

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



INGENIERÍA DE TRÁNSITO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

EVELIN ROMERO MARTÍNEZ

ASESOR

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

MÉXICO, D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA, 2014



DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/24/2014

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señorita

EVELIN ROMERO MARTINEZ

Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

"INGENIERÍA DE TRÁNSITO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS"

INTRODUCCIÓN

- I. FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO**
- II. FUNDAMENTOS DE ESTACIONAMIENTOS**
- III. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO**
- IV. ANÁLISIS DE AFOROS VEHICULARES**
- V. OFERTA Y DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS**
- VI. PRONÓSTICO DE LA DEMANDA**
- VII. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y CAJONES DE ESTACIONAMIENTO**
- VIII. CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

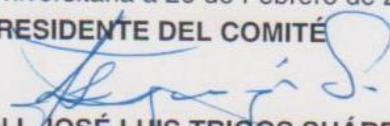
Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 20 de Febrero de 2014

EL PRESIDENTE DEL COMITÉ


M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH



AGRECIAMIENTOS

Este no es el cierre de un ciclo, es sólo la culminación de un paso más para seguir dentro de él, una meta más alcanzada se integra a mi vida y es la suma de esfuerzos de muchas personas....

A mis padres, Adolfo y Concepción, agradezco infinitamente por todo el apoyo incondicional, el interminable esfuerzo, el ejemplo de vida, el ánimo para no detenerme, las muestras de cariño y de afecto, porque gracias a ello, soy la persona que hoy en día busca la forma de salir adelante sin importar los obstáculos que se interpongan en mi camino, gracias por ser los mejores padres del mundo!!

A mis hermanos, Edgar y Eric, agradezco por ser mis profesores a lo largo de toda mi formación escolar, por ser mis amigos, por predicar con el ejemplo de esfuerzo, dedicación, entrega y profesionalismo, gracias por enseñarme a buscar la forma de continuar a pesar de cualquier circunstancia que se presente en la vida, gracias por estar ahí siempre para mí!!

A mi esposo, Pablo, agradezco por ser el pilar que me sostuvo siempre que lo necesite, por ser el motor que me impulsa para no dejarme vencer, por todo el amor y cariño que me dedica, gracias por ser el mejor compañero tanto en mi formación profesional como en mi formación de vida, eres lo mejor que me ha pasado!!

A la familia Díaz Jacobo, agradezco por el apoyo y ser como son conmigo, gracias Fernando, Marivel, Fernanda y Carlos por enseñarme a ser mejor persona con los momentos que me obsequian y por hacer mi familia más grande!!

A todos mis amigos y compañeros, gracias por haber aparecido en mi vida, porque sin duda alguna, llegaron a ella para ayudar a ser quien soy, tanto personal como profesionalmente...

A TODOS.... GRACIAS!!



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. CONSIDERACIONES GENERALES	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. METODOLOGÍA	3
2. FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO	5
2.1. FLUJO VEHICULAR	5
2.1.1. Flujo de tránsito.....	5
2.1.1.1. Flujo continuo	5
2.1.1.2. Flujo discontinuo.....	6
2.1.2. Velocidad.....	6
2.1.2.1. Velocidad de punto.....	7
2.1.2.2. Velocidad instantánea.....	8
2.1.2.3. Velocidad media temporal.....	9
2.1.2.4. Velocidad media espacial.....	10
2.1.3. Densidad	10
2.2. VOLUMEN DE TRÁNSITO	11
2.2.1. Volúmenes de tránsito absolutos o totales	12
2.2.2. Volúmenes de tránsito promedio diarios	13
2.2.3. Volúmenes de tránsito horarios	14
2.2.4. Factor de hora pico (FHP)	15
2.3. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO	15
2.3.1. Capacidad	15
2.3.2. Nivel de servicio	16
2.3.2.1. Clasificación de nivel de servicio.....	17
3. FUNDAMENTOS DE ESTACIONAMIENTOS	20
3.1. GENERALIDADES	20
3.1.1. Estacionamiento sobre la vía pública	20
3.1.2. Estacionamiento fuera de la vía pública.....	23
3.2. NORMA MEXICANA PARA DISEÑO DE ESTACIONAMIENTOS	25
3.2.1. Recomendaciones generales.....	33
3.3. PARKING GENERATION	50
4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO	55
4.1. ESTUDIOS DE CAMPO	55
4.1.1. Rotación y permanencia en vía	55
4.1.2. Aforo de placas en estacionamiento fuera de vía	56



