

superior Khipu en la calle Camino Real y dos paraderos de transporte público que se relacionan a reducciones de velocidad de la circulación vehicular.

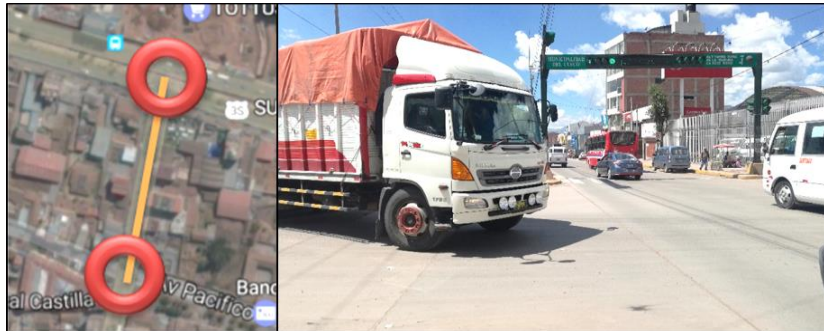


Figura 11. Tramo inicial Av. Tomás Tuyo Tupac, Intersección Av. De la cultura y la Av. Tomás Tuyo Tupac.

Fuente: Google Earth. Adaptación Propia.



Figura 12. Centro Comercial Tottus y la Intersección de la Av. Tomás Tuyo Tupac con la Av. Cusco.

Fuente: Elaboración Propia.

## Tramo II

Este tramo tiene una longitud de 400 metros, y una pendiente promedio de 4.6%. Este tramo inicia en la intersección semaforizada de la Av. Tomás Tuyo Tupac con la Av. Cusco dirigiéndose de norte a sur hasta la intersección con la Vía Expresa.

Por este tramo circulan la RTU-28 “ILLARY QOSQO”, la RTU-26 “EXPRESO SAN SEBASTIÁN”, la RTU-27 “EL ZORRO”, RTU-05 “PEGASO”, RTU-17 “TTIO LA FLORIDA” y la RTU-29 “HORIZONTE”.

De acuerdo con la Zonificación registrada por el PDU 2013 – 2023 de la Municipalidad Provincial del Cusco para el uso de suelos, el tramo corresponde a Zona de Amortiguamiento del Centro Histórico (ZAM - CH) dentro de Zona Monumental (ZM).

Este tramo tiene una intersección semaforizada que ya fue descrita en el ítem de la Av. Cusco.

La calzada tiene un ancho de 12 metros en promedio, con 4 carriles de 3 metros de ancho cada uno inicialmente y 2 carriles de 5 metros de ancho cada uno, en los tramos finales. Las veredas

tienen 1.20 metros de ancho, la carpeta de rodadura es pavimento flexible desde el inicio hasta 10 metros antes del puente carrozable de concreto armado (parte del tramo), donde el pavimento cambia a rígido hasta el final del tramo.

En el tramo existen también intersecciones no semaforizadas, dos estaciones de combustible (una en cada mitad del tramo), en el sector final del tramo tenemos un puente carrozable tipo loza que coincide con una intersección que será tomada en cuenta en el estudio.



Figura 13. Puente carrozable tipo loza en la Av. Tomás Tuyo Tupac.

Fuente: Elaboración propia.

El problema de este tramo radica en la discontinuidad de carriles a consecuencia de la presencia del puente viga-loza, los vehículos pesados que generan retrasos en la circulación vehicular y su intersección final que accede a una vía rápida como la Vía Expresa que está en estado de abandono, solo funcionan 2 de sus 4 carriles y con el pavimento en condiciones que dificultan seriamente el tránsito.



Figura 14. Tramo final (línea naranja) y las intersecciones de interés en la Av. Tomás Tuyo Tupac y la intersección con la Av. Cusco (rojo).

Fuente: Google Earth, elaboración propia.



Figura 15. Intersección de la Av. Tomas Tuyro Tupac en el puente y la intersección con la Vía Expresa.

Fuente: Elaboración propia.

## 1.1.2 Formulación Interrogativa del Problema

### 1.1.2.1 Formulación Interrogativa del Problema General

¿Cuál es el nivel de servicio respecto a la operatividad del tránsito, del diseño geométrico y de la tipología y configuración de las intersecciones de las avenidas “Cusco” y “Tomas Tuyro Tupac” del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco?

### 1.1.2.2 Formulación Interrogativa de los Problemas Específicos

1. ¿Cómo es la operación del tránsito en las avenidas “Cusco” y “Tomas Tuyro Tupac” del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco?
2. ¿Cómo es el diseño geométrico de las avenidas "Cusco" y “Tomas Tuyro Tupac” del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco?
3. ¿Cómo es la tipología y configuración de las intersecciones de las avenidas "Cusco" y “Tomas Tuyro Tupac” del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco?

## 1.2 Justificación e Importancia de la Investigación

### 1.2.1 Justificación Técnica

La ingeniería civil dentro de la rama de ingeniería de transportes y la ingeniería vial, tiene como función y objetivos formular proyectos, ejecutarlos y mantenerlos, garantizando en su etapa de operación, el funcionamiento deseable durante el tiempo de vida correspondiente, satisfaciendo las necesidades por las cuales fue materializado el proyecto, por lo tanto, es imprescindible determinar el estado del funcionamiento de las avenidas Cusco y Tomas Tuyro Tupac, para lo



cual, se efectúa la evaluación del nivel de servicio, y posteriormente, se determinen las medidas necesarias de mitigación y/o solución y así garantizar niveles de servicio aceptables que reflejen la calidad en el funcionamiento de la circulación vehicular.

### 1.2.2 Justificación Social

El rol de la infraestructura vial es uno de los más importantes pilares para impulsar el crecimiento social y económico a través del desarrollo de los mercados locales y de su integración espacial con los centros económicos, sobre todo en economías en vías de desarrollo como la nuestra.

A medida que un país se desarrolla, las carencias o falencias de una red vial se traducen en impedimentos para desplazamientos rápidos y expeditos, y en la generación de crecientes trastornos que afectan directamente el nivel de vida y la productividad de los agentes socioeconómicos y satisfacción de necesidades vitales de la ciudadanía.

Entonces es de gran importancia la evaluación del nivel de servicio de las avenidas Cusco y Tomas Tuyro Tupac para tomar conocimiento del estado del servicio y garantizar su óptimo funcionamiento para un mejor desarrollo socioeconómico de la ciudad.

Por otro lado, esta investigación es una herramienta importante para futuras investigaciones en la rama de ingeniería de transportes que podrán usarla como antecedente.

### 1.2.3 Justificación por Viabilidad

La viabilidad de la tesis radica en la obtención de los datos que en su mayoría se obtienen mediante un registro manual y en su defecto con la ayuda de dispositivos electrónicos a las cuales se tuvieron acceso a costos relativamente bajos, el tiempo de la toma de datos fue realizado en un periodo determinado, con la participación de asistentes ubicados en puntos estratégicos de las avenidas a los cuales se tiene acceso por estar dentro del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco. El procesamiento de los datos se realizó mediante lo estipulado en el manual HCM 2010, del cual se tiene una copia digital. Por lo tanto, la investigación en los aspectos como la ejecución, tiempo, costos y acceso a las herramientas, es viable.





#### 1.2.4 Justificación por Relevancia

Las actividades económicas en las regiones del país no se desarrollarían adecuadamente si la infraestructura vial no fuera provista de manera eficiente, ya sea por el sector público o privado, evitando la duplicidad y el desperdicio de los recursos.

Por lo ya expuesto, la Av. Cusco y la Av. Tomas Tuyo Tupac al ser dos vías que tienen mucha importancia por la circulación de vehículos pesados que transportan productos y personas locales y de otras regiones del país y también, debido al crecimiento del parque automotor que se da constantemente en el tiempo, es necesario determinar el nivel de servicio que ofrece la vía para garantizar el desarrollo de la ciudad disminuyendo costos y tiempos en las actividades económicas. Así mismo, la importancia de las nuevas metodologías aplicadas en la investigación.

#### 1.3 Limitaciones de la Investigación

- La evaluación y el estudio se realizaron en la Av. Cusco y la Av. Tomas Tuyo Tupac y en las intersecciones relevantes que se tienen a lo largo de cada una de estas dos avenidas, en el distrito de San Sebastián, en la ciudad del Cusco, que se detallan en el siguiente ítem.
- Las intersecciones de estudio para la Av. Tomas Tuyo Tupac son la intersección con la Av. De la Cultura, Vía expresa y la Ca. Kantu.
- Las intersecciones de estudio para la Av. Cusco son la intersección con la Av. De la cultura, Ca. Diego de Almagro, Ca. Bolívar, Ca. Felipe Sicus, Ca. Alemania Federal y Av. de la Cultura.
- Los datos del tránsito vehicular como el volumen vehicular son registrados mediante un conteo manual y registro filmográfico in situ (que posteriormente estos últimos son aforados manualmente) en todos los puntos de acceso o intersecciones que tienen estas avenidas, en una misma fecha y horario, estas actividades se realizan haciendo uso del formato de medición de confección propia.
- Los datos fueron medidos en horarios de mayor flujo vehicular para ambas avenidas de estudio, para esto, se realizó un estudio previo que fue la confección de un histograma de volúmenes durante los días sábado, 5 de mayo, martes, 8 de mayo y miércoles, 9 de mayo del 2018, durante 15 horas para cada día, desde las 6:45hrs hasta las 21:45hrs.
- La toma de datos de los aforos vehiculares y peatonales se realizaron el día miércoles, 6 de junio del año 2018, en el periodo de 8:15hrs a 9.15hrs.



- La información complementaria como la geometría y referente a la semaforización es medida in situ con el uso del eclímetro para las pendientes, wincha para longitudes y anchos, e inspección óptica, para las fases semafóricas y configuración de las intersecciones.
- La capacidad y el nivel de servicio fueron determinados en base al Manual de Capacidad de Carreteras 2010 (HCM 2010) que es una publicación de Transportation Research Board (TRB), debe tenerse en cuenta que algunos de los datos de investigación provienen particularmente de valores por defecto y aplicaciones para los EE. UU.
- Las condiciones del pavimento según el HCM 2010 se consideraron como ideales.
- No se consideraron las demoras por cola inicial en el estudio.
- En el análisis de segmento I de la Av. Tomás Tuyro Tupac en ambos sentidos, tiene una longitud de segmento muy corta (130m-150m) entre las dos intersecciones semaforizadas (Av. Tomás Tuyro Tupac con la Av. De la Cultura y la Av. Cusco), lo cual influye negativamente en los niveles de servicio obtenidos y es determinante.

#### 1.4 Objetivos de la Investigación

##### 1.4.1 Objetivo General

Evaluar el nivel de servicio respecto a la operatividad del tránsito, el diseño geométrico, la tipología y la configuración de las intersecciones de las avenidas “Cusco” y “Tomás Tuyro Tupac” del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco.

##### 1.4.2 Objetivos Específicos

1. Determinar la operación del tránsito de las avenidas “Cusco” y “Tomás Tuyro Tupac” del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco.
2. Identificar el diseño geométrico de las avenidas “Cusco” y “Tomás Tuyro Tupac” del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco.
3. Examinar la tipología de control y configuración de las intersecciones de las avenidas “Cusco” y “Tomás Tuyro Tupac” del distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco.



## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la Tesis o Investigación Actual

#### 2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional

1. **TÍTULO:** “Evaluación de los ejes transversales en los distritos de Wanchaq, San Sebastián y San Jerónimo y su influencia en la congestión vehicular de la ciudad del Cusco”.

**AUTORES:** Rodrigo Tisoc Porcel.

**UNIVERSIDAD:** Universidad Andina del Cusco.

**CIUDAD:** Cusco, Perú.

**AÑO:** 2017

**RESUMEN:** El Cusco presenta una geomorfología especial que obliga a la ciudad a tener una forma alargada dando prioridad a la construcción de avenidas longitudinales y restando importancia a las vías de conexión transversal las cuales son discontinuas y no homogéneas entre sí a lo largo de su eje. La presente investigación tiene el fin de evaluar el diseño geométrico, capacidad vial y flujo vehicular correspondientes a estos ejes para demostrar su influencia sobre la congestión vehicular de la ciudad.

El análisis se basó en la metodología del Modelo de Bazant, para el cálculo de carga vehicular de las avenidas primarias de cada eje transversal, demostrando el gran volumen de vehículos generado por la necesidad de viajes dentro de la ciudad a través de estos ejes. También se usó la metodología del HCM 2010 para el análisis de la capacidad y niveles de servicio de las intersecciones semaforizadas críticas de cada eje.

Los resultados más relevantes de la presente investigación permiten afirmar que las vías transversales cuentan con una capacidad vial insuficiente y un diseño geométrico de muy irregular, en algunos casos debido a la existencia del aeropuerto Velasco Astete. Se concluye también que, en caso de solucionar estas carencias de diseño e infraestructura, mediante la reubicación del aeropuerto, se estima una redistribución de volumen vehicular al año 2027, en una red vial articulada por ejes transversales continuos y homogéneos en diseño, que conecten el lado norte y sur de la ciudad, logrando así mejorar la fluidez de la circulación vehicular.



**APORTE:** Esta tesis recomienda realizar un análisis y planteamiento de los tiempos semafóricos en las intersecciones de las avenidas en estudio para la optimización del flujo de la circulación en las propuestas de solución. Así mismo, se tomó como recomendación hacer un estudio preliminar para identificar el horario y el día en la semana para proceder a hacer los aforos vehiculares.

2. **TÍTULO:** “Análisis del nivel de servicio y capacidad vehicular de la avenida San Martín de Porres, ubicada entre la avenida Atahualpa y la avenida Argentina, aplicando la metodología del HCM 2010”.

