxima Demanda: relación del volumen de la hora de máxima demanda a la tasa de volumen máxima dentro de la hora pico

$$FHMD = (\text{Volumen en la Hora de Máxima Demanda}) / (4 \times \text{Vol. Max. 15 min.})$$

Velocidad: Tasa de movimiento del tránsito

Velocidad de Punto: Velocidad a la cual un vehículo pasa un punto en la vía.

Velocidad de Marcha: Distancia total recorrida dividida por el tiempo requerido en recorrerla.

Velocidad de Marcha Promedio: Distancia total recorrida por todos los vehículos en el volumen de tránsito, dividida por el tiempo de viaje total para todos los vehículos.

Velocidad de Proyecto: Es la velocidad máxima (segura) que se puede mantener sobre un tramo específico de vía cuando las condiciones son lo suficientemente favorables para que las características de diseño de la vía gobiernen la operación del vehículo.

Densidad: Cantidad de vehículos ocupando un tramo de vía en un instante dado (VPK)

Capacidad de Vías Rápidas Máxima tasa de volumen sostenida por 15 minutos a la cual el tránsito circula por una sección determinada en una dirección, con condiciones prevalecientes.

Condiciones Prevalecientes: Son las condiciones en las cuales se encuentra la arteria, afectando el volumen de vehículos.

Condiciones de la Vía - Geometría que afecta la capacidad

- Cantidad y ancho de los carriles de circulación
- Obstrucciones laterales
- Velocidades de proyecto
- Pendientes
- Configuración de carriles de circulación
- Condiciones de Tránsito - Características de tránsito que afectan la capacidad.
- Composición de tránsito
- Distribución de carriles de circulación
- Características de los conductores

Condiciones Ideales Son las condiciones ideales (con las cuales la capacidad de la vía es máxima) para el volumen de vehículos:

- Carriles de circulación de ancho de 3.65 m.
- Con acotamientos adecuados y sin obstáculos laterales en 2.00 m a partir de la orilla de la calzada.
- Vehículos ligeros únicamente en la corriente del tránsito
- Usuarios regulares
- Pendientes 0%

5.5 AFORO VEHICULAR (CONTEO)

Definiciones

- **Transito Anual (TA)**, es el número de vehículos que pasan durante un año
- **Transito Mensual (TM)**, es el número de vehículos que pasan durante un mes
- **Transito Semanal (TS)**, es el número de vehículos que pasan durante una semana
- **Tránsito Diario (TD)**, es el número total de vehículos que pasan durante un día
- **Tránsito Horario (TH)**, es el número de vehículos que pasan durante una hora.
- **Volúmenes de Tránsito:** Es el número de vehículos que pasa un punto determinado durante un periodo específico de tiempo.
- **Densidad de Tránsito:** Es el número de vehículos que ocupan una unidad de longitud de carretera en un instante dado. Por lo general se expresa en vehículos por kilómetro.
- **Intensidad o Volumen Medio Diario (VMD):** Es el volumen total que pasa por una sección transversal o por un segmento de una carretera, en ambos sentidos, durante un año, dividido entre el número de días en el año. Se puede obtener también para un solo sentido.

- **Volumen Horario de Diseño (VHD):** Es el volumen horario futuro utilizado para diseño.
- **Relación entre el Volumen Horario de Diseño (VHD) y el Volumen Medio Diario (VMD):** El volumen horario de diseño se expresa a menudo como un porcentaje del volumen medio diario. El rango normal está entre un 12% y un 18 % para ambos sentidos, y un 16% a un 24% para un solo sentido.
- **Distribución Direccional:** Es el volumen durante una hora en particular en el sentido predominante expresado como un porcentaje del volumen en ambos sentidos durante la misma hora.
- **Composición del Tránsito:** Vehículos pesados o de transporte público expresados (excluyendo vehículos livianos, con una relación peso/potencia similar a vehículos privados) como un porcentaje del volumen horario de diseño.
- **Volumen Horario:** Es el número de vehículos que pasan por un punto en un periodo de tiempo de una hora. El volumen horario de máxima demanda es el máximo número de vehículos que transcurren durante 60 minutos consecutivos, denominados también "Horas Punta". Estos volúmenes proyectados se emplean para planificar obras, proyectar los detalles geométricos de las vías, determinar su posible deficiencia en capacidad y planear programas para regular el tránsito, de acuerdo al nivel de servicio que se le asigne.
- **Composición de los Volúmenes:** Los volúmenes de tránsito están compuestos por unidades muy heterogéneas, cuyas características afectan al flujo de tránsito e intervienen en el diseño geométrico y estructural de las vías.
- **Tramo homogéneo:** sección de la carretera con características geométricas o volumen de tránsito similar.