4.1.3.	Aforos vehiculares	58
4.1.4.	Inventarios de cupos de estacionamiento.....	59
4.1.5.	Inventario de características físicas de las vialidades.....	60
4.1.6.	Inventario tarifario de los estacionamientos fuera de vía.....	61
5.	ANÁLISIS DE AFOROS VEHICULARES	63
5.1.	ANÁLISIS DE AFOROS VEHICULARES	63
5.2.	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD	70
5.2.1.	Análisis de capacidad.....	70
5.2.2.	Capacidad vial.....	70
6.	OFERTA Y DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS	74
6.1.	OFERTA DE ESTACIONAMIENTOS.....	74
6.1.1.	Oferta en vía	75
6.1.2.	Oferta fuera de vía.....	77
6.1.3.	Oferta total en el área de estudio	77
6.2.	DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS.....	78
6.2.1.	Demanda de estacionamiento en vía	79
6.2.2.	Demanda de estacionamiento fuera de vía	81
6.3.	CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DE LA DEMANDA	83
6.3.1.	Estacionamiento en vía.....	84
6.3.2.	Estacionamiento fuera de vía.....	88
7.	PRONÓSTICO DE LA DEMANDA	91
7.1.	PRONÓSTICO DE VARIABLES SOCIOECONÓMICAS	91
7.1.1.	Proyecciones de la población total.....	91
7.1.2.	Proyección del parque vehicular.....	92
7.1.3.	Tasas de crecimiento de las variables socioeconómicas	93
8.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y CAJONES DE ESTACIONAMIENTO.....	96
8.1.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA SEMANAL.....	96
8.2.	DEMANDA EN VÍA PRONOSTICADA Y REQUERIMIENTO DE CAJONES.....	98
8.2.1.	Sensibilidad de requerimiento de cajones	99
8.2.2.	Cálculo de cajones por norma	101
8.2.3.	Cálculo de cajones por Parking Generation	102
8.2.4.	Cantidad mínima de cajones de estacionamiento	103
8.3.	PROPUESTA TARIFARIA	104
9.	CONCLUSIONES.....	106
	BIBLIOGRAFÍA	107



1. INTRODUCCIÓN

Dado el crecimiento acelerado del parque automotor en nuestras ciudades (de acuerdo al INEGI, en el periodo 2009-2010 aumentó en un 40% la producción de automóviles), es importante resaltar que antes de resolver los problemas de los vehículos en movimiento, debemos solucionar los problemas que ocasionan los vehículos estacionados. Más aún si se tiene en cuenta que en promedio un vehículo permanece estacionado 21 horas al día (esto, considerado para la población ocupada, que sólo utiliza su vehículo para trasladarse a su trabajo, escuela, casa, etc).

De acuerdo con lo anterior, se hace indispensable que todos los proyectos de urbanismo e ingeniería de tránsito, contemplen el espacio requerido para ubicar los vehículos y evitar lo que actualmente está sucediendo, que la demanda de estacionamiento es mayor que la oferta de sitios para ello. Esto reduce la capacidad de las vías, ocasiona la invasión de los andenes, lo que a la vez, obliga a los peatones a andar por la calzada, con el riesgo de ocurrencia de un accidente.

Para lograr mejorar dicha situación, se deben impulsar políticas que estimulen la creación de sitios de estacionamientos fuera de la vía; a través de la restricción de estacionamiento sobre la vía, limitación del tiempo del estacionamiento o la exoneración del pago de impuestos.

Este documento muestra la metodología propuesta para el diseño de estacionamientos empleando las consideraciones de la Norma Técnica Complementaria para el proyecto arquitectónico (Gaceta Oficial del Distrito Federal) y el Parking Generation (Institute of Transportation Engineers), además de determinar la oferta y demanda requerida para la situación actual y la situación futura por medio de un pronóstico de crecimiento en la demanda.