**AUTOR:** María del Rosario Alcántara Quispe.

**UNIVERSIDAD:** Universidad Nacional de Cajamarca.

**CIUDAD:** Cajamarca, Perú.

**AÑO:** 2018

**RESUMEN:** En la presente investigación el tramo de la avenida San Martín de Porres, ubicada entre la avenida Atahualpa y la avenida Argentina está constituido de pavimento rígido y aceras de concreto, además consta de dos calzadas de circulación separados por una berma central. Para determinar el nivel de servicio vehicular se aplicó el capítulo 17: Segmentos de calles urbanas del HCM 2010 (versión actualizada de la metodología del HCM 2000). Para realizar el análisis del nivel de servicio se dividió la vía en segmentos teniendo en cuenta el sentido de circulación vehicular, obteniendo el segmento I (circulación vehicular de la Av. Atahualpa hacia la Av. Argentina) y el segmento II (circulación vehicular de la Av. Argentina hacia la Av. Atahualpa). Se realizó un aforo diario desde las 7:00 am hasta las 8:00 pm en intervalos de 15 minutos, por una semana, determinándose que para ambos segmentos el día de mayor volumen vehicular es el día lunes y la hora de mayor volumen vehicular está comprendida entre las 6:30 pm a 7:30pm para el segmento I y entre las 6:00 pm a 7:00 pm para el segmento II; así mismo el intervalo de 15 minutos con mayor volumen vehicular es de 6:45 pm a 7:00 pm. El volumen correspondiente a los 15 minutos de máxima demanda, desde las 6:45 pm hasta 7:00 pm, es de 400 vehículos para el segmento I y de 339 vehículos para el segmento II. El volumen de la hora de máxima de manda es de 1231 vehículos para el segmento I (6:30 pm a 7:30 pm) y de 1240 vehículos para el segmento II (6:00 pm a 7:00 pm). Posteriormente mediante la aplicación de las ecuaciones que el método





establece se calculó la velocidad de flujo libre base y la velocidad de desplazamiento, obteniéndose que la velocidad de flujo libre base es de 41.15 mi/h (66.22 km/h) para el segmento I y 41.20 mi/h (66.31 km/h) para el segmento II. Así mismo la velocidad de desplazamiento es de 14.68 mi/h (23.62 km/h) para el segmento I y de 11.69 mi/h (18.81 km/h) para el segmento II. Luego se calculó la relación porcentual entre la velocidad de flujo base y la velocidad de desplazamiento para determinar el nivel de servicio. El tramo de la Av. San Martín, ubicado entre la Av. Atahualpa y Av. Argentina posee un nivel de servicio variable debido a que el segmento I posee un nivel de servicio E y el segmento II un nivel de servicio F, además la capacidad vehicular del segmento I es de 1600 veh/h y del segmento II es de 1356 veh/h.

**APORTE:** El aporte de esta tesis es la determinación y utilización del índice de congestión para evidenciar el congestionamiento en los segmentos urbanos en estudio que nos sirve para comparar demoras.

3. **TÍTULO:** “Solución Vial de la Av. Primavera comprendida entre las Avenidas La Encalada y José Nicolás Rodrigo, Lima-Lima-Surco”.

**AUTORES:** Christian Gonzalo Nuñez Castillo y César Villanueva Troncoso.

**UNIVERSIDAD:** Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

**CIUDAD:** Lima, Perú.

**AÑO:** 2014

**RESUMEN:** La presente tesis analiza las condiciones de tráfico actual y futuro en la Av. Primavera, comprendida entre las avenidas La Encalada y José Nicolás Rodrigo. Tomando como base los flujos vehiculares que ingresan por la intersección de la avenida La Encalada y Primavera, centrandolo el análisis en las intersecciones de la Av. Primavera con las avenidas Central/Aldebarán y José Nicolás Rodrigo. Se tomaron datos para calcular la capacidad de la infraestructura vial actualmente instalada, tales como control de tráfico, dispositivos viales dentro de la zona de estudio y geometría de la zona, así como los flujos vehiculares que ingresan la Av. Primavera por las avenidas mencionadas. Esta tesis se basa primordialmente en la metodología Highway Capacity Manual (HCM). Es así que con los datos obtenidos se determina la demanda vehicular que incide en la zona de estudio y luego se realiza el análisis de resultados obtenidos de la modelación en el Software Synchro tanto para la situación actual y 4 escenarios que



buscan solucionar los problemas de demoras, saturación y niveles de servicio tanto por intersección y acceso, proyectando el flujo vehicular a 5 años, periodo valido de proyección para un proyecto Vial Urbano, basándonos en el crecimiento vehicular del Distrito donde se encuentra nuestra zona de estudio, el Distrito de Santiago de Surco.

**APORTE:** Se tomó la siguiente recomendación respecto a las alternativas de solución, estas no deberían aumentar la capacidad de la infraestructura vial, sino, buscar disminuir la demanda vehicular. Así mismo, se tomó como aporte la aplicación de la metodología del HCM para intersecciones semaforizadas.

4. **TÍTULO:** “Análisis vial de la intersección sin semáforo Av. Bolognesi-c/Ramón Castilla cercana al nuevo puente Chilina. Cayma - Arequipa 2015”.

**AUTOR:** Juan Ramiro Flores Zarzosa.

**UNIVERSIDAD:** Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

**CIUDAD:** Arequipa, Perú.

**AÑO:** 2015

**RESUMEN:** La presente tesis tiene por finalidad proporcionar los análisis de una intersección cercana al nuevo Puente Chilina y proponer una alternativa de solución eficaz a los problemas de tráfico en la ciudad de Arequipa.

Se describen los procedimientos, paso a paso, utilizando las metodologías de glorietas (comúnmente denominados óvalos o rotondas) y de doble vía controladas por señales de parada (sus siglas en inglés TWSC- two way stop control). Las variables más importantes que se describen en cada análisis son: capacidad y nivel de servicio. Estas variables determinan la situación en que se encuentra la intersección en los escenarios de análisis (años 2015 y 2030) y las medidas correctivas que se pueden adoptar.

También se destacan las figuras, tablas y anexos, que relacionan los análisis y la interpretación de los resultados de manera más dinámica y práctica. Las posibles soluciones son sólo propuestas hechas con unas metodologías, no significa necesariamente que se aplicarán a esta intersección y sus alrededores, más bien pueden ser usados como consulta para otro diseño o análisis. Lo más importante de estas medidas es contar con un nivel de servicio adecuado y eficiente en las intersecciones,



atenuando así las demoras y brindando a los conductores arequipeños seguridad, comodidad y eficiencia.

**APORTE:** El aporte de esta tesis es la aplicación de la metodología del HCM para intersecciones no semaforizadas controladas con dos señales de PARE (TWSC).

### 2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional

1. **TÍTULO:** “Aplicación del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM), Para la Evaluación del Nivel de Servicio en el Tramo de Carretera rural de dos Carriles Santa Clara-Universidad”.

**AUTOR:** Patricia Milagros García Castañeda.

**UNIVERSIDAD:** Universidad Central Marta Abreu De Las Villas.

**CIUDAD:** Santa Clara, Cuba.

**AÑO:** 2016

**RESUMEN:** En el presente estudio se realiza un análisis de la carretera Santa Clara-Entronque de Vueltas, en el tramo Circunvalación-Universidad; debido al aumento de la circulación vehicular que viene teniendo dicha vía, producto del incremento de la población en la zona rural, al mismo tiempo porque constituye la principal forma de acceso al polo turístico Cayo Santa María; y a la variedad de vehículos que circulan por dicha carretera. Con el fin de determinar la calidad del nivel de servicio que la vía ofrece a los usuarios se aplicó la metodología propuesta en el Highway Capacity Manual versión 2000 (HCM versión 2000), realizando el cálculo de este tanto por el método manual como por el computarizado, obviando en este ultimo la existencia de bicicletas, VTA y motores, los cuales son propios de las condiciones del tránsito cubano.

**APORTE:** El aporte de la tesis es la corroboración y recomendación del uso del manual HCM para el análisis de capacidad y nivel de servicio para carreteras de dos carriles.

2. **TÍTULO:** Determinación del nivel de servicio en calles urbanas

**UNIVERSIDAD:** Universidad Técnica Federico Santa María

**AUTORES:** Ivan Francisco Sabando Santibañez.

**CIUDAD:** Valparaíso, Chile.



**AÑO:** 2017

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo es entregar una guía práctica que permita evaluar el nivel de servicio proporcionado a los usuarios de una instalación de transporte urbano, aportando así, un conjunto de herramientas y criterios técnicos para el estudio de problemas relacionados con el diseño, la operación y la evaluación de proyectos de vialidad urbana nacional.

Para esto, se realizó una revisión bibliográfica del tema, principalmente de la última publicación del Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual 2010). De esta manera, se establecieron una serie de criterios necesarios para determinar el nivel de servicio en calles urbanas. Estos criterios se basan en medidas de desempeño que son medibles en terreno y perceptibles por los viajeros, como son la velocidad de viaje y la demora, las cuales reflejan los factores que influyen en el tiempo de viaje a lo largo de un segmento de calle y el retraso que se produce en intersecciones semaforizadas. A su vez, estas medidas de desempeño indican el grado de movilidad proporcionado por la instalación de transporte.

Luego, según los criterios utilizados para determinar el nivel de servicio en calles urbanas, se realizó la aplicación de esta guía práctica a la realidad nacional en un eje vial urbano, Fermín Vivaceta, Santiago, donde se obtuvo como resultado un nivel de servicio que refleja un funcionamiento estable de la instalación vial analizada. Sin embargo, al considerar un análisis individual por tramo, se detectó que un segmento de análisis operaba en condiciones de servicio inaceptables, por lo cual, debe ser considerado en el contexto general de la interpretación del nivel de servicio.

Se concluyó, finalmente, que la propuesta para determinar el nivel de servicio en las calles urbanas es aplicable a la realidad nacional, permitiendo complementar el desarrollo de proyectos de vialidad urbana y ayudando a la toma de decisiones sobre si el desempeño de una instalación vial es aceptable y si un futuro cambio en su funcionamiento podrá ser percibido como significativo por los usuarios.

**APORTE:** El aporte de esta tesis es la aplicación de la metodología del HCM para segmentos urbanos considerando la velocidad límite, con resultados que están acorde a la realidad del sitio de estudio.



## 2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

### 2.2.1 Sistema de Transporte

Según Hoel, Garber y Sadek (2011), el transporte proporciona los medios para viajar con fines de empleo, exploración o realización personal y es una condición necesaria para actividades humanas como el comercio, la recreación y la defensa. El transporte se define como el movimiento de personas y bienes para satisfacer las necesidades básicas de la sociedad que requieren movilidad y acceso. El propósito del transporte es proporcionar un mecanismo para el intercambio de bienes, personas, información y para apoyar mejoras económicas para la sociedad.

Según Roess, Prassas y McShane (2011), los sistemas de transporte proporcionan movilidad y accesibilidad a la población del país. Los dos conceptos están fuertemente interrelacionados, pero tienen elementos claramente diferentes. Un buen sistema de transporte debe proporcionar tanto la movilidad como la accesibilidad y debe diseñarse para separar las funciones en la medida de lo posible para garantizar la seguridad y la eficiencia.

De la siguiente manera, Hoel, Garber y Sadek (2011) definen un sistema de transporte como un conjunto de componentes interrelacionados que realizan varias funciones para lograr un objetivo común y, por lo tanto, es una entidad que mantiene su existencia y funciones como un todo a través de la interacción de sus partes. El comportamiento de los diferentes sistemas depende de cómo se relacionan las partes y no de las partes mismas. Los sistemas tienen varias características básicas: Primero, para que un sistema funcione correctamente, todos sus componentes deben estar presentes y ordenados de una manera específica, teniendo esto en cuenta, que los sistemas tienen propiedades que van más allá de los componentes que los componen, además, cuando se cambia un elemento en un sistema, puede haber efectos secundarios; Segundo, los sistemas tienden a tener propósitos específicos dentro del sistema más grande en el que están integrados, y esto es lo que le da a un sistema la integridad que lo mantiene unido como para los sistemas de transporte, el objetivo obvio es mover personas y bienes de manera eficiente y segura; y en tercer lugar, los sistemas tienen retroalimentación, lo que permite la transmisión y devolución de información.

Lo mencionado por Teodorović y Janić (2017), cada modo de transporte y sus sistemas particulares consisten en infraestructura de transporte, vehículos, instalaciones de apoyo, equipos y personal. Estos elementos se utilizan para configurar redes de transporte para atender la demanda de pasajeros y mercancías, de acuerdo con las reglas y procedimientos



especificados. Los últimos están destinados a proporcionar eficiencia y efectividad de los servicios de transporte realizados, por un lado, y operaciones seguras del sistema, por el otro. La infraestructura del modo de transporte por carretera generalmente incluye carreteras, puentes, túneles y terminales, estaciones de pasajeros y carga, carga y pasajeros. Los vehículos operados por el modo de transporte por carretera generalmente incluyen, por un lado, buses y autobuses de pasajeros a diésel, gasolina y camiones, todos de diferente tamaño y otras características técnico-tecnológicas.



Figura 16. Sistema de Transporte

Fuente: Registel (<http://registelcolombia.com/stransp.html>). Adaptación Propia.

Así mismo, Nuñez y Villanueva (2014) indican que los distintos modos de transporte guardan una función de necesidad, la cual une los distintos lugares con las distintas actividades que se puedan desarrollar para generar algún tipo de beneficio por más mínimo que sea. Es en este punto, donde el sentido de la Ingeniería de Transporte guarda un papel crucial en la economía de un país, región o localidad, ya que, en el territorio donde se instale una sociedad, el uso de suelo va a estar regido por algún sistema de Transporte.

El desarrollo de este Sistema de Transporte, en su mayoría, está regido bajo un modelo de asignación, el cual guarda una enorme complejidad debido a la cantidad de variables y funciones que intervienen en la elaboración de matrices origen-destino (O-D) las cuales se van a generar por la necesidad de obtener algún beneficio de alguna actividad. El concepto base para entender un problema de tránsito identificado es, en cualquier calle, zona, ciudad y región,

entender los dos elementos que originan la toma de decisiones de un plan integral de transporte: la demanda vehicular y la oferta vial.

### 2.2.1.1 Modos de Transporte

Según Teodorović y Janić (2017), los modos de transporte que constituyen el componente de suministro generalmente se clasifican de acuerdo con la forma de realizar sus operaciones de transporte de personas y envíos de carga. En general, los modos básicos de transporte terrestre incluyen carreteras, ferrocarriles y tuberías. El modo a base de agua incluye las vías navegables interiores y el transporte marítimo. El transporte aéreo es el modo basado en el aire. El modo específico es el transporte intermodal que consiste en combinaciones de modos básicos particulares y sus sistemas. Además, el modo de no llevar a cabo entidades físicas sino solo información es de telecomunicaciones. La siguiente figura muestra un esquema simplificado de la estructura del sector del transporte, sus modos y sus sistemas.

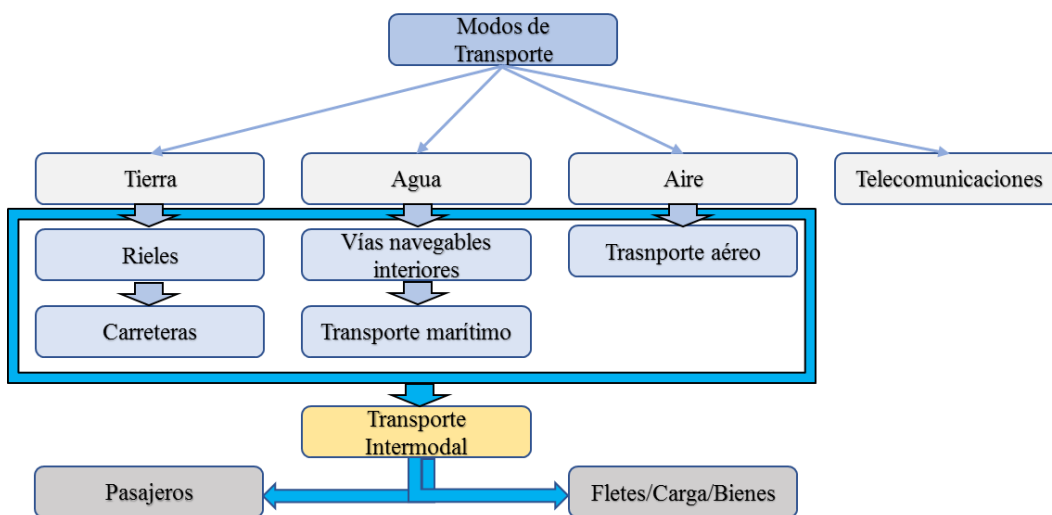


Figura 17. Modos de Transporte.