Uso de datos de Volúmenes de tránsito

La información sobre volúmenes de tránsito es de gran utilidad en la planeación del transporte, diseño vial, operación del tránsito e investigación. Varios tipos de estudios de volúmenes y sus aplicaciones se ilustran en la siguiente tabla.

TIPO DE VOLUMEN	APLICACIÓN
Volumen Medio Diario: (VMD) o volumen total de tránsito	Estudios de tendencias; Planeación de Carreteras; Programación de Carreteras; Selección de Rutas; Cálculo de Tasas de Accidentes; Estudios Fiscales; Evaluaciones Económicas
Volúmenes Clasificados: por tipo de vehículo, número de ejes, y/o peso.	Análisis de Capacidad; Diseño Geométrico; Diseño Estructural; Cómputos de Estimados de recolección de impuesto de los usuarios de vialidades
Volúmenes durante periodos de tiempo específicos: durante horas pico, horas valle, y por dirección.	Aplicación de Dispositivos de Control del Tránsito; Vigilancia Selectiva; Desarrollo de Reglamentos de Tránsito; Diseño Geométrico.

Métodos de Muestreo

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

a) Aforos Manuales:

Son aquellos que registran a vehículos haciendo trazos en un papel o con contadores manuales. Mediante éstos es posible conseguir datos que no pueden ser obtenidos por otros procedimientos, como clasificar a los vehículos por tipo, número de ellos que giran u ocupantes de los mismos. Los recuentos pueden dividirse en 30 minutos e incluso 15 cuando el tránsito es muy denso. Para hacer los recuentos se deben preparar hojas de campo.

- Se usan por lo general para contabilizar volúmenes de giro y volúmenes clasificados.
- La duración del aforo varía con el propósito del aforo. Algunos aforos clasificados pueden durar hasta 24 horas.
- El equipo usado es variado; desde hojas de papel marcando cada vehículo hasta contadores electrónicos con teclados. Ambos métodos son manuales.
- Durante periodos de tránsito alto, es necesario más de una persona para efectuar los aforos. La exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona.

b) Contadores Mecánicos:

Son aquellos que emplean instrumentos para realizar el registro de vehículos, sin que se requiera de personal permanente. Estos instrumentos se basan en principios como el de la célula fotoeléctrica, presiones en planchas especiales o por medio de detectores magnéticos o hidráulicos.

Atendiendo a su movilidad los contadores pueden ser fijos o portátiles. Los fijos se usan para hacer recuentos continuos en ciertos lugares, mientras que los portátiles son más ligeros y se utilizan para hacer recuentos parciales durante periodos de tiempo limitados

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

c) Contadores Portátiles:

- Toman nota de los volúmenes aforados cada hora y 15 minutos, dependiendo del modelo. Pueden ser tubos neumáticos u otro tipo de detector portátil. Entre sus ventajas se cuentan: una sola persona puede mantener varios contadores y, además, proveen aforos permanentes de todas las variaciones del tránsito durante el periodo del aforo. Entre sus desventajas se cuentan: no permiten clasificar los volúmenes por tipo de vehículo y movimientos de giro y muchas veces se necesitan aforos manuales ya que muchos contadores (en particular los de tubo neumático) cuentan más de un vehículo cuando son accionados por vehículos de más de un eje o por vehículos que viajen a velocidades bajas.

d) **Método del Vehículo en Movimiento:**

Este método se emplea para obtener volúmenes de tránsito en un tramo de la vía urbana, sirviendo además para determinar tiempos y velocidades de recorrido medias. Para aplicar este método se emplea un vehículo con su conductor, que recorre el tramo de vía considerado a la velocidad media de la corriente de tránsito, acompañado de uno o más observadores que deben registrar el tiempo que tarda el tramo de la vía considerado, los vehículos que se cruzan con él y están en sentido contrario, los vehículos pasados y los que se adelantan a él, en el mismo sentido.