1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La oferta de estacionamientos está ligada con la atracción de usuarios dentro de una zona. Como resulta lógico, la necesidad de dotar de estacionamiento a algún punto específico de una zona responde a la gran afluencia de usuarios que convergen en ese punto. Desde esa perspectiva los estacionamientos pueden ser una herramienta útil para habitar o descongestionar una determinada zona, a través del cambio de hábitos de los usuarios, este cambio de hábitos se puede dar por restricciones voluntarias o inducidas con ayuda de reglamentaciones definidas buscando un mayor beneficio social.

Tradicionalmente, la lucha contra la congestión se afrontaba mediante el desarrollo de infraestructura. Si bien la ampliación de vías, la construcción de pasos a desnivel y distribuidores en algunos casos ayuda a la disminución de esta congestión, en muchos otros casos, estas medidas son insuficientes para resolver de manera eficaz el problema.

En este contexto de lucha contra la congestión vehicular, debe subrayarse que la disponibilidad de lugares de estacionamiento en un área concreta, no sólo incide en la buena circulación y movilidad en ésta, sino que, puede influir también en la movilidad en otros puntos de la zona.

Cuando la congestión generada por vehículos particulares en las vialidades corresponde a que estos vehículos tienen disponibilidad de lugares de estacionamiento en vía casi garantizados dentro de la zona de estudio, se debe de evaluar la eliminación de estacionamientos en vía y además la creación de oferta fuera de ella, teniendo en cuenta que cada lugar de estacionamiento generado representa un nuevo vehículo circulando en la zona.



Así, la necesidad de controlar el estacionamiento en la zona no debe observarse sólo desde el nivel de la demanda cubierta o en función de la capacidad de la infraestructura local, sino, también, en relación a la capacidad y nivel de congestión de los principales elementos de la red de la zona de estudio. La dotación de lugares de estacionamiento puede observarse, de esta manera, como un importante elemento anticongestión y/o atractor de viajes, según convenga.

1.2. OBJETIVOS

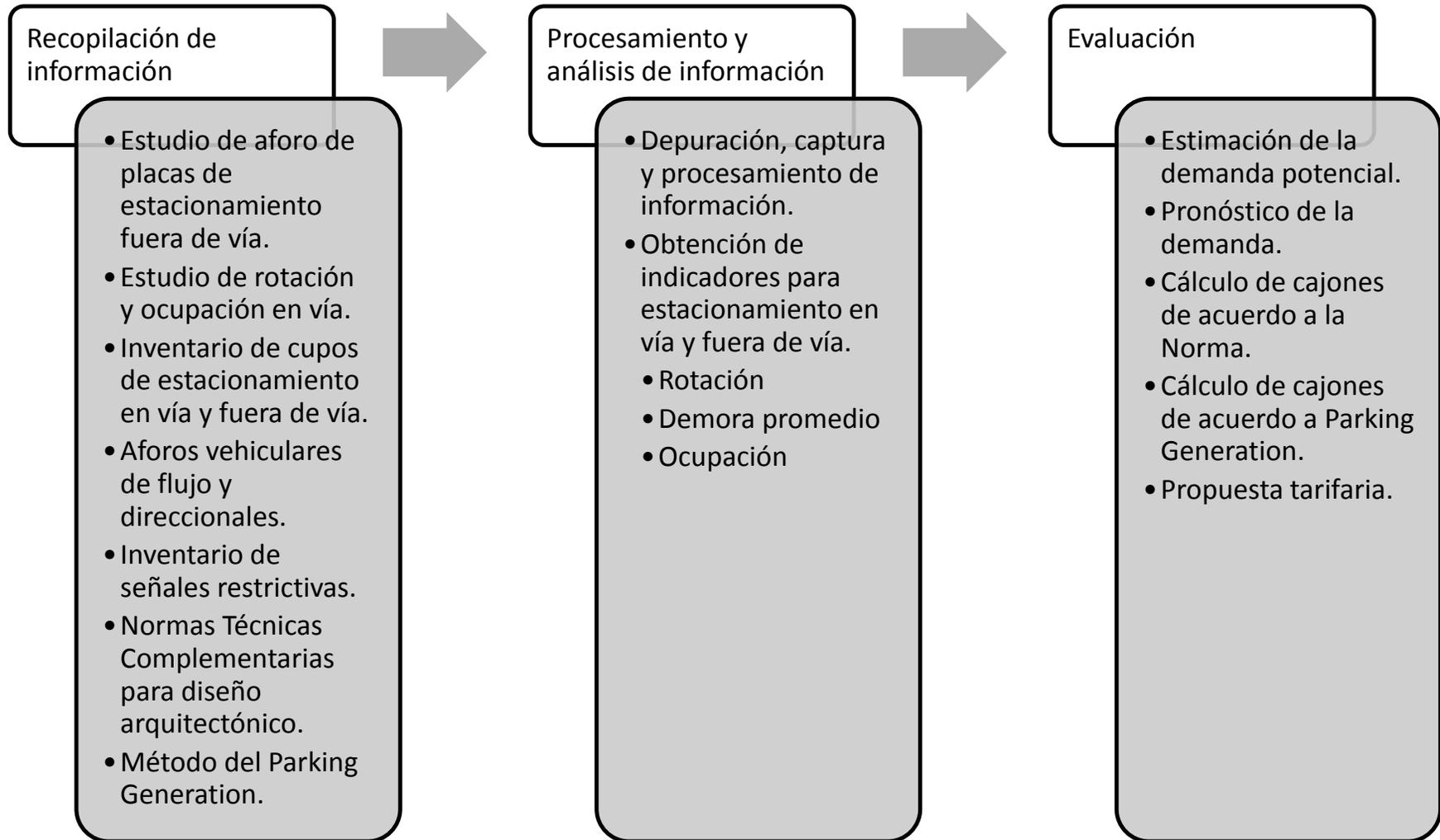
Dentro de los objetivos principales de la metodología que se plantea en este documento se encuentran:

- Estimar la oferta y demanda de estacionamiento que puede generar cierto tipo de proyecto urbanístico.
- Estimar el posible requerimiento de cajones de estacionamiento en fuera de vía.
- Realizar una recomendación de tarifa para un nuevo esquema de estacionamiento fuera de vía.

1.3. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para realizar la estimación de la oferta y demanda de un estacionamiento, además de cubrir el cumplimiento de los objetivos antes citados, es:

Figura 1-1. Metodología.



Fuente: Elaboración propia, 2013



2. FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO

2.1. FLUJO VEHICULAR

Mediante el análisis de los elementos del flujo vehicular se pueden entender las características y el comportamiento del tránsito, requisitos básicos para el planeamiento, proyecto y operación de carreteras, calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte.

En esta sección se presenta una descripción de algunas de las características fundamentales del flujo vehicular, representadas en sus tres variables principales: el flujo, la velocidad y la densidad. Mediante estas características se puede determinar las características de la corriente de tránsito, y así predecir las consecuencias de diferentes opciones de operación o de proyecto. De igual manera, el conocimiento de estas tres variables reviste singular importancia, ya que éstas indican la calidad o nivel de servicio experimentado por los usuarios de cualquier sistema vial.

2.1.1. Flujo de tránsito

El Manual de Capacidades HCM 2000, clasifica a los tipos de caminos en dos categorías o tipos de operación del flujo vehicular: flujo continuo y discontinuo.

2.1.1.1. Flujo continuo

Es aquel en que el vehículo que va transitando por la vía sólo se ve obligado a detenerse por razones inherentes al tráfico.

Los caminos que poseen las características de flujo continuo no tienen elementos externos a la corriente del tránsito, tales como semáforos, que puedan interrumpir el mismo. Cuando se tiene un camino que opera en estas condiciones, las características de operación de los vehículos que por él



circulan son el resultado de la intersección entre los vehículos existentes en la corriente de tránsito y entre los vehículos y las características geométricas y del medio ambiente en el cual se desarrolla el camino.

En otras palabras, el flujo continuo es la circulación de vehículos donde no existen intersecciones con semáforos o con señales de alto.

2.1.1.2. Flujo discontinuo

Es el característico de las calles donde las interrupciones son frecuentes por cualquier motivo, siendo una de estas los controles de tránsito, de las intersecciones con semáforos, etc.

Los caminos que poseen las características de flujo discontinuo tienen elementos fijos que pueden interrumpir la corriente vehicular. En esos elementos se incluyen los semáforos, las señales de alto y cualquier otro dispositivo de control de tránsito, cuya presencia origina la detención periódica de los vehículos (o la disminución significativa de su velocidad) independientemente de los volúmenes de tránsito existentes.