Fuente: *Transportation Engineering: Theory, Practice, and Modeling*. (Teodorović y Janić, 2017). Adaptación Propia.

Además, Garber y Hoel (2009) indican que los modos incluidos en el ámbito del transporte público son el transporte masivo, caracterizado por rutas fijas, horarios publicados, redes designadas y paradas específicas. Los vehículos de tránsito masivo incluyen autobuses, trenes ligeros o tránsito rápido que comparten espacio en tráfico mixto u operan en derechos de paso separados por grado. *Paratransit* se caracteriza por un servicio flexible y personalizado destinado a reemplazar las líneas de tránsito masivo convencionales de rutas fijas y horarios fijos. *Paratransit* está disponible para el público a pedido, por suscripción o en viajes compartidos. Los ejemplos incluyen taxi, alquiler de automóviles, servicios telefónicos, y servicios especializados para ancianos, médicos y otros usuarios designados. El viaje



compartido (como su nombre lo indica) se caracteriza por dos o más personas que viajan juntas por acuerdo previo, como viaje compartido, vanpool o taxi de viaje compartido.

Teodorović y Janić (2017) añaden que, con respecto a la escala espacial, el modo de transporte por carretera y ferrocarril puede operar en escala urbana, suburbana e interurbana. De esta manera, sirven a las áreas urbanas, regiones y un país. El modo de vías navegables interiores funciona a escala regional, nacional y continental. El modo de transporte marítimo (marítimo) generalmente opera en el país, continente y escala intercontinental. El modo de transporte aéreo opera a escala nacional, continental e intercontinental. El transporte intermodal, según la combinación modal, opera a escala nacional, continental e intercontinental. En cualquier escala espacial, los modos de transporte atienden la demanda de pasajeros y carga aérea durante el período de tiempo especificado.

Roess, Prassas y McShane (2011) mencionan que el ingeniero de tráfico se ocupa de todos estos modos de varias maneras. Todos los modos de transporte por carretera, automóviles, autobuses y camiones son los principales usuarios de los sistemas de carreteras. El acceso por carretera a las terminales ferroviarias y aéreas es fundamental para su efectividad, al igual que el diseño de instalaciones de transferencia específicas para personas y carga. El acceso general, la circulación interna, el estacionamiento, las zonas peatonales y las terminales tanto para personas como para carga son proyectos que requieren la pericia del ingeniero de tráfico. Además, la integración efectiva de los sistemas de transporte multimodal es un objetivo importante para maximizar la eficiencia y minimizar los costos asociados con todas las formas de viaje.

Así mismo, Mannering y Washburn (2013) indican que de los modos de transporte urbano disponibles (como autobuses, trenes de cercanías, metro, vehículos privados y otros), los vehículos privados (y en particular los vehículos privados de un solo ocupante) ofrecen un nivel de movilidad inigualable. El vehículo privado para un solo ocupante ha sido una opción tan dominante que los viajeros han estado dispuestos a pagar costos de capital y operativos sustanciales, afrontan altos niveles de congestión y luchan con los problemas relacionados con el estacionamiento solo para tener la flexibilidad en la hora de salida del viaje y las opciones de destino que es proporcionado únicamente por los vehículos privados. En los últimos 50 años, el porcentaje de viajes tomados en vehículos privados ha aumentado de un poco menos del 70 por ciento a más del 90 por ciento (el transporte público y otros modos componen el saldo). Durante este mismo período, la ocupación promedio de vehículos privados se redujo de 1,22 a



1,09 personas por vehículo, lo que refleja el hecho de que el vehículo de un solo ocupante se ha convertido en un modo de viaje cada vez más dominante.

#### 2.2.1.2 Vías y Espacios Públicos

Según de Benito, García, Juncà, de Rojas y Santos (2005), las vías y espacios públicos forman el tablero en el que se despliegan las actividades cotidianas, resultando decisivo que en ese tapiz no se planteen dificultades de movilidad, desplazamiento y uso.

Por su parte Velázquez (2015) sostiene que es un sistema de redes o de conjunto de elementos, tanto si son calles y plazas como si son infraestructuras de comunicación (estaciones de trenes y autobuses), áreas comerciales, equipamientos culturales, es decir espacios de uso colectivos debido a la apropiación progresiva de la gente que permiten el paseo y el encuentro, que ordenan cada zona de la ciudad y le dan sentido, que son el ámbito físico de la expresión colectiva y de la diversidad social y cultural. Es decir, que el espacio público es el espacio principal del urbanismo, de la cultura urbana y de la ciudadanía. Es un espacio físico, simbólico y político.

Nuevamente de Benito, García, Juncà, de Rojas y Santos (2005) agregan que las vías públicas son los espacios de dominio y uso público destinados a posibilitar el movimiento de los peatones, los vehículos y los medios de transporte colectivo de superficie habituales en las áreas urbanas, así como la estancia de peatones y el estacionamiento de vehículos en dichos espacios. Las vías públicas, consideradas como ámbito clave en donde se produce un intercambio diario de experiencias, requieren que se les preste especial atención en cuanto a la aplicación de criterios de accesibilidad universal. Son todos aquellos espacios públicos en los que predomina la disposición lineal, y en los que está regulada la circulación de peatones, vehículos privados, transportes públicos, vehículos para la prestación de servicios comunitarios (tales como limpieza de vías públicas, conservación y mantenimiento, recogida de basuras, ambulancias, bomberos, policía), y aquellos otros vehículos que transporten mercancías, siempre que dispongan del correspondiente permiso.

Según su uso, pueden distinguirse:

- Vías públicas de carácter exclusivamente peatonal.
- Vías públicas con templado de tráfico o de uso restringido de éste.
- Vías públicas de uso mixto de peatones y vehículos.
- Vías públicas de marcado carácter interurbano, en las que predomina la circulación de vehículos con un elevado flujo circulando a velocidades superiores a las establecidas en el casco urbano.



### 2.2.1.3 Movilidad y accesibilidad

#### 2.2.1.3.1 Movilidad

Según el DRAE (Diccionario de la Real Academia Española), ‘movilidad’ (del latín *mobilitas*, *-ātis*) significa “cualidad de movable”. Y movable (del latín *movibilis*) quiere decir “que por sí puede moverse, o es capaz de recibir movimiento por ajeno impulso”.

Santos y De las Rivas (2008) indican que en realidad las anteriores (párrafo anterior) son acotaciones atinadas, pues puede desprenderse del Diccionario la idea de que la movilidad es un atributo individual o colectivo, propio de las personas, aunque trasladable también a los vehículos o medios de desplazamiento.

Además, sostienen que es el conjunto de desplazamientos que las personas y los vehículos deben hacer por motivo laboral, formativo, sanitario, social, cultural o de ocio, o por cualquier otro.”

Por su parte, Roess, Prassas y McShane (2011) manifiestan que la movilidad se refiere a la capacidad de viajar a muchos destinos diferentes, mientras que la accesibilidad se refiere a la capacidad de obtener acceso a un sitio o área en particular. La movilidad ofrece a los viajeros una amplia gama de opciones en cuanto a dónde ir para satisfacer las necesidades particulares. La movilidad permite a los compradores elegir entre muchos centros comerciales y tiendas de la competencia. Del mismo modo, la movilidad ofrece al viajero muchas opciones para todo tipo de propósitos de viaje, incluidos viajes recreativos, viajes médicos, viajes educativos e incluso el viaje al trabajo.

#### 2.2.1.3.2 Accesibilidad

Según el DRAE, ‘accesibilidad’ significa “cualidad de accesible”. Y el sentido de ‘accesible’ (del latín *accessibilis*) es “que tiene acceso”.

Santos y De las Rivas (2008) indican que en realidad las anteriores (párrafo anterior) son acotaciones atinadas, pues puede desprenderse del Diccionario la idea de que la accesibilidad es un atributo espacial, propio de los lugares, las ciudades y los territorios. Además, sostienen que es la capacidad de llegar en condiciones adecuadas a los lugares de residencia, trabajo, formación, asistencia sanitaria, interés social, prestación de servicios u ocio, desde el punto de vista de la calidad y disponibilidad de las infraestructuras, redes de movilidad y servicios de transporte.





Por su parte, Roess, Prassas y McShane (2011) manifiestan que la accesibilidad es un factor importante en el valor del sitio (predio, lugar, edificio, etc.). Cuando el sitio puede ser visitado por muchos viajeros de muchos orígenes potenciales, es más deseable para el desarrollo y, por lo tanto, más valiosa. Por eso, la proximidad del sitio a las principales autopistas y las instalaciones de transporte público es un factor importante que determina su valor.

#### 2.2.1.4 Estructura del Sistema de Transporte

Según Hoel, Garber y Sadek (2011), un sistema de transporte consta de tres componentes: elementos físicos, recursos humanos y reglas de operación.

Así mismo, Tapia y Veizaga (2006) añaden que es muy importante tener en cuenta el comportamiento del usuario para la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor.

##### 2.2.1.4.1 El Usuario

Según Tapia y Veizaga (2006), el usuario está relacionado con los peatones y conductores, que son los elementos principales a estudiar para mantener el orden y seguridad de las calles y carreteras.

- El peatón

Según Cal y Mayor y Cárdenas (2018), se puede considerar como peatón potencial a la población en general, desde personas de un año hasta de cien años. Prácticamente todos somos peatones, por lo tanto, a todos nos interesa este aspecto. También puede decirse, que el número de peatones en un país casi equivale al censo de la población. En la mayoría de los casos las calles y carreteras son compartidos por los peatones y vehículos, excepto en la Autopistas el tráfico de los peatones es prohibido. Los accidentes sufridos por peatones se deben a que no respetan las zonas destinadas a ellos, ya sea por falta de conocimiento u otro factor.

- El conductor

Según Tapia y Veizaga (2006), el conductor constituye el elemento de tránsito más importante, ya que el movimiento y calidad de circulación de los vehículos dependerá fundamentalmente de ellos para adaptarse a las características de la carretera y de la circulación. Para el estudio de los conductores es necesario conocer el comportamiento o factores que influyen en sus condiciones físicas y psíquicas, sus conocimientos, su estado de ánimo, etc.

- En las acciones del conductor



Según Pande y Wolshon (2016), conducir es una tarea compuesta de muchas subtareas, algunas de las cuales deben realizarse en paralelo. Las tres subtareas principales son:

- **Control:** Mantener el vehículo a una velocidad y posición deseadas dentro del carril.
- **Orientación:** Interactúa con otros vehículos (siguiendo, pasando, fusionándose, etc.) a través del control de avance y mediante las siguientes marcas, señales y señales.
- **Navegación:** Seguir un camino desde el origen hasta el destino leyendo los signos y mapas de la guía y usando los puntos de referencia.

#### 2.2.1.4.2 Elementos Físicos

Según Hoel, Garber y Sadek (2011), los elementos físicos incluyen infraestructura vial, vehículos, equipo y sistemas de control, comunicaciones y localización:

- **Infraestructura Vial**

La infraestructura se refiere a las partes fijas de un sistema de transporte. Estos incluyen rutas de viaje, terminales y estaciones. La infraestructura varía dependiendo del vehículo o modo de transporte. Por ejemplo, las autopistas y las carreteras son infraestructuras para automóviles y camiones. El transporte ferroviario requiere vías férreas, y el transporte aéreo utiliza corredores aéreos específicos. Se requieren terminales para autobuses, ferrocarriles, aviones, camiones y barcos. Los terminales cumplen funciones de despacho y almacenamiento regulando la llegada y salida de vehículos y el almacenamiento de vehículos y carga. Representan puntos donde los usuarios pueden ingresar o salir del sistema, y sirven como puntos de intercambio intermodal para cambiar de un modo a otro. Las estaciones solo sirven un subconjunto de las funciones servidas por los terminales. Principalmente son puntos de salida o entrada del sistema.

- **Vehículos**

Los vehículos son los elementos de un sistema de transporte y se mueven a lo largo de la ruta. Incluyen automóviles, autobuses, locomotoras, vagones de ferrocarril, barcos y aviones, etc. La mayoría de los vehículos son autopropulsados (por ejemplo, automóviles, locomotoras, barcos y aviones) y algunos son sin propulsión (por ejemplo, vagones de ferrocarril, barcasas y remolques de camiones).

- Según el Reglamento Nacional de Vehículos (2003), los vehículos automotores se clasifican de la siguiente manera:

**Categoría M:** Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de pasajeros.

**M1:** Vehículos de ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor.



Figura 18. Vehículos M1.

Fuente: Reglamento Nacional del Sistema de Emisión de Licencias de Conducir. (MTC, 2016). Adaptación Propia.

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



Figura 19. Vehículos M2.

Fuente: Reglamento Nacional del Sistema de Emisión de Licencias de Conducir. (MTC, 2016). Adaptación Propia.

**M3:** Vehículos de más de ocho asientos, sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 toneladas.



Figura 20. Vehículos M3.

Fuente: Reglamento Nacional del Sistema de Emisión de Licencias de Conducir. (MTC, 2016). Adaptación Propia.

Los vehículos de las categorías M2 y M3, a su vez de acuerdo con la disposición de los 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 provisto para dos asientos dobles.

**Clase III:** Vehículos construidos exclusivamente para el transporte de pasajeros sentados.

**Categoría N:** Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de mercancía.

**N1:** Vehículos de peso bruto vehicular de 3,5 toneladas o menos.



Figura 21. Vehículos N1.

Fuente: Reglamento Nacional del Sistema de Emisión de Licencias de Conducir. (MTC, 2016).

**N2:** Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 3,5 toneladas hasta 12 toneladas.

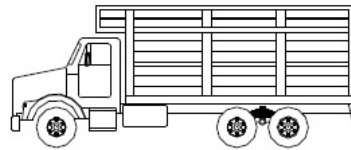


Figura 22. Vehículos N2.

Fuente: Reglamento Nacional del Sistema de Emisión de Licencias de Conducir. (MTC, 2016).

**N3:** Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 12 toneladas.



Figura 23. Vehículos N2.

Fuente: Reglamento Nacional del Sistema de Emisión de Licencias de Conducir. (MTC, 2016). Adaptación Propia.

**Categoría O:** Remolques (incluidos semiremolques).

**O1:** Remolques de peso bruto vehicular de 0,75 toneladas o menos.

**O2:** Remolques de peso bruto vehicular de más 0,75 toneladas hasta 3,5 toneladas.



**O3:** Remolques de peso bruto vehicular de más de 3,5 toneladas hasta 10 toneladas.

**O4:** Remolques de peso bruto vehicular de más de 10 toneladas.

Se consideran como vehículos ligeros aquellos correspondientes a las categorías L (vehículos automotores con menos de cuatro ruedas) y M1 (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros con ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor).