Estudios sobre Volúmenes de Tránsito: Estos estudios se realizan para conocer los volúmenes de tránsito que circulan por una vía, por parte de ella, o por un sistema de ellas y constituyen la fuente primaria de información para distribuir y proyectar volúmenes de tránsito. Existen diferentes tipos de estudios según el lugar donde se realicen y el objeto de estudio, tales como: estudios en lugares aislados, estudios en sistemas de vías rurales, urbanas y estudios en cordones.

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 su capacidad, establecer las fases de semáforos y para muchos otros fines. Estos estudios se llevan a cabo en los lugares donde se necesite la información y su duración suele ser de 48 horas a una semana si se utilizan contadores automáticos y solamente durante las horas que interesen (como las de volúmenes máximos) cuando los recuentos se efectúan en forma manual, se acostumbra emplear recuentos manuales de 15 minutos.

Representación Gráfica de los Resultados de los Estudios sobre Volúmenes de Tránsito: Estos estudios se representan gráficamente en forma de diagramas y mapas de caudales, en ellos se indican las corrientes vehiculares por bandas cuyo ancho es proporcional a su volumen de tránsito.

VELOCIDAD

La velocidad es la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda recorrerlo. Se expresa como $V = e/t$, siendo V la velocidad, e el espacio y t el tiempo empleado.

Límites de velocidad: La velocidad está condicionada por las características del vehículo, del conductor y de la vía, por el volumen del tránsito, condiciones atmosféricas y los límites impuestos por los reglamentos de tránsito, debido a ello la velocidad con que marchan los vehículos varía constantemente especialmente en vías urbanas.

Conceptos:

- *Tiempo de recorrido:* es el lapso que transcurre mientras un vehículo recorre cierta distancia incluyendo el invertido en paradas, excepto cuando estas son ajenas a la vía.
- *Velocidad media de recorrido:* definida como el cociente que resulta de dividir el espacio andado por un vehículo entre el tiempo de recorrido correspondiente a ese espacio. Sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez en ciertas rutas.
- *Tiempo de Marcha:* periodo de tiempo durante el cual un vehículo se encuentra en movimiento, es decir, es el tiempo total de recorrido descontando aquel tiempo en que el vehículo se hubiese detenido por cualquier causa.
- *Velocidad de Marcha:* Es la relación entre la distancia recorrida por un vehículo y su tiempo de marcha mientras recorrió esa distancia. Su valor es superior o igual a la velocidad de recorrido.
- *Velocidad Directriz:* Es la seleccionada para proyectar y relacionar entre si las características físicas de una vía que influyen 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.
- *Velocidad Instantánea:* Es la velocidad de un vehículo en un instante determinado cuando pasa por un punto dado de una vía. Los estudios de velocidad instantánea se usan para establecer restricciones de velocidad, indicar la velocidad segura en curvas, proporcionar información relativa a la situación de las señales de tránsito y establecer la relación entre los accidentes y la velocidad.

Métodos para determinar la velocidad

a) Métodos para determinar la Velocidad Instantánea:

- *Medida del tiempo de recorrido en una distancia fija:* Midiendo una distancia sobre la vía, se calcula con un cronómetro el tiempo que emplea el vehículo en recorrerla. La longitud de la línea base se determina por la visibilidad, características físicas de la vía y la velocidad general de los vehículos que se observan.

Cuando el tránsito es muy intenso, no es posible medir la velocidad de cada vehículo y hay que hacer una selección al azar; por ejemplo observando un vehículo cada 2 minutos – 3 minutos, etc o cada 15 a 20 seg.

También existen dispositivos mecánicos que ponen en marcha y detienen automáticamente el cronómetro, empleando tubos sobre la calzada para captar las

señales del paso del vehículo. Estos dispositivos eliminan los errores por el tiempo de reacción del observador.

- *Medidores de Velocidad:* Existen dos clases, los que usan un motor de velocidad constante y un embrague eléctrico y los electrónicos que emplean un circuito de descarga calibrada. Ambos se activan cuando las ruedas delanteras del vehículo pisan el primer tubo para detenerse cuando cruzan el segundo detector, midiendo la velocidad con la que transcurre el vehículo, siendo necesario ponerlos en cero después de cada observación.
- *Radar:* Se basa en el principio fundamental de una onda de radio reflejada por un objeto en movimiento que experimenta una variación en su frecuencia en función velocidad del objeto. Estos instrumentos son portátiles y cuando se apunta con ellos a 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 de hasta 45 m; pero funcionan mejor a unos 10m de la trayectoria de los vehículos y a un ángulo de 15° de ella.
- *Otros métodos:* Existen otros métodos para determinar la velocidad instantánea en un punto, que ofrecen mayor exactitud y número de datos, para realizar investigaciones técnicas, pero el equipo es muy costoso y la obtención de datos toma mucho tiempo. Entre ellos tenemos el procedimiento fotográfico y células fotoeléctricas con instrumentos registradores gráficos.

b) Métodos para determinar la velocidad media:

Estos métodos se emplean generalmente para medir las condiciones de fluidez de una ruta, en las horas de mayor tránsito (horas punta), determinando además el tiempo en que el vehículo no está en movimiento por causas ajenas a la voluntad del conductor (semáforos, paso de peatones, por esperar a otros vehículos detenidos, paso preferencial, etc), denominado demora o retardo.

- *Método de observaciones a cierta altura:* Desde un edificio o en algún punto alto se miden los tiempos de recorrido de los vehículos en la corriente de tránsito sobre un trayecto cuya longitud se ha medido previamente. Con un cronómetro se toma el tiempo que tarda cada vehículo en recorrer la longitud total.
- *Flotando en el Tránsito:* En este método el observador forma parte de la corriente de tránsito; ingresando con su vehículo en la ruta que previamente ha fijado con un punto inicial y uno final, procurando siempre mantener los movimientos normales. personalmente va midiendo su tiempo de recorrido.
- *Mediciones dentro de la corriente:* En este método el observador también forma parte de la corriente de tránsito pero no se mide así mismo, sino que hace el recorrido varias veces y cada vez escoge el vehículo o los vehículos más cercanos a él y va observando sus tiempos.

c) Método de la observación de placas de circulación:

Se emplea en tramos de la vía de longitud entre 2 a 3 kilómetros, colocando dos personas en cada extremo del mismo, un observador provisto de cronómetro y un anotador. 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, para el presente estudio se utilizó este método con la siguiente hoja de campo:

d) Análisis de los datos:

El resultado de los estudios de velocidad podrían representarse por una sola cifra que indique el valor más representativo de las velocidades de todos los vehículos, como es usual, pero un valor único no indica adecuadamente las diversas magnitudes que pueden revelar un estudio sobre velocidades. Es conveniente, por lo tanto, hacer un análisis estadístico de los datos tomados, mediante el siguiente procedimiento:

- Se ordena, en forma creciente, el registro de los tiempos de recorrido de los vehículos, representados por t_i . La diferencia entre el valor superior t_n y el inferior t_1 de los tiempos de recorrido es el rango R . El número total de observaciones es n .
- Se determina el número de intervalos m mediante la siguiente expresión:
$$m = 1 + 3.31 \log(n)$$
- La magnitud del intervalo c se calcula como:
$$c = R / m$$
- Los límites de cada intervalo se calculan sumando al valor inferior (t_i) la magnitud del intervalo c .
- Con los tiempos de recorrido de cada intervalo se calculan las velocidades representadas por x_i y para cada intervalo se halla un valor medio de la velocidad, como $\bar{x} = (x_i + x_n)/2$.
- Luego se realiza el conteo de los valores que pertenecen a cada intervalo y vienen a ser las frecuencias f .

La información que puede obtenerse es la siguiente:

- **Media Aritmética (\bar{X}):** Es el promedio ponderado que resulta de multiplicar el número de vehículos de cada grupo de velocidades por la velocidad media de su grupo respectivo, sumando todos esos productos y dividiendo la suma entre el número total de vehículos observados:

- **Rango:** Es la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de los tiempos recorridos o de las velocidades obtenidas.
- **Dispersión (D):** Es una medida de la amplitud de la distribución de ciertos valores. En el caso de las velocidades de los vehículos de una corriente, es muy importante conocer el valor de su dispersión; pues si esta última es reducida, quiere decir que la diferencia entre las velocidades de los vehículos es pequeña y serán necesarias 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 ocurra un accidente será mayor. La dispersión puede apreciarse gráficamente por la medida del rango, pero para expresada de manera más exacta se calcula la desviación tipo.