Son considerados como vehículos pesados, los pertenecientes a las categorías M (vehículos automotores de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros, excepto la M1), N (vehículos automotores de cuatro ruedas o más, diseñados y contruidos para el transporte de mercancías), O (remolques y semirremolques) y S (combinaciones especiales de los M, N y O).

- Equipo

El equipo se refiere a los componentes físicos cuya función principal es facilitar el proceso de transporte. Los ejemplos incluyen quitanieves, vehículos de mantenimiento de vía férrea y cintas transportadoras de manejo de equipaje en los aeropuertos.

- Sistemas de control

El control involucra los elementos necesarios para asignar el derecho de vía. La asignación de los derechos de paso requiere centros de control de tránsito aéreo, señales de tráfico y señales de rutas de viaje.

- Sistemas de comunicación y localización

Los sistemas de comunicaciones vinculan los centros de control de tráfico con los equipos de camino tales como señales de mensajes variables, señales de tráfico, vehículos de tránsito, controladores de tráfico aéreo y pilotos. Los sistemas de ubicación identifican vehículos individuales en tiempo real, utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS) para rastrear vehículos como vehículos de tránsito, camiones y vehículos de emergencia, aumentando así la eficiencia de enrutamiento.





#### 2.2.1.4.3 Recursos Humanos

Los recursos humanos, esenciales para el funcionamiento de los sistemas de transporte, incluyen operadores de vehículos tales como conductores de camiones y autobuses, ingenieros ferroviarios, pilotos de líneas aéreas, trabajadores de mantenimiento y construcción, gerentes de transporte y profesionales que utilizan el conocimiento y la información para avanzar en la empresa de transporte. Entre los gerentes de transporte se encuentran los planificadores estratégicos, el personal de gestión de marketing y mantenimiento, los analistas de sistemas de investigación y de operaciones, y los administradores.

#### 2.2.1.4.4 Reglamentación del Funcionamiento

Las reglas de operación incluyen cronogramas, asignación de tripulación y patrones de conexión.

- Cronogramas

Los horarios definen los horarios de llegada y salida de los vehículos de transporte en las diferentes terminales y estaciones de transporte. Además, la adherencia al cronograma juega un papel importante en la determinación de la calidad del servicio de un modo de transporte dado.

- Asignación de la tripulación

La asignación de la tripulación implica la asignación de operadores a los diferentes vehículos (por ejemplo, la asignación de conductores de autobuses a los diferentes autobuses en la flota de una agencia de tránsito, la asignación de pilotos y auxiliares de vuelo a los vuelos, etc.). Es una tarea desafiante, ya que cada asignación debe cumplir una serie de restricciones. Estos incluyen la cantidad máxima de horas continuas que una persona puede trabajar, la necesidad de unir los operadores del vehículo con el tipo de vehículo para el que están certificados para operar y la necesidad de minimizar los costos.

- Patrones de conexión

Los patrones de conexión se refieren a cómo se organiza el servicio en el sistema o la red de transporte. Un ejemplo es el sistema *hub and spoke* en el que personas y carga se transportan desde varias ciudades a un área central, en cuyo punto los viajes se consolidan de acuerdo con el destino final.

El sistema *hub and spoke* presenta una serie de problemas operativos desafiantes. Estos incluyen la necesidad de considerar el tiempo requerido para la transferencia de un vehículo a otro, la necesidad de un cumplimiento estricto del cronograma y la sensibilidad del sistema a las perturbaciones externas en forma de incidentes o inclemencias del tiempo.

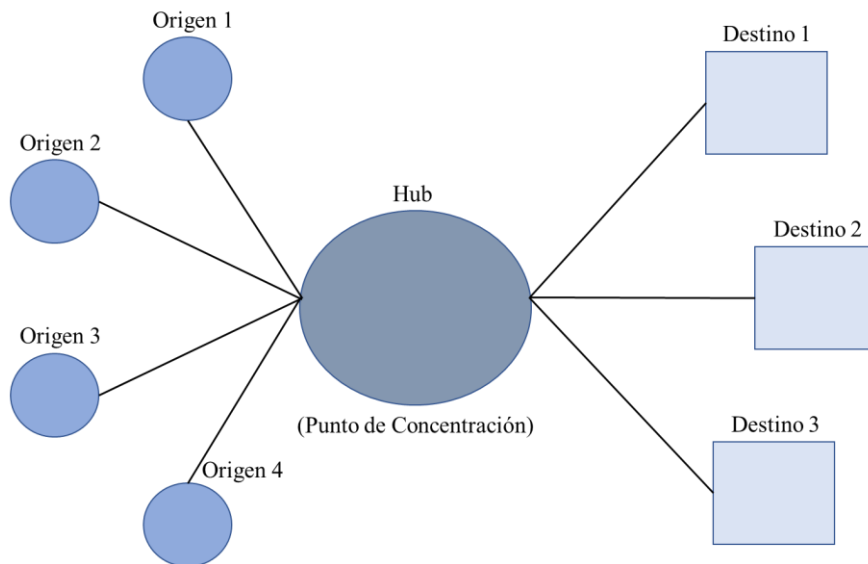


Figura 24. Sistema Hub-and-spoke.

Fuente: *Transportation Infrastructure Engineering: A Multimodal Integration* (Hoel, Garber y Sadek, 2011), Adaptación Propia.

### 2.2.2 Clasificación de la Infraestructura Vial

Según Cal y Mayor y Cárdenas (2018), dentro de un criterio amplio de planeación, la red vial, tanto rural como urbana, se debe clasificar de tal manera que se puedan fijar funciones específicas a las diferentes carreteras y calles, para así atender las necesidades de *movilidad* de personas y mercancías, de una manera rápida, confortable y segura, y a las necesidades de *accesibilidad* a las distintas propiedades o usos del área colindante. Para facilitar la movilidad es necesario disponer de carreteras y calles *rápidas*, y para incrementar la accesibilidad es indispensable contar con carreteras y calles *lentas*. Naturalmente entre estos dos extremos aparece todo el sistema de carreteras (rurales) y calles (urbanas). Las carreteras y calles principales son de accesos controlados destinados a proveer alta movilidad a grandes volúmenes de tránsito de paso y de poco o nulo acceso a la propiedad lateral; mientras que las carreteras y calles locales son de accesos no controlados que proveen fácil acceso a la propiedad lateral, de volúmenes de tránsito menores y raramente utilizadas por el tránsito de paso. La

siguiente figura presenta en forma gráfica los grados de movilidad y accesibilidad de un sistema vial.

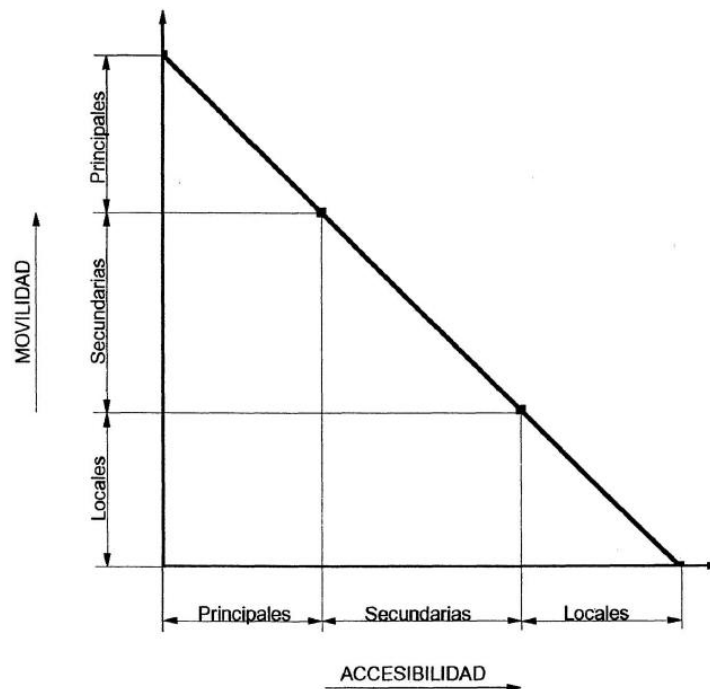


Figura 25. Clasificación Funcional de un Sistema de Vial

Fuente: Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones 8va. Edición (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018).

#### 2.2.2.1 Autopistas

Según Cal y Mayor y Cárdenas (2018), las autopistas son las que facilitan el movimiento expedito de grandes volúmenes de tránsito entre áreas a través o alrededor de la ciudad o área urbana. Son divididas, con control total de sus accesos y sin comunicación directa con las propiedades colindantes. Una autopista tiene separación total de los flujos conflictivos, en tanto que una vía rápida puede o no tener algunas intersecciones a desnivel, pero puede ser la etapa anterior de una autopista. Estos dos tipos de arterias forman parte del sistema o red vial primaria de un área urbana.

Además, Roess, Prassas y McShane (2011) indican que la instalación de acceso limitado (autopista) proporciona el 100% del servicio de movimiento o la movilidad. No se permite el acceso directo a los usos contiguos de la tierra.

#### 2.2.2.2 Carreteras de Dos Carriles

Según el Manual de Carreteras – Diseño Geométrico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (MTC 2018), es un camino para el tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes, cuyas características geométricas, tales como: pendiente longitudinal,



pendiente transversal, sección transversal, superficie de rodadura y demás elementos de esta, deben cumplir las normas técnicas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Así mismo, Roess, Prassas y McShane (2011) sostienen que las carreteras son un componente principal del sistema de tránsito, y las características específicas de su diseño tienen un impacto significativo en las operaciones de tráfico. Hay dos categorías principales de servicio proporcionadas por las carreteras y los sistemas de carreteras que son la accesibilidad y la movilidad.

Por su parte Cal y Mayor y Cárdenas (2018) manifiesta que una carretera de dos carriles se define como una calzada que tiene un carril disponible para cada sentido de circulación. Los rebases a los vehículos lentos se efectúan en el carril del sentido opuesto, siempre y cuando lo permitan las condiciones físicas o geométricas de la carretera (suficiente distancia de visibilidad) y de tránsito (magnitud de los intervalos entre vehículos del sentido opuesto). Esto significa que las características geométricas que restringen la distancia de visibilidad de rebase, también restringen la capacidad.

#### 2.2.2.2.1 Clasificación de Carreteras de dos Carriles

Según la Transportation Research Board (Comité de Investigación de Transporte) con sus siglas en inglés TRB (2010) las carreteras de dos carriles se clasifican en tres clases para su análisis:

- Carreteras de dos carriles Clase I: Son carreteras donde los conductores esperan viajar a velocidades relativamente altas. Las carreteras de dos carriles que son las principales rutas interurbanas, los conectores principales de los principales generadores de tráfico, las rutas diarias de los pasajeros o los enlaces principales en las redes de carreteras estatales o nacionales generalmente se asignan a la Clase I. Estas instalaciones sirven principalmente para viajes de larga distancia o brindan las conexiones entre Instalaciones que atienden viajes de larga distancia.

Así mismo, Cal y Mayor y Cárdenas (2018), indican que generalmente son rutas interurbanas mayores, arterias primarias que conectan grandes generadores de tráfico, o tramos de la red primaria de carreteras nacionales que sirven más a menudo para viajes de larga distancia.

- Carreteras de dos carriles Clase II: Son autopistas donde los automovilistas no necesariamente esperan viajar a altas velocidades. Las carreteras de dos carriles que funcionan como rutas de acceso a las instalaciones de Clase I, que sirven como rutas escénicas o recreativas (y no como arterias primarias), o que pasan por un terreno



accidentado (donde sería imposible operar a alta velocidad) se asignan a la Clase II. La mayoría de las instalaciones de Clase II sirven para viajes relativamente cortos, las porciones iniciales o finales de viajes más largos o viajes para los cuales el turismo juega un papel importante.

Así mismo, Cal y Mayor y Cárdenas (2018) indican que son carreteras donde los conductores no necesariamente esperan viajar a altas velocidades. Funcionan como rutas de acceso para las carreteras de clase I, no son arterias primarias y generalmente atraviesan terrenos escarpados. Usualmente prestan servicio a viajes relativamente cortos.

- Carreteras de dos carriles Clase III: Son autopistas que sirven áreas moderadamente desarrolladas. Pueden ser partes de una carretera de Clase I o Clase II que pasan por pueblos pequeños o áreas recreativas desarrolladas. En dichos segmentos, el tráfico local a menudo se mezcla con el tráfico, y la densidad de puntos de acceso en la carretera no señalizados es notablemente más alta que en un área puramente rural. Las carreteras de Clase III también pueden ser segmentos más largos que pasan por áreas recreativas más dispersas, también con mayores densidades en las carreteras. Tales segmentos suelen ir acompañados de límites de velocidad reducidos que reflejan el mayor nivel de actividad.

Así mismo Cal y Mayor y Cárdenas (2018) sugieren que son aquellas carreteras de sirven áreas moderadamente desarrolladas. Pueden ser porciones de las carreteras de las clases I y II, que pasa por pequeñas poblaciones o áreas recreacionales. En tales segmentos el tránsito local se mezcla con el tránsito de paso y la densidad de puntos de acceso es mucho mayor que en aquellas áreas puramente rurales, limitando en gran manera la velocidad.

La definición de las clases de carretera de dos carriles se basa en su función. La mayoría de las arterias o carreteras troncales se consideran autopistas de Clase I, mientras que la mayoría de los colectores y las carreteras locales se consideran autopistas de Clase II o Clase III. El principal determinante de la clasificación de una instalación es la expectativa del conductor, que podría no estar de acuerdo con la categoría funcional general de la ruta. Por ejemplo, una ruta interurbana importante que pasa a través de un área montañosa escarpada podría describirse como Clase II si los conductores reconocen que la operación a alta velocidad no es factible debido al terreno, pero la ruta aún podría considerarse como Clase I.





### 2.2.2.3 Calles Principales o Arterias

Según Cal y Mayor y Cárdenas (2018), son aquellas que permiten el movimiento del tránsito entre áreas partes de la ciudad. Dan servicio directo a los generadores principales de tránsito, y se conectan con el sistema de autopistas y vías rápidas. Con Frecuencia son divididas y pueden tener control parcial de sus accesos. Las calles principales se combinan entre sí para formar un sistema que mueve el tránsito en toda la ciudad, en todas las direcciones.

Además, Roess, Prassas y McShane (2011) añaden que las arterias son instalaciones de superficie diseñadas principalmente para el movimiento, pero que permiten cierto acceso a las tierras colindantes. Proporcionan 60%-80% servicio de movilidad.

### 2.2.2.4 Calles Colectoras

Según Cal y Mayor y Cárdenas (2018), son las vías que ligan las calles principales con las calles locales, proporcionando a su vez acceso a las propiedades colindantes.

Además, Roess, Prassas y McShane (2011) añaden que el colector es una categoría intermedia entre arterias y calles locales. Se proporcionan algunas medidas de movilidad (40%-60%) y acceso. El término "colector" proviene del uso común de tales instalaciones para recoger vehículos de varias calles locales y entregarlos a la instalación arterial o de acceso limitado más cercana.