5.6 CENSOS DE CARGA, CALCULO DEL FACTOR EQUIVALENTE DE CARGA Y EL EAL

Objetivo

El objetivo general del censo de carga y la medición de la presión de inflado de los neumáticos, es conocer los factores de equivalencia de daño de cada tipo de vehículo pesado que circula a nivel de un tramo determinado, establecido a partir del censo de una muestra vehicular en una Estación de Control.

Actividades a realizar

Para el censo de cargas y medición de la presión de llantas se han dividido las tareas a efectuar en 4 etapas, las mismas que describimos a continuación:

Etapas 1.- Planificación

Esta etapa es previa a la ejecución de los trabajos en campo y consiste en realizar la recolección y análisis de la información existente, realizar un reconocimiento de la ruta y el establecimiento de las estaciones de control; en gabinete de acuerdo a los términos de referencia y al tráfico existente en la zona, en esta etapa se diseñan los formatos a usar en campo y en gabinete.

Etapas 2.- Organización

En esta etapa se realiza la programación de actividades de campo y gabinete, se debe coordinar con los operadores del equipo de pesaje a fin de ajustar el procedimiento de trabajo en campo y gabinete.

Así mismo, se debe coordinar con el personal que realizará la medida de la presión de inflado de llantas, se efectuará la selección, contratación y adiestramiento del personal.

Etapas 3.- Ejecución

En esta etapa se debe realizar la movilización del personal y equipos a la zona de trabajo, y se ejecutará los trabajos en campo según lo establecen los términos de referencia del proyecto.

Durante la ejecución del censo de carga, se deberá efectuar una supervisión permanente de los trabajos en campo a fin de evitar cualquier percance. Luego de concluir los trabajos, se efectuará la desmovilización del personal y los equipos.

Etapas 4.- Procesamiento de datos

Ya en gabinete se efectuará la revisión y consistencia de los datos recolectados en campo, se deberá digitalizar toda la información y se deberá efectuar el cálculo de los factores de equivalencia de carga, por conjunto de ejes y por tipo de vehículo, para cada unidad pesada en la estación.

Finalmente, la elaboración del informe respectivo.

Para el cálculo de los factores de equivalencia de carga (FEC) de cada grupo de ejes, se puede adoptar:

La fórmula simplificada de AASHTO establece las siguientes ecuaciones:

$$\text{Eje simple (2 neumáticos): } \left(\frac{P}{6600} \right)^4$$

$$\text{Eje simple (4 neumáticos): } \left(\frac{P}{8200} \right)^4$$

$$\text{Eje doble: } \left(\frac{P}{15000} \right)^4$$

$$\text{Eje Triple: } \left(\frac{P}{23000} \right)^4$$

$$\text{Y para pavimentos rígidos } \left(\frac{P}{N^{\circ}} \right)^{4.25}$$

O la metodología originada en la Carretera Experimental AASHO para los ejes simples y dobles, y la de Treybig y Von Quintus para los ejes triples, de manera de convertir el efecto destructivo de las diferentes cargas de un tránsito mixto a un número equivalente de aplicaciones de ejes simples con una carga estándar de 18 kips (8.2 toneladas), asumiendo que el pavimento tenga un Número Estructural promedio de $SN=3$ y un nivel de serviciabilidad terminal de $P_t=2$.

$$FEC = \left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{18}} \right)^4$$

Donde:

ϵ_x : Deformación que produce un eje cualesquiera

ϵ_{18} : Deformación que produce un eje equivalente de 18 kips (8.2 Tn)

En dichos estudios se han derivado las siguientes ecuaciones aproximadas:

$$\text{Eje simple: } \left(\frac{P}{8200} \right)^{4.5}$$

$$\text{Eje doble: } \left(\frac{P}{15300} \right)^{4.5}$$

$$\text{Eje Triple: } \left(\frac{P}{22950} \right)^{4.22}$$

Donde:

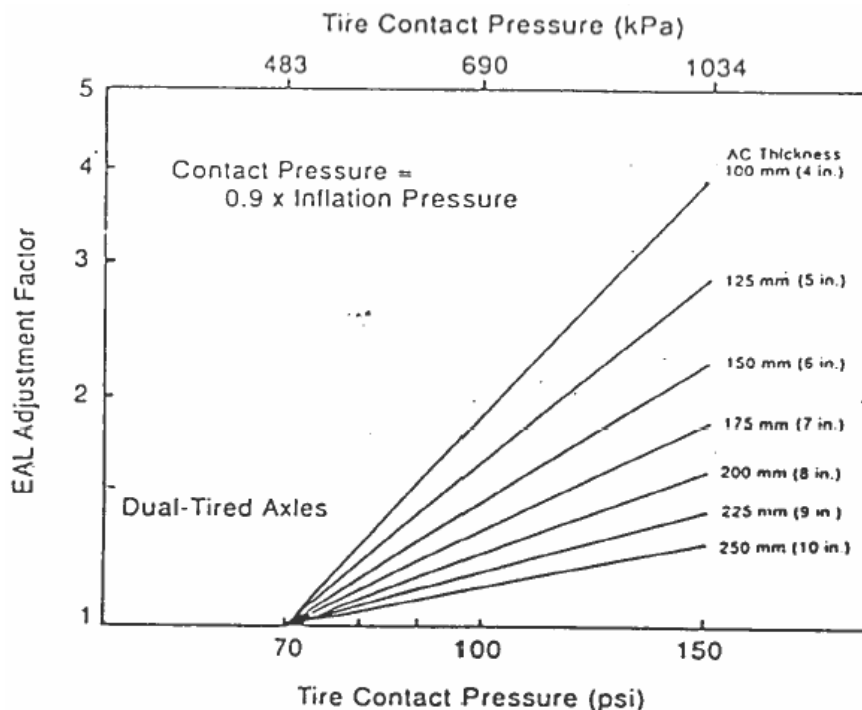
P, es el peso en toneladas del conjunto de ejes considerado.

El cálculo de los factores de equivalencia de carga por vehículo (FECV) para cada tipo de vehículo, se obtiene sumando los FEC de un mismo tipo de vehículo, y representa el efecto destructivo de ese vehículo expresado en un número equivalente de repeticiones de ejes simples estándar de 8.2 toneladas de peso.

La presión de inflado de llantas promedio por tipo y clase de vehículo, se han convertido a presión de contacto mediante la siguiente expresión:

$$\text{Presión de contacto} = 0.90 * \text{Presión de llantas promedio}$$

Para determinar los factores de ajuste (FA) que se aplicarán al factor de equivalencia de carga por vehículo (FECV), se recomienda usar el gráfico elaborado por H.F Southgate y R.C Deen en el Kentucky Transportation Research Program (1985), publicado por el Asphalt Institute (MS-1), de acuerdo al espesor del concreto asfáltico y la presión de contacto.



Cálculo de los valores de Ejes Equivalentes de Carga - EAL (Equivalent Axle Load)

Para el cálculo del EAL se emplea la fórmula dada por el AASHTO

$$EAL = \sum_{i=1}^n (IMD_0)_i (FECV)(G)(D)(L)(365)(N)$$

Donde:

- $(IMD_0)_i$ = Número de vehículos inicial de tipo "i"
- N = Período de diseño o vida útil del pavimento.
- D = Factor direccional, se asume 0.5 para carreteras de una calzada y dos sentidos de circulación.
- L = Factor de distribución del tránsito por carril.
- G = Factor de crecimiento
- FECV = Factor de Ejes Equivalentes de Carga por Vehículo (FECV)

El factor de crecimiento del tráfico, se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de crecimiento (G):} \quad \frac{[(1+r)^n - 1]}{r}$$

Donde: r = tasa de crecimiento
n = número de años

5.7 DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE TRÁNSITO.

Los dispositivos de control de tránsito advierten a los usuarios de los caminos de las reglas de operación guiándolos hacia una operación segura, uniforme y eficiente de todos los elementos que componen el tránsito.

Los cinco requerimientos básicos que debe cumplir un dispositivo de control de tránsito para ser efectivo son:

- A. Llenar una necesidad.
- B. Ser visible y llamar la atención.
- C. Transmitir un significado simple y claro.
- D. Debe infundir respeto a los usuarios de los caminos.
- E. Dar el tiempo suficiente para una respuesta adecuada.

Para cumplir los requerimientos anteriores un dispositivo de control de tránsito deberá cumplir requisitos de: diseño; ubicación y operación; mantenimiento; y uniformidad.