### 2.2.2.5 Calles Locales

Según Cal y Mayor y Cárdenas (2018), proporcionan acceso directo a las propiedades, sean estas residenciales, comerciales, industriales o de algún otro uso; además de facilitar el tránsito local. Se conectan directamente con las calles colectoras y/o con las calles principales.

Además, Roess, Prassas y McShane (2011) añaden que las calles locales están diseñadas para proporcionar acceso a los usos contiguos de la tierra con el movimiento a través de una función menor, si es que se proporciona (0%-40% del servicio de movilidad). El viaje típico comienza en una calle local. El conductor busca el colector más cercano disponible, usándolo para acceder a la arteria más cercana. Si el viaje es lo suficientemente largo, se busca una autopista o una instalación de acceso limitado. En el destino final del viaje, el proceso se repite en orden inverso.

En la figura 26 también se ilustra, en términos de movilidad y accesibilidad, la clasificación de un sistema vial urbano, y que está de acuerdo con el esquema de jerarquía mostrado en la figura 27.

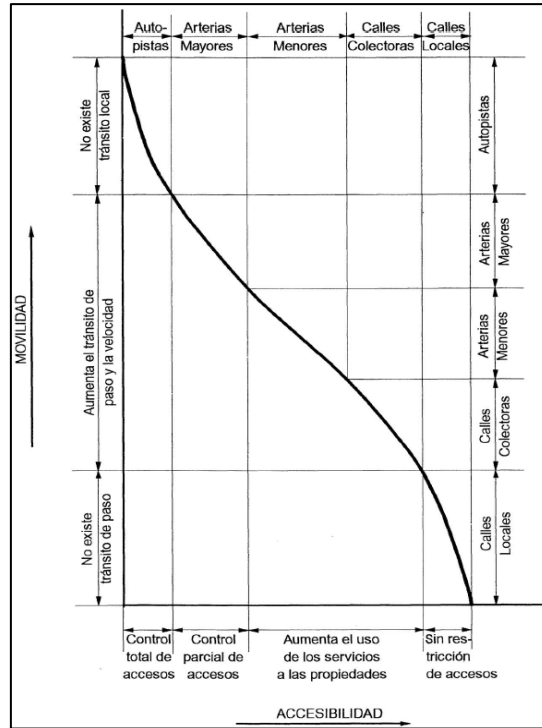


Figura 26. Movilidad y Accesibilidad de un Sistema Vial Urbano

Fuente: Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones 8va. Edición (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018).

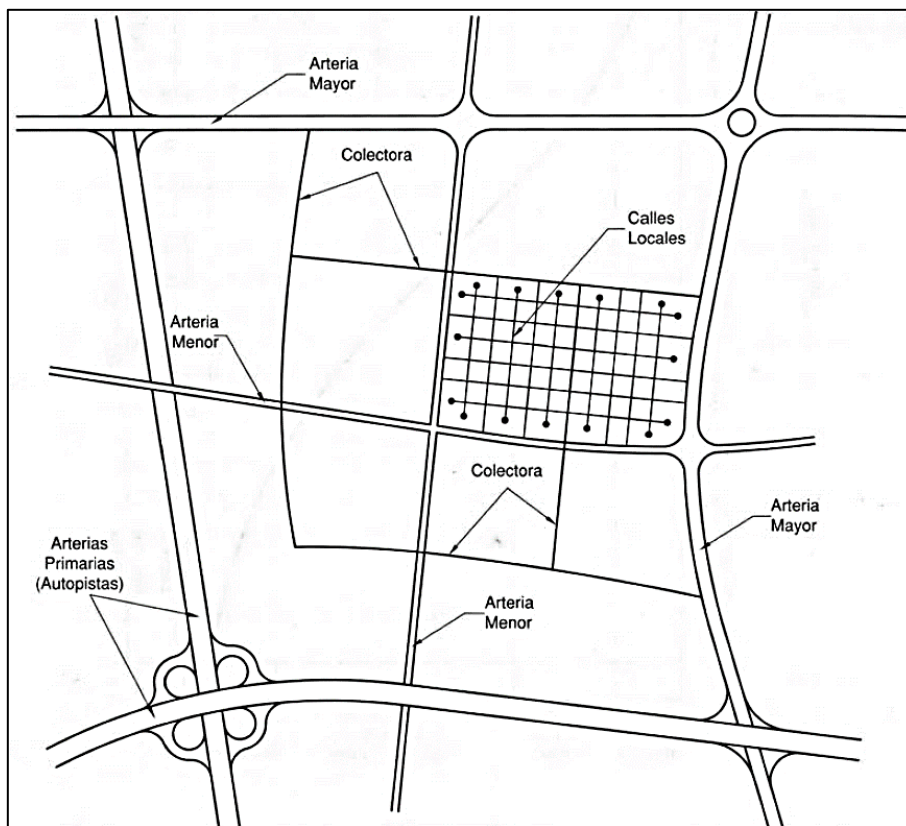


Figura 27. Jerarquía de la Infraestructura Vial

Fuente: Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones 8va. Edición (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018).



### 2.2.2.6 Concepto, Definiciones y Tipología de Estacionamientos

Según la Organización Principal de las Agencias de Tráfico y Transporte por Carretera de Australasia (Austroads, 2018), el estacionamiento juega un papel importante en la prestación de servicios de transporte por carretera, ya que permite a los conductores almacenar sus vehículos en los orígenes y destinos de su viaje. El estacionamiento puede ser de dos tipos principales, en la calle o fuera de la calle (residencial, comercial). Las instalaciones de estacionamiento en la calle bien planificadas para automóviles pueden proporcionar un valioso espacio de estacionamiento para estancias cortas. Sin embargo, abundantes estacionamientos en la calle o complicadas restricciones de estacionamiento pueden llevar a que se invierta un tiempo considerable en buscar espacios de estacionamiento que aumenten la circulación del tráfico e interrumpan el flujo de tráfico. Como regla general, la regulación y el uso del estacionamiento en la calle deben ser priorizados para apoyar a aquellos usuarios de la vía que necesitan altos niveles de acceso, como peatones, transporte público, operadores de taxis, mensajeros de vehículos compartidos y usuarios de vehículos de servicio, personas con discapacidades y servicios de emergencia.

Además, Roess, Prassas y McShane (2011) añaden que para que la tierra sea utilizada productivamente, debe ser accesible. Si bien el transporte público puede ser una parte importante de la accesibilidad en áreas urbanas densas, en su mayor parte, la accesibilidad depende del suministro, la comodidad y el costo de las instalaciones de estacionamiento. Los principales centros de actividades, desde centros comerciales regionales hasta instalaciones deportivas y aeropuertos, cuentan con una importante oferta de estacionamiento para brindar accesibilidad al sitio. Sin tal suministro, estas instalaciones no podrían operar de manera rentable durante un período de tiempo sustancial. La supervivencia económica de la mayoría de los centros de actividad, por lo tanto, está directamente relacionada con el estacionamiento y otras formas de acceso. La oferta de estacionamiento debe equilibrarse con otras formas de acceso (transporte público), las condiciones de tráfico creadas por dicho acceso y el entorno general del centro de actividades. Si bien la viabilidad económica está más directamente relacionada con la disponibilidad de estacionamiento, los impactos ambientales del tráfico generado también pueden tener efectos negativos.

Así mismo, Matthews y Guest (2005) sostienen que cada viaje en un vehículo resulta en un acto de estacionamiento al final del viaje. La importancia del estacionamiento tal vez se pueda ilustrar con el hecho de que, en promedio, un automóvil en el Reino Unido está estacionado durante aproximadamente 23 horas al día. El vehículo se puede estacionar en la calle o fuera de



la calle en un parque para automóviles, camiones, bicicletas, o en un garaje privado. Cómo llegan y salen los vehículos de estos lugares de estacionamiento, cuánto tiempo permanecen y en qué circunstancias definen el tráfico de vehículos y, de hecho, algo de tráfico peatonal en las carreteras y ayudan a determinar qué medidas se requieren para satisfacer o gestionar la demanda.

De manera similar, Garber y Hoel (2009) manifiestan que cualquier vehículo que circule por una carretera se estacionará en un momento u otro por un tiempo relativamente corto o mucho más prolongado, dependiendo de la razón para estacionar. La provisión de instalaciones de estacionamiento es, por lo tanto, un elemento esencial del modo de transporte de la carretera. La necesidad de espacios de estacionamiento suele ser muy grande en áreas donde los usos del suelo incluyen actividades comerciales, residenciales o comerciales. El uso creciente del automóvil como servicio de alimentación personal para sistemas de tránsito (estacionar y viajar) también ha aumentado la demanda de plazas de aparcamiento en las estaciones de tránsito. En áreas de alta densidad, donde el espacio es muy costoso, el espacio provisto para automóviles generalmente se debe dividir entre el asignado para su movimiento y el asignado para el estacionamiento. Proporcionar espacio de estacionamiento adecuado para satisfacer la demanda de estacionamiento puede requerir la provisión de plazas de estacionamiento a lo largo de los bordillos, lo que reduce la capacidad de las calles y puede afectar el nivel de servicio.

Por otro lado, Cal y Mayor y Cárdenas (2018) indican que los elementos básicos que componen la planta física de cualquier sistema de transporte son el vehículo, la vía y el terminal. Para el sistema de transporte por calles y carreteras, el terminal es un espacio de estacionamiento que indica el comienzo o el final de un determinado viaje. Dicho espacio para estacionar puede estar ubicado en la calle, en el carril adyacente a las aceras, y en algunos casos en los carriles adyacentes a los separadores, o fuera de la calle, en garaje, lotes y edificios. Para que un sistema de transporte automotor sea eficiente deberá disponer de espacio adecuados de estacionamiento, en todos aquellos lugares donde se generen viajes, pues de lo contrario los efectos resultantes son las demoras, la congestión, y por supuesto, los costos adicionales asociados. En nuestras ciudades se ha incrementado el número de vehículos privados, a tal punto que ha invadido los centros urbanos, rebasando la capacidad de la infraestructura vial existente y haciendo más difícil la circulación, generando grandes demandas de espacios para estacionarse, y creando así la necesidad de reglamentar el estacionamiento en las calles, acondicionar lotes o construir nuevos edificios para satisfacer las demandas.



Adicionalmente, Fernández, García, Juncà, de Rojas y Santos (2005) indican que las plazas de aparcamiento pueden disponerse en la vía pública, en áreas habilitadas para el disfrute del entorno natural, en aparcamientos de uso público subterráneos o en garajes correspondientes a edificios de viviendas, de oficinas, alojamientos turísticos, etc.

#### 2.2.2.6.1 Estacionamientos en la Vía Pública

Según Pande y Wolshon (2016), se define como un estacionamiento provisto a lo largo de una carretera que se usa predominantemente como una ruta de conexión entre destinos, en lugar de simplemente acceder a o desde el estacionamiento. La mayoría de los estacionamientos en la calle están en el derecho vía.

Por otro lado, Garber y Hoel (2009) indican que estos también son conocidos como instalaciones de acera. Se proporcionan bahías de estacionamiento junto al bordillo en uno o ambos lados de la calle. Estas bahías pueden ser instalaciones de estacionamiento sin restricciones si la duración del estacionamiento es ilimitada y el estacionamiento es gratuito, o pueden ser instalaciones de estacionamiento restringidas si el estacionamiento se limita a horas específicas del día por una duración máxima. El estacionamiento en instalaciones restringidas puede o no ser gratuito. Las instalaciones restringidas también pueden proporcionarse para fines específicos, tales como proporcionar estacionamiento para discapacitados o como paradas de autobús o bahías de carga.

Por otro lado, Cal y Mayor y Cárdenas (2018) sostienen que cuando se tienen volúmenes de tránsito importantes, o calles angostas, y en el caso de tener estacionamientos sobre la vía pública, se recomienda el estacionamiento en paralelo, ya que el estacionamiento en ángulo representa un mayor riesgo de accidentes por la falta de visibilidad, especialmente en la maniobra de salida. El estacionamiento en la vía pública puede ser libre o controlado.

- En el estacionamiento libre. No existe ninguna restricción para dejar el vehículo cerca de la acera, y es la forma ideal para aquellos conductores que logren encontrar libre un espacio. Sin embargo, su uso no es equitativo, pues un usuario puede demorar más que otro.
- En el estacionamiento controlado, se dispone de señales o dispositivos que registren su tiempo de utilización. El número de vehículos que se pueden estacionar en la calle será mayor mientras menos dure el tiempo de estacionamiento de cada vehículo, razón por la cual muchas autoridades de las principales ciudades del mundo han buscado la forma

de limitar su duración, con el objeto de utilizar mejor los espacios, para que así un mayor número de gente disfrute del beneficio. Esto es muy útil en las zonas comerciales, pues limitando el tiempo de estacionamiento se puede aumentar la oferta, ya que se eleva el número de vehículos que pueden estacionarse a lo largo del día, aumentando la rotación de cada espacio. También se utilizan señales, estas restringen en forma total el estacionamiento durante todo el día, o en forma parcial durante ciertos periodos del día, mediante señales de *no estacionarse*.

Según Gómez (2004), el tipo más simple de estacionamiento es en la calle, desvirtuando el propósito de ésta, que es la circulación.

En las figuras 28, 29, 30, 31 y 32 se muestran varios tipos de estacionamientos en la calle, desde la ubicación paralela o formando ángulo con ella (todas las medidas están expresadas en metros).

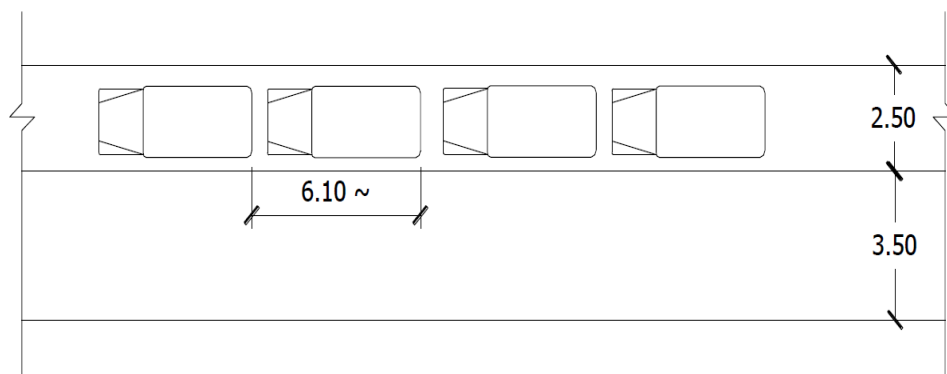


Figura 28. Estacionamiento en Paralelo con Dimensiones Referenciales.

Fuente: Texto del Alumno, Ingeniería de Tráfico CIV – 326, (Gómez, 2004). Adaptación Propia.

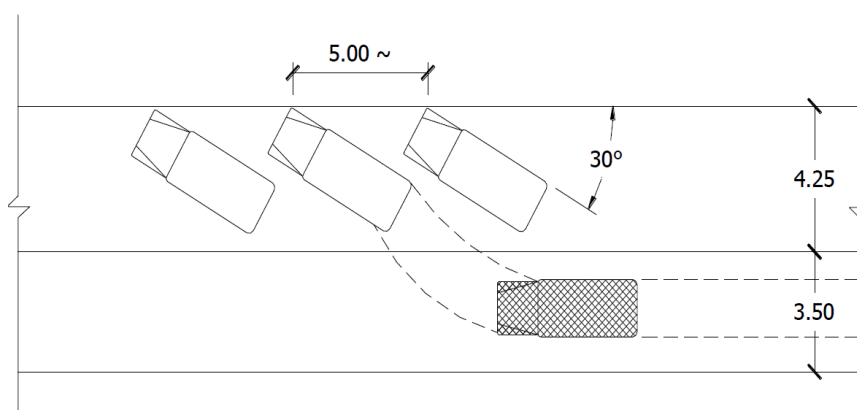


Figura 29. Estacionamiento a 30° de la Calle con Dimensiones Referenciales.

Fuente: Texto del Alumno, Ingeniería de Tráfico CIV – 326, (Gómez, 2004). Adaptación Propia.



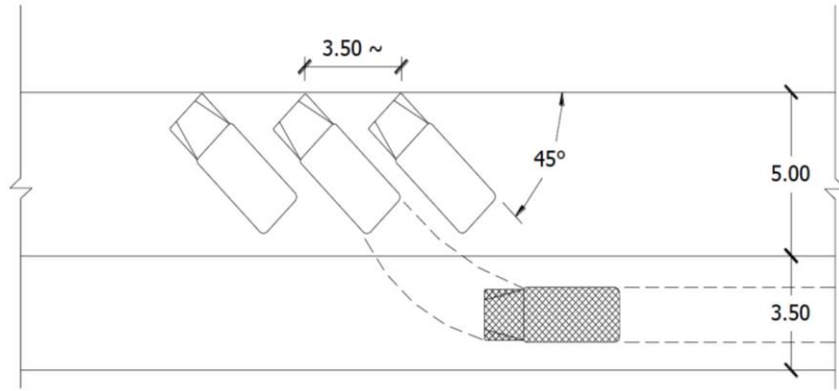


Figura 30. Estacionamiento a 45° de la Calle con Dimensiones Referenciales.

Fuente: Texto del Alumno, Ingeniería de Tráfico CIV – 326, (Gómez, 2004). Adaptación Propia.

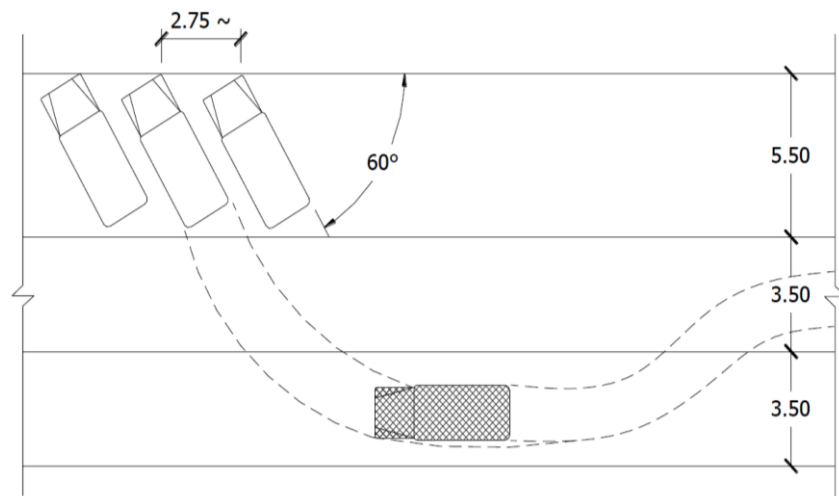


Figura 31. Estacionamiento a 60° de la Calle con Dimensiones Referenciales.

Fuente: Texto del Alumno, Ingeniería de Tráfico CIV – 326, (Gómez, 2004). Adaptación Propia.

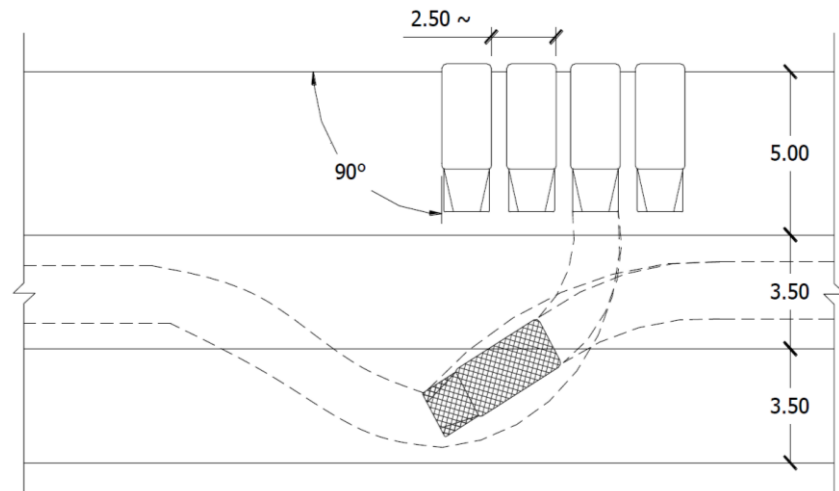


Figura 32. Estacionamiento a 90° de la Calle con Dimensiones Referenciales.

Fuente: Texto del Alumno Ingeniería de Tráfico CIV – 326, (Gómez, 2004). Adaptación Propia.



Los estacionamientos en paralelo, de 30°, de 45° no presentan mucho conflicto a la circulación de los carriles adyacentes.

Los ángulos de 60° y 90° interfieren el tráfico vecino al incorporarse o salir del estacionamiento. La capacidad de estacionamiento es mayor que la del estacionamiento paralelo a la calle, pero en cambio presenta puntos de conflicto con el tráfico vecino.

Para evitar el uso abusivo del estacionamiento en la calle deben implementarse los parquímetros que sirven para limitar el tiempo de estacionamiento mediante una tarifa módica. Con estos parquímetros se logra un número de usuarios beneficiados, por otra parte, es una fuente de ingresos adicional para la alcaldía correspondiente.

#### 2.2.2.6.2 Estacionamientos Fuera de la Vía Pública

Según Pande y Wolshon (2016), es un aparcamiento situado en un predio. Las instalaciones de estacionamiento fuera de la calle van desde caminos de acceso y garajes para varios automóviles en residencias hasta estacionamientos y estructuras que superan los 10,000 espacios. Hay dos tipos fundamentales de instalaciones de estacionamiento fuera de la calle: lotes y estructuras.

- Lote de estacionamiento: Estacionamiento en una superficie preparada sobre rasante y abierto al cielo; También llamado superficie de lote.
- Estructura de estacionamiento: Un edificio con uno o más pisos para estacionamiento. El código de construcción distingue entre garajes de estacionamiento cerrados que requieren ventilación mecánica y generalmente están por debajo del nivel, y estructuras de estacionamiento abiertas, que son ventiladas natural y generalmente por encima del grado. Las estructuras de estacionamiento abiertas requieren significativamente menos energía para la iluminación y la ventilación, y por lo tanto son más sostenibles.

Así mismo, Roess, Prassas y McShane (2011) sostienen que las instalaciones de estacionamiento fuera de la calle se proporcionan como lotes de superficie o garajes de estacionamiento. Este último puede estar sobre el suelo, debajo del suelo, o una combinación de ambos. Los costos de construcción de los lotes de superficie y los garajes varían significativamente según la ubicación y las condiciones específicas del sitio. En general, los lotes de superficie son considerablemente más baratos.

- Una instalación de estacionamiento debe ser conveniente y segura para los usuarios previstos.



- Una instalación de estacionamiento debe ser eficiente en cuanto al espacio y de funcionamiento económico.
- Una instalación de aparcamiento debe ser compatible con sus alrededores.

Adicionalmente, Garber y Hoel (2009) sostienen que estas instalaciones pueden ser de propiedad privada o pública; Incluyen lotes de superficie y garajes. Los garajes con estacionamiento propio requieren que los conductores estacionen sus propios automóviles; Los garajes de estacionamiento de empleados mantienen personal para estacionar los automóviles.

De manera similar, Cal y Mayor y Cárdenas (2018) manifiestan que estos estacionamientos ubicados fuera de la calle son la causa directa de la necesidad de disminuir los estacionamientos en la calle, en el beneficio de los usuarios y del mejoramiento de la circulación vial. Pueden ubicarse en los lotes o predios baldíos y en edificios. La ubicación de estacionamientos en lotes o predios baldíos obedecen obviamente, a la demanda de estacionamiento y a la disponibilidad de terrenos libres que se puedan adaptar a este servicio. Generalmente se encuentran descubiertos en predios con superficies pavimentadas o en terracerías especialmente acondicionadas. Pueden ser de servicio público o privado, operados por el sistema de autoservicio o por acomodadores, y utilizados por usuarios de corta y mediana duración, especialmente durante las horas hábiles del día. Dentro de estos estacionamientos se encuentran los del centro de la ciudad, los de los grandes centros comerciales, los de las plazas, los de los aeropuertos, los de las universidades, y los de los centros deportivos. En edificios de estacionamiento, estos se construyen en forma subterránea o arriba del nivel de la calle, especialmente acondicionados para tal fin. El ubicar edificios de estacionamiento en el centro de negocios de una ciudad, tiende a eliminar la circulación innecesaria de los vehículos que tratan de encontrar un lugar donde estacionarse y, por lo tanto mejora el nivel de servicio en las calles cercanas, contribuyendo indudablemente a contrarrestar el desequilibrio casi siempre existente entre la oferta y la demanda de estacionamiento en una zona igual que el caso anterior, pueden ser de servicio público o privado, operados por acomodadores o por el sistema de autoservicio, siendo aconsejable este último debido a que son manejados mayores volúmenes de vehículos que en los lotes.

De la misma manera, Gómez (2004) determina que es el estacionamiento que se constituye fuera de la calle, es decir en zonas adecuadas para el diseño de playas de estacionamiento o también en edificios. Desde luego para el diseño de las playas de estacionamiento se debe efectuar un estudio y análisis de la demanda en la zona requerida. Denominaremos *cajón de*

estacionamiento como la superficie requerida para un estacionamiento adecuado. A continuación, en las Figuras 33, 34, y 35 se muestran varios tipos de estacionamientos fuera de la calle (todas las medidas están expresadas en metros).

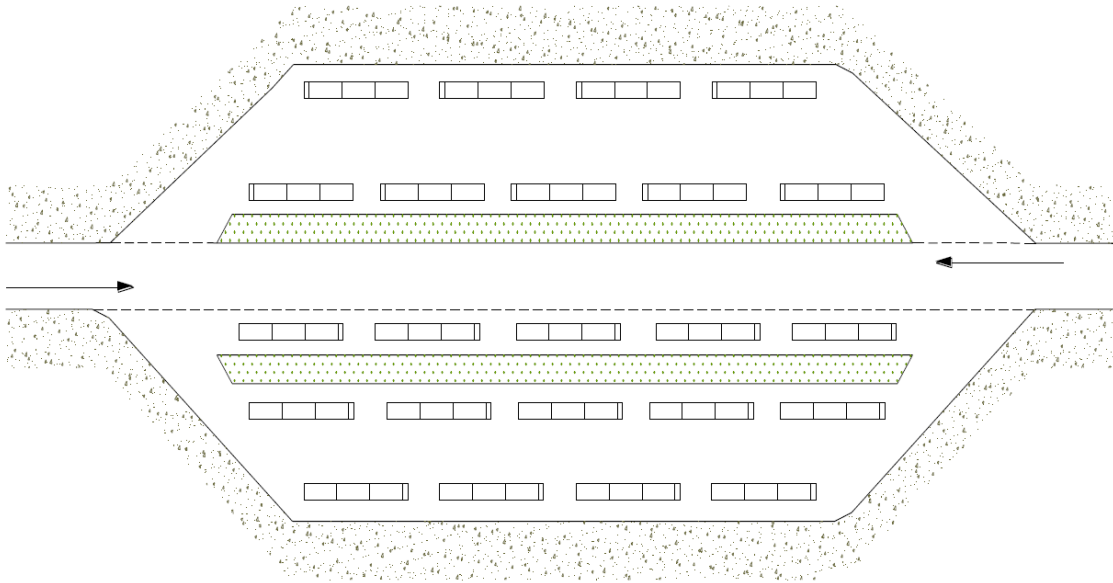


Figura 33. Estacionamiento Paralelo Fuera de la Calle.

Fuente: Texto del Alumno Ingeniería de Tráfico CIV – 326, (Gómez, 2004). Adaptación Propia.

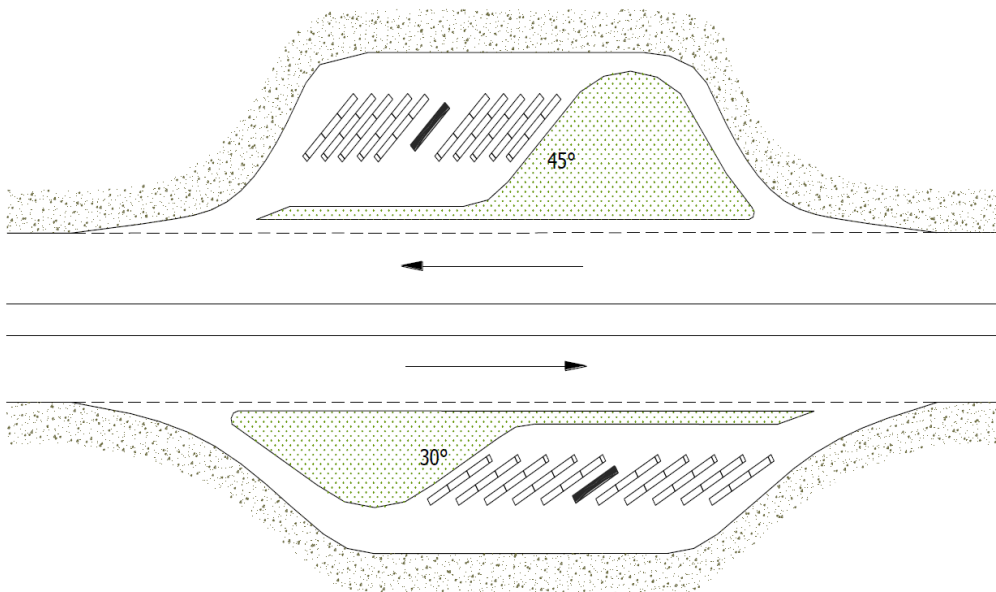


Figura 34. Estacionamiento a 45° Fuera de la Calle.

Fuente: Texto del Alumno Ingeniería de Tráfico CIV – 326, (Gómez, 2004). Adaptación Propia.