La ubicación de un dispositivo de control de tránsito debe ser dentro del campo visual del usuario para lograr una mejor comprensión. El dispositivo debe estar apropiadamente colocado con respecto a la localización, objetivo o situación para la que se aplica. La

ubicación y legibilidad de los dispositivos de control de tránsito debe ser tal que den el tiempo suficiente para la respuesta del usuario de día o de noche.

Los dispositivos de control de tránsito deben colocarse de manera uniforme y consistente. Los controles de tránsito innecesarios deberán removerse. No es suficiente que un dispositivo se encuentre en buen estado para que no sea removido o cambiado. Los dispositivos de control deberán revisarse periódicamente para determinar si cumplen con las condiciones de tránsito actuales.

Aspectos Claves de la Señalización

El cumplimiento de los requisitos mínimos a que se refiere el párrafo anterior supone que, a su vez, las señales deben satisfacer determinadas condiciones respecto de los siguientes aspectos claves:

Diseño

El diseño de la señalización debe asegurar que:

- a) su tamaño, contraste, colores, forma, composición y retrorreflexión e iluminación se combinen de tal manera que atraigan la atención de todos los usuarios
- b) su forma, tamaño, colores y diagramación del mensaje se combinen para que éste sea claro, sencillo e inequívoco.
- c) su legibilidad y tamaño correspondan al emplazamiento utilizado, permitiendo un tiempo adecuado de reacción
- d) su tamaño, forma y mensaje concuerden con la situación que se señala, contribuyendo a su credibilidad y acatamiento
- e) sus características de color y tamaño se aprecien de igual manera durante el día, la noche y períodos de visibilidad limitada

Emplazamiento

Toda señal debe ser instalada de tal manera que capte oportunamente la atención de usuarios de distintas capacidades visuales, cognitivas y psicomotoras, otorgando a éstos la facilidad y el tiempo suficiente para distinguirla de su entorno, leerla, entenderla, seleccionar la acción o maniobra apropiada y realizarla con seguridad y eficacia. Un conductor que viaja a la velocidad máxima que permite la vía, debe tener siempre el tiempo suficiente para realizar todas estas acciones.

Conservación y mantención

Toda señalización tiene una vida útil que es función de los materiales utilizados en su fabricación, de la acción del medio ambiente, de agentes externos y de la permanencia de las condiciones que la justifican. Por ello, resulta imprescindible que las autoridades responsables de la instalación y mantenimiento de las señales cuenten con un catastro de ellas y con un programa de mantenimiento e inspección que asegure su oportuna limpieza, reemplazo o retiro.

La señalización limpia, legible, visible, en buen estado y pertinente inspira respeto en los conductores y peatones. A su vez, cualquier señal que permanece en la vía sin que se justifique, o se encuentra deteriorada, dañada o rayada, sólo contribuye a su descrédito y

al de la entidad responsable de su mantenimiento, constituyendo además un estímulo para nuevos actos vandálicos.

Uniformidad

La señalización debe tratar siempre situaciones similares de la misma manera. Esto, además de facilitar el reconocimiento y entendimiento de las señales por parte de los usuarios, genera ahorros en la manufactura, instalación, conservación y gestión de la señalización.

Justificación

En general, se recomienda usar un número razonable y conservador de señales, ya que su uso excesivo reduce su eficacia.

Tipos de Señales

De acuerdo al Manual de Dispositivos del Control del Tránsito Automotor para calles y Carreteras, aprobado por resolución Ministerial 210-2000-MTC/15.02, existen señales Verticales, Marcas en el Pavimento y Semáforos.

Las señales Verticales a su vez, se subdividen en: Señales reguladoras, Preventivas y de Información; mientras que las Marcas en el pavimento se subdividen en: Marcas en el pavimento y bordes, demarcación de objetos y delineadores reflectivos. Los semáforos se subdividen en Semáforos para control de tránsito de vehículos, para pasos peatones y especiales.

Por lo general en vías rurales los dispositivos de control de tránsito que se utilizan son las Señales Reguladoras, Informativas y algunos otros elementos como reductores de velocidad; mientras que en vías urbanas además de los dispositivos antes mencionados se utilizan los semáforos.

ANEXO 1

TIPOS DE VEHÍCULOS CON EL DETALLE DE PESOS Y MEDIDAS MÁXIMAS PERMITIDAS Decreto Supremo N° 058-2003-MTC el 12 de octubre de 2003