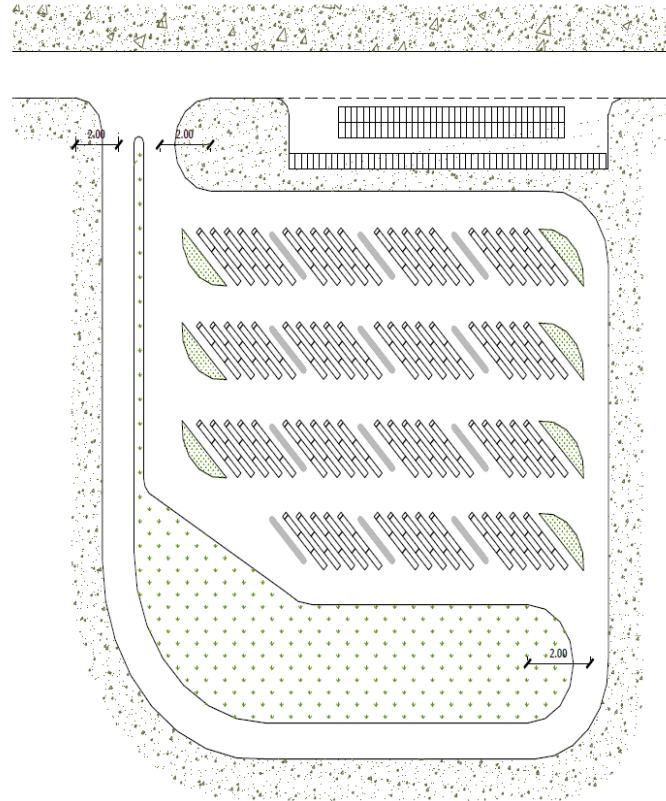


Figura 35. Estacionamiento a 90° y 45° o 30° Fuera de la Calle con Dimensiones de Referencia.

Fuente: Texto del Alumno Ingeniería de Tráfico CIV – 326, (Gómez, 2004). Adaptación Propia.

#### 2.2.2.7 Paradas de Autobús

Según Pande y Wolshon (2016), las paradas de autobús son la principal interfaz del sistema de tránsito con la calle. La mayoría de los clientes de autobuses caminan hasta las paradas de autobuses, por lo que un buen acceso peatonal es primordial. Además, debido a que muchos clientes hacen viajes de ida y vuelta en autobús, las paradas de autobús en las calles de doble sentido requieren un cruce de calles.

El TBR (2013) indica que es un área donde los pasajeros esperan, abordan, descienden y transfieren entre unidades de tránsito. Por lo general, se indica mediante signos distintivos y marcas de acera o pavimento y puede proporcionar información de servicio, refugio, asientos o cualquier combinación de estos. Las paradas a menudo son designadas por el servicio que ofrece el modo, por ejemplo, parada de autobús, parada de automóvil.

Así mismo, Teodorović y Janić (2017) añaden que las estaciones de parada de autobús permiten detener los autobuses que realizan el transporte de pasajeros entre sus orígenes y destinos finales. En general, el tamaño y la naturaleza de las estaciones de una parada de autobús pueden ser diferentes, desde una parada de autobús en la carretera con poco espacio en todas las



instalaciones para pasajeros hasta la estación de parada de autobús a propósito que ofrece una gama bastante amplia de instalaciones y servicios a los autobuses, sus tripulaciones y los usuarios de los servicios de transporte, los pasajeros y sus acompañantes. En los casos de muy baja intensidad de los autobuses que llegan y salen (vehículos / unidad de tiempo) y de sus pasajeros, la estación de parada en el camino será suficiente para acomodarlos de manera eficiente y efectiva. La estación de autobuses consiste en el área del lado del autobús y el área del lado del usuario / pasajero.

Adicionalmente. Fernández, García, Juncà, de Rojas y Santos (2005) manifiestan que las paradas que se encuentren a la intemperie contarán con cubiertas cerradas por su parte trasera y por el lateral más azotado por el viento. Las paradas contarán con pavimento señalizador, señalización informativa, colores contrastados, bancos y apoyos isquiáticos.

Acotan también Slinn, Matthews y Guest (2005) sosteniendo que una de las principales causas de demora en las áreas urbanas para los autobuses y el tráfico en general es el estacionamiento no considerado cerca de las paradas de autobús. Los autobuses tienen dificultades para acceder a las paradas de autobús y posteriormente reincorporarse al flujo de tráfico. Los pasajeros tienen que recurrir a caminar entre los automóviles estacionados para abordar un autobús. Deben introducirse marcas en las paradas de autobús para ayudar a prevenir la espera y carga obstructiva.

Algunos conceptos pertinentes según Pande y Wolshon (2016) para mejorar el entendimiento de las paradas de autobús:

- El bordillo para el autobús: Es una extensión de acera que permite que el autobús se detenga dentro de un carril de tráfico. Esta disposición permite que el autobús proceda inmediatamente después de completar el proceso de abordaje y también proporciona espacio de espera adicional para los peatones. En las intersecciones, los bordillos de los autobuses pueden ser parte integral de las extensiones de bordillos para cruces de peatones. También brindan oportunidades para refugios de autobuses, lo que permite al operador de autobuses colocar ambas puertas inmediatamente adyacentes al bordillo. La principal desventaja de un bordillo de autobús, particularmente cuando la calle tiene un carril de viaje en la dirección en que se mueve el autobús, es que el tráfico de vehículos de motor debe esperar mientras los clientes se apilan y abordan.
- Las bahías de autobuses: En contraste, son áreas empotradas en la línea de la acera que permiten que los autobuses salgan del flujo de tráfico para recoger y descargar pasajeros.



El tráfico de vehículos de motor puede fluir libremente cuando el autobús está en la bahía. Sin embargo, durante los períodos en que hay un tráfico significativo en la calle, los operadores de autobuses pueden tener dificultades para regresar a la corriente de tráfico. Esto puede crear retrasos. Además, las bahías de autobuses reducen el ancho de las aceras y pueden requerir la adquisición del derecho de vía.

#### 2.2.2.7.1 Ubicación y Tipología de las Paradas de Autobús

Según Teodorović y Janić (2017), esta estación generalmente está ubicada en las áreas urbanas centrales y está conectada por los sistemas locales de transporte público urbano que permiten el acceso de los pasajeros. Además, pueden ubicarse muy cerca de las estaciones de tren, lo que permite a los pasajeros cambiar el modo de transporte, de autobús a tren, y viceversa, en sus viajes de medio a largo recorrido entre orígenes y destinos.

Así mismo, Pande y Wolshon (2016) sostienen que la ubicación de una parada de autobús común en una intersección se encuentra en el extremo saliente de la intersección, pero también existen en el extremo entrante:

- Las paradas de autobús en el extremo saliente de la intersección: Permiten que los peatones crucen detrás del autobús, lo que es más seguro que cruzar frente al autobús. En carreteras de varios carriles, también aumentan la visibilidad de los peatones que cruzan para los conductores que esperan en la señal.
- Las paradas de autobús en el extremo entrante a la intersección: generalmente se usan en circunstancias donde las paradas del extremo saliente están restringidas o cuando los generadores altos de actividad peatonal están ubicados en el lado cercano de la intersección. Las paradas en los extremos entrantes también facilitan los saltos de cola, que permiten que los autobuses eviten las colas del tráfico general en o antes de una intersección señalizada, lo que reduce la demora para los pasajeros de los autobuses.

La colocación de las paradas de autobús lateralmente dentro de la sección transversal de la calle requiere un equilibrio entre la operación de los autobuses, el tráfico de vehículos motorizados y los peatones. La configuración más común es una parada junto al bordillo de la calle típica denominada dentro de la vía, sin embargo, también existen paradas fuera de la vía:

- Parada dentro de la vía: Según el TBR (2013), es una estación en la que las unidades de tránsito se detienen en la vía principal o en el carril de circulación. Este es el diseño

común, y el término se usa solo para distinguir esta estación de las estaciones fuera del carril.

Según Teodorović y Janić (2017), implica la provisión de espacio suficiente para que los autobuses se detengan y los pasajeros que desembarquen y embarquen en corto tiempo.



Figura 36. Parada de Bus Dentro de la Vía.

Fuente: Global Street Design Guide: Designing Cities Initiative, (NACTO, 2016). Adaptación Propia.

- Parada fuera de la vía: Según el TBR (2013), es una estación en la que una unidad de tránsito se detiene fuera de la vía principal o del carril de circulación para que otras unidades puedan pasar mientras los pasajeros suben y bajan; Se encuentra en unos pocos sistemas de tránsito de guías y autobuses automatizados.

Según Teodorović y Janić (2017), implica la provisión de espacio suficiente para que los pasajeros esperen la llegada del autobús y para cruzar la parada después de bajar del autobús. Si esta demanda es alta, la estación de parada de autobús fuera del camino será necesaria para acomodar a los autobuses y pasajeros de manera eficiente al no causar la congestión del tráfico.

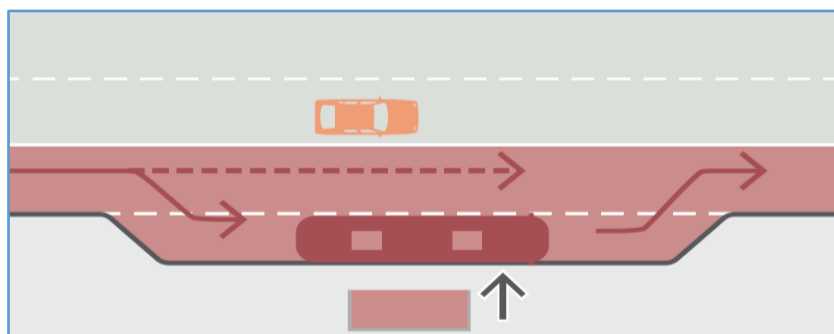


Figura 37. Parada de Bus Fuera de la Vía.

Fuente: Global Street Design Guide: Designing Cities Initiative, (NACTO, 2016). Adaptación Propia.



Según Fernández, García, Juncà, de Rojas y Santos (2005), la localización en la vía pública de las paradas de autobuses urbanos se dispondrá de manera que no constituya obstáculo para el tránsito peatonal.

Adicionalmente, Slinn, Matthews y Guest (2005) sugieren que el posicionamiento de las paradas de autobús a menudo es dictado por aspectos prácticos como evitar bancos y oficinas de correos, donde se requiere espacio para entregas especiales, y evitar la creación de líneas de visión deficientes para el tráfico lateral. Las ubicaciones de las paradas de autobús no deben bloquear indebidamente el tráfico general y, por este motivo, es posible que deban contar con bahías de bus de medio ancho (1,5 metros) que brindan más espacio para el tráfico general, al mismo tiempo que permiten un fácil acceso y salida para los autobuses hacia y desde la carretera principal. Las paradas de autobús también deben colocarse para facilitar el intercambio entre rutas. La reubicación de la parada de autobús no debe realizarse a la ligera, ya que se puede alterar el espaciado de la parada cuidadosamente dispuesto. Una reubicación poco considerada puede llevar a distancias excesivamente largas o cortas entre paradas. Además, se habrán colocado algunas paradas para proporcionar un intercambio entre las rutas de autobuses que se cruzan u otros servicios de transporte público.

#### 2.2.2.8 Infraestructura Peatonal

Según Fernández, García, Juncà, de Rojas y Santos (2005), el itinerario peatonal accesible es aquel ámbito o espacio de paso en el que predomina la dimensión lineal y que permite un recorrido urbanizado continuo y sin obstáculos que intercomunica y permite el acceso a los diferentes espacios de uso público y a las edificaciones del entorno, así como a los diversos modos de transporte, desde sus correspondientes infraestructuras.

##### 2.2.2.8.1 Aceras

Según Fernández, García, Juncà, de Rojas y Santos (2005), corresponde a la zona o espacio de la vía pública destinada al tránsito peatonal y comprendida entre los paramentos verticales o fachadas de los edificios y la calzada. En los paseos y avenidas, los tramos peatonales centrales destinados a uso peatonal tendrán una consideración análoga a la de las aceras.

Según la NACTO (National Association of City Transportation Officials que traducido al español sería la Asociación Nacional de Funcionarios de Transporte de Ciudad) (2016), las aceras desempeñan un papel vital en la vida de la ciudad. Como conducto para el movimiento y el acceso de los peatones, mejoran la conectividad y promueven el caminar. Como espacios públicos, las aceras sirven como escalones de entrada a la ciudad, activando las calles social y

económicamente. Las aceras seguras, accesibles y bien mantenidas son una inversión fundamental y necesaria para las ciudades, y se ha demostrado que mejoran la salud pública en general y maximizan el capital social. Tenemos las siguientes zonas en una acera:

- **Zona frontal:** la zona frontal define la sección de la acera que funciona como una extensión del edificio, ya sea a través de entradas y puertas o cafés de la acera y tablas de sándwich. La zona frontal consiste tanto en la fachada del edificio que da a la calle como en el espacio inmediatamente adyacente al edificio.
- **Zona de paso libre:** el paso libre peatonal define el camino principal, dedicado y accesible que corre paralelo a la calle. El camino despejado garantiza que los peatones tengan un lugar seguro y adecuado para caminar y que tengan 1,8–2,4 m de ancho en entornos residenciales y 2,4–4,5 m de ancho en el centro de la ciudad o áreas comerciales con grandes volúmenes de peatones.
- **Zona de mobiliario urbano:** la zona de mobiliario urbano se define como la sección de la acera entre el bordillo y el camino despejado, en el que se proporcionan mobiliario urbano y comodidades como iluminación, bancos, quioscos de periódicos, instalaciones de tránsito, postes de servicios públicos, fosos de árboles y estacionamiento para bicicletas. La zona de mobiliario urbano también puede contener elementos de infraestructura verde, como jardines de lluvia, árboles o maceteros de flujo continuo.
- **Zona de amortiguamiento:** la zona de mejora o zona de amortiguamiento se define como el espacio inmediatamente al lado de la acera, y puede consistir en una variedad de elementos diferentes. Estas incluyen extensiones de bordillos, parklets (aceras que recuperan espacio de los estacionamientos), funciones de gestión de aguas pluviales, estacionamientos, estantes para bicicletas, estaciones de ciclo compartido y carriles para bicicletas en las aceras.

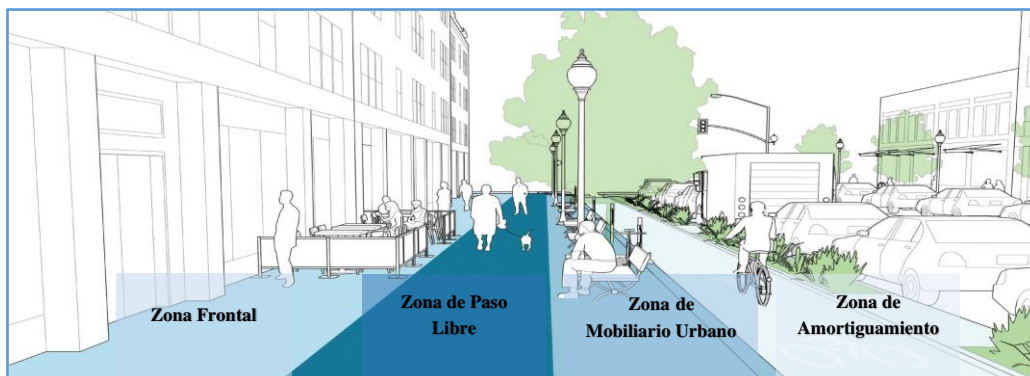


Figura 38. Zonas Funcionales de una Acera.

Fuente: Global Street Design Guide: Designing Cities Initiative, (NACTO, 2016). Adaptación Propia.



Según la NACTO (2016), la siguiente es la tipología de aceras:

- **Aceras residenciales:** Si bien las calles residenciales requieren menos capacidad que los bulliciosos centros urbanos, las aceras siempre deben mantener un camino despejado cómodo y accesible. La zona frontal puede variar dependiendo de si los edificios están alejados del borde de la calle y de cómo se diseñan las cercas, los patios delanteros, los techos o las tiras de plantación. Las aceras residenciales se usan para caminar, jugar y socializar, y deben incluir árboles en las calles y plantar cuando sea posible. La zona de mobiliario debe diseñarse para acomodar instalaciones de juego adicionales o infraestructura verde siempre que sea posible. Se deben minimizar los recortes en el bordillo para el acceso del vehículo.
- **Barrio de la calle principal de las aceras:** Las calles principales del vecindario incluyen una fachada de uso mixto que alterna entre usos residenciales y comerciales. Las aceras de la calle principal deben acomodar volúmenes peatonales moderados con un gran número de personas que se detienen, se sientan y hacen una pausa, así como las extensiones de los usos de la planta baja. Las aceras deben ser apropiadas para el clima local y bien iluminadas, con asientos frecuentes para peatones. El estacionamiento en la acera o las instalaciones de tránsito pueden requerir refugios o parquímetros en la zona del bordillo. La zona de la acera se puede diseñar para acomodar la infraestructura verde.
- **Aceras comerciales:** Las calles comerciales se caracterizan por grandes volúmenes de peatones, plantas bajas activas, entradas que dan a la calle, actividades comerciales que se derraman en la acera y actividades de carga. Las calles comerciales van desde calles grandes hasta callejones y callejuelas pequeñas. Las aceras en corredores comerciales más amplios deben tener zonas de fachada y zonas de mobiliario urbano claramente definidas para acomodar los asientos de los restaurantes, productos comerciales, bancos, plantación de calles, letreros, alumbrado público y otra infraestructura necesaria. La zona de acera también puede incluir instalaciones de tránsito y puede tener cortes de acera o rampas de carga para los servicios de carga.

#### 2.2.2.8.2 Pasos Peatonales

Según Fernández, García, Juncà, de Rojas y Santos (2005), por paso peatonal se entiende la unión física establecida entre la acera y la calzada al objeto de facilitar la circulación de peatones, atravesando en condiciones de seguridad y comodidad las vías públicas.

Así mismo, la NACTO (2016) sostiene que los cruces de peatones seguros y frecuentes apoyan un entorno transitable. Los peatones son especialmente sensibles a cambios menores en el grado y la geometría, los desvíos y la calidad de los materiales de las aceras y la iluminación. El diseño del paso de peatones tiene el potencial de moldear el comportamiento de los peatones, mientras que guía a las personas hacia la ruta más segura posible.

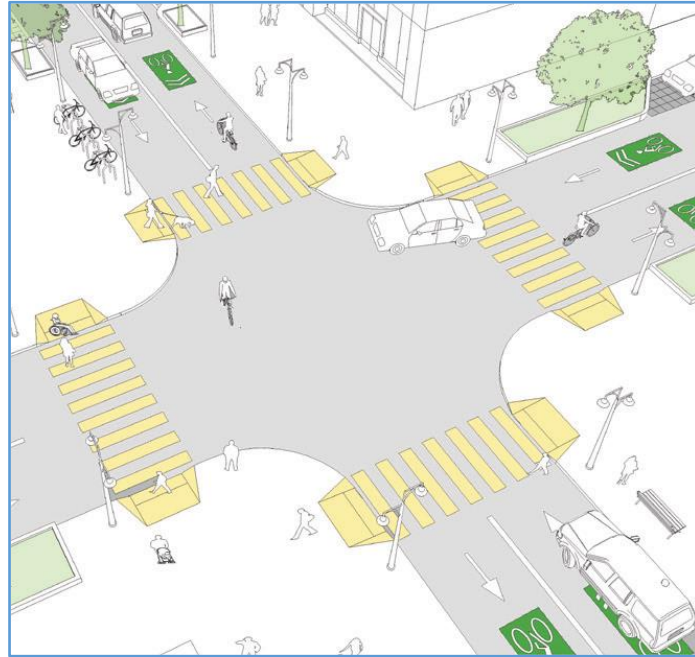


Figura 39. Paso Peatonal en una Intersección.

Fuente: Global Street Design Guide: Designing Cities Initiative, (NACTO, 2016). Adaptación Propia.

### 2.2.2.9 Intersecciones

Según la NACTO (2016), las intersecciones son donde las demandas de los diferentes usuarios de la calle se unen. Son puntos focales clave de actividad y toma de decisiones, que requieren que todos los usuarios se enfrenten, gestionen y maniobren entre ellos. Las intersecciones varían en configuración, tipo y tamaño, y desempeñan un papel clave en la configuración de la seguridad, legibilidad y eficiencia generales de la red de calles de una ciudad.

Así mismo, Garber y Hoel (2009) sostienen que una intersección es un área compartida por dos o más vías, cuya función principal es proporcionar el cambio de las direcciones de ruta. Las intersecciones varían en complejidad desde una simple intersección, que tiene solo dos caminos que cruzan en ángulo recto entre sí, hasta una intersección más compleja, en la cual tres o más caminos se cruzan dentro de la misma área. Por lo tanto, los conductores deben tomar una decisión en una intersección con respecto a cuál de las rutas alternativas desean tomar.



Adicionalmente, Bañón y Bévia (2000) indican que las intersecciones a nivel y enlaces (intersección a desnivel) surgen como una solución de continuidad al problema que plantea el cruce y unión de dos o más carreteras; estos puntos son sin duda críticos, ya que las condiciones de movimiento y comportamiento de los vehículos cambian en su entorno.

La diferencia fundamental entre intersección y enlace radica en la coincidencia o no de los planos de circulación de las distintas vías que concurre: en la intersección en cruce se realiza a nivel, es decir, los ejes de las diversas vías se cortan en un punto; en cambio, en el enlace, cruce se realiza a distinto nivel, intersectándose en este caso las proyecciones horizontales de los ejes.

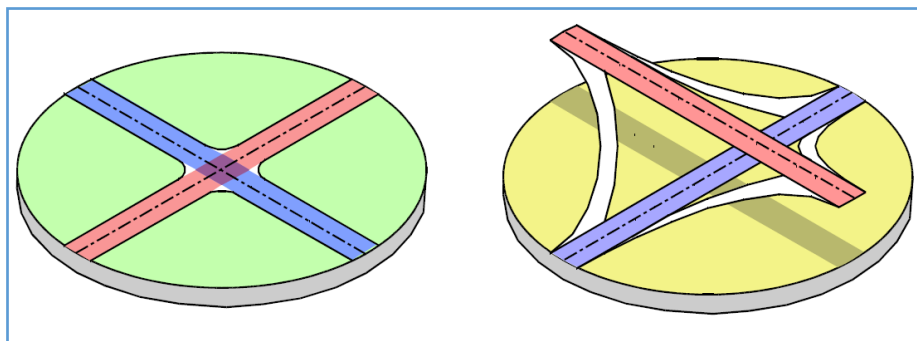


Figura 40. Intersección y enlace.

Fuente: Bañón y Bévia, 2000.

#### 2.2.2.10 Intersecciones a Nivel

Según el MTC (2018), es una solución de diseño geométrico a nivel, para posibilitar el cruzamiento de dos o más carreteras o con vías férreas, que contienen áreas comunes o compartidas que incluyen las calzadas, con la finalidad de que los vehículos puedan realizar todos los movimientos necesarios de cambios de trayectoria.

Así mismo, Mannering y Washburn (2013) definen como un cruce a nivel de dos o más carreteras. Para su análisis, las carreteras que entran en la intersección se segmentan en aproximaciones, que se definen por grupos de carriles (grupos de uno o más carriles). Estos grupos de carriles se basan generalmente en los movimientos permitidos (izquierda, de frente, derecha) dentro de cada carril y la secuencia de movimientos permitidos por la señal de tráfico. Además, Roess, Prassas y McShane (2011) sostienen que las ubicaciones individuales más complejas dentro de cualquier sistema de calles y autopistas son intersecciones a nivel. En una intersección típica de dos calles de dos vías, hay 12 movimientos vehiculares legales (giro a la izquierda, de frente, y giro a la derecha desde cuatro enfoques) y cuatro movimientos legales de paso de peatones. Como se indica en la figura siguiente, estos movimientos; crean muchos conflictos potenciales donde los vehículos y/o las rutas peatonales pueden tratar de ocupar el mismo espacio físico al mismo tiempo. Hay un total de 16 posibles conflictos de cruce de

vehículos: cuatro entre movimientos a través de las dos calles; cuatro entre los movimientos de giro a la izquierda de las dos calles, y ocho entre los movimientos de giro a la izquierda y a través de los movimientos de las dos calles. Además, hay ocho conflictos de fusión de vehículos, ya que los vehículos que giran a la derecha y a la izquierda se fusionan en un flujo continuo al completar su maniobra deseada. Los peatones agregan conflictos potenciales adicionales a la mezcla.

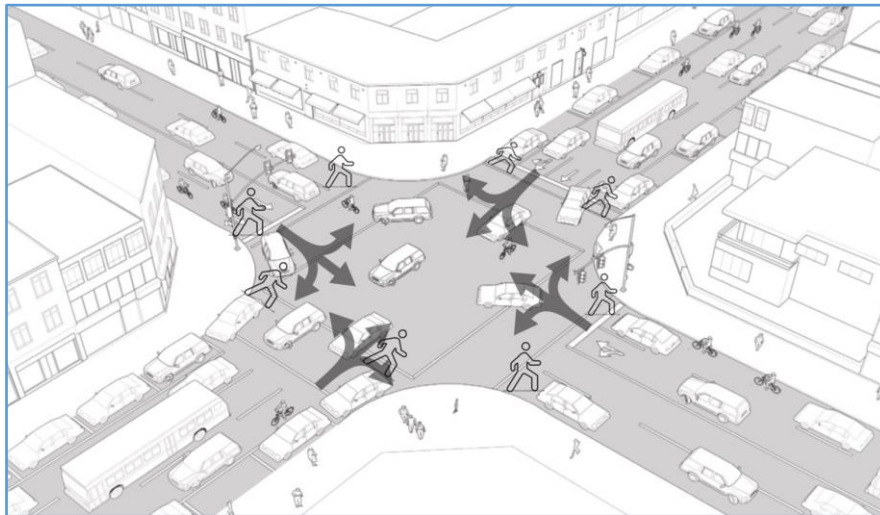


Figura 41. Movimientos y Conflictos Peatonales en una Intersección a Nivel Típica

Fuente: Global Street Design Guide: Designing Cities Initiative, (NACTO, 2016). Adaptación Propia.

Según Garber y Hoel (2009), los tipos básicos de intersecciones a nivel son intersecciones en T o de tres tramos que consisten en tres enfoques; intersecciones de cuatro accesos, que consisten en cuatro aproximaciones; e intersecciones multiacceso, que consisten en cinco o más aproximaciones.

Según el MTC (2018), una Intersección a nivel se clasifica principalmente en base a su composición (número de ramales que convergen a ella), definición de tránsito y el tipo de servicio requerido o impuesto.

Tabla 1. Angulo de Cruzamiento de los Tipos de Intersecciones a Nivel.

Intersección	Ramales	Ángulo de Cruzamiento
En T	3	Entre 60° y 120°
En Y	3	< 60° y >120°
En X	4	< 60°
En +	4	> 60°
En Estrella	más de 4	-
Rotondas	4 o más	-

Fuente: Manual de Carreteras: Diseño Geométrico, (MTC, 2018). Adaptación Propia.

Tabla 2. Variedad de Tipos de Intersecciones a Nivel

DE TRES RAMALES	EMPALME EN T	SIMPLE	ENSANCHADA	CANALIZADAS	
DE TRES RAMALES	EMPALME EN Y	SIMPLE	CANALIZADAS		
DE CUATRO RAMALES	INTERSECCION EN +	SIMPLE	ENSANCHADA	CANALIZADA	
	INTERSECCION EN X	SIMPLE	ENSANCHADA	CANALIZADA	
		VEASE FIGURA 501.01			
ESPECIALES		EN ESTRELLA		ROTONDA	

Fuente: Manual de Carreteras: Diseño Geométrico, (MTC, 2018). Adaptación Propia.

### 2.2.2.11 Intersecciones a Desnivel

Según Austroads (2018'), un intercambio de carreteras es una combinación de separaciones de grado e interconexiones de carreteras en la unión de dos o más carreteras, al menos una de las cuales es una autopista o carretera principal. Los intercambios a lo largo de una autopista constituyen el principal medio para que los conductores accedan y salgan de la autopista.

Así mismo, Mathew (2014) sostiene que son puentes que eliminan los conflictos de cruce en las intersecciones por la separación vertical de carreteras en el espacio. Las intersecciones a desnivel también se conocen como intercambios. Las intersecciones a desnivel causan menos peligro y retraso que las intersecciones de grado. La transferencia de ruta en las separaciones de grado se realiza mediante instalaciones de intercambio que consisten en rampas. El objetivo final de las intersecciones a desnivel es eliminar todos los conflictos de cruce de grado y

acomodar otras maniobras de intersección fusionando, divergiendo y comunicando a baja velocidad relativa.

Adicionalmente, Garber y Hoel (2009) indican que las intersecciones separadas por grados generalmente consisten en estructuras que permiten que el tráfico se cruce en diferentes niveles (distancias verticales) sin interrupción. El potencial de bloqueos en intersecciones separadas por grado se reduce porque se eliminan muchos conflictos potenciales entre flujos de tráfico que se cruzan.

- Rampa: Según Gómez (2004), una rampa es un tramo de camino que permite la conexión de una carretera con otra que la cruza. Por lo general se estudian las rampas en relación con autopistas y pasos a desnivel.



Figura 42. Intersección a Desnivel.

Fuente: Imgur, (<https://imgur.com/gallery/4AboG>).

### 2.2.3 Dispositivos de Control

Según el Manual de Dispositivos del Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (MTC 2016), tenemos varios tipos de dispositivos de control, pero consideramos a 3 de ellos como los más relevantes para la presente investigación que son las señales verticales, marcas en el pavimento y semáforos.

Así mismo, el Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC 2018'), indica también que son las señales verticales y horizontales (marcas en pavimento), semáforos y dispositivos auxiliares, tienen la función de facilitar a los usuarios la observancia estricta de las reglas que gobiernan la circulación del tránsito automotor, tanto en caminos, puentes y cruces con ferrocarriles, así como en calles de la ciudad.