2.1.2. Velocidad

En general, el termino velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, usualmente expresada en kilómetros por hora (km/h).

Para el caso de una velocidad constante, ésta se define como una función lineal de la distancia y el tiempo, expresada por la fórmula:

$$v = \frac{d}{t}$$



Donde:

v = velocidad constante (km/h)

d = distancia recorrida (km)

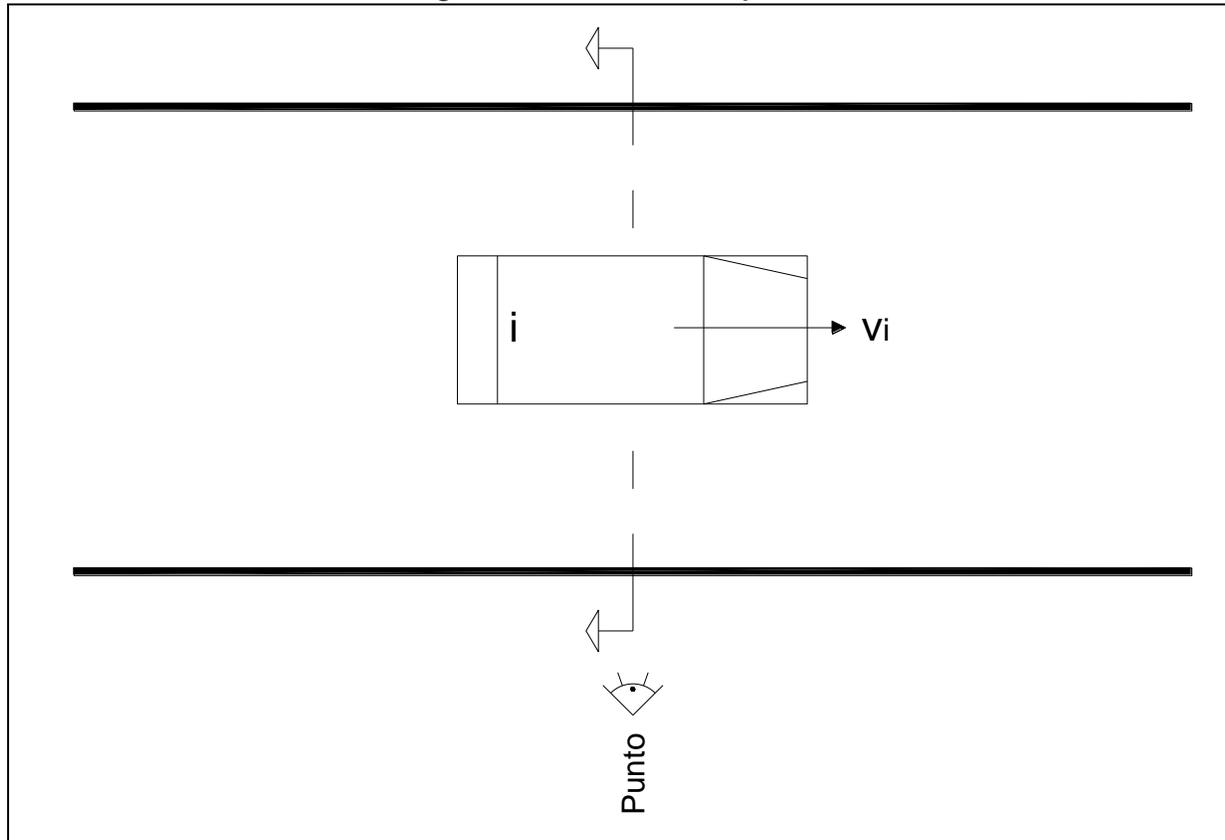
t = tiempo de recorrido (t)

Se puede decir que el término velocidad, aplicado al movimiento de vehículos, se utiliza de diferentes maneras de acuerdo a los estudios que se efectúen y los objetivos que se persigan. Esto significa que existen conceptualmente varios tipos de velocidad, los cuales deben ser definidos y aplicados claramente, tal como se expone a continuación.

2.1.2.1. Velocidad de punto

Tal como se muestra en la Figura 2-1, la velocidad de punto de un vehículo i , es la velocidad V_i a su paso por un determinado punto o sección transversal de una carretera o de una calle.

Figura 2-1. Velocidad de punto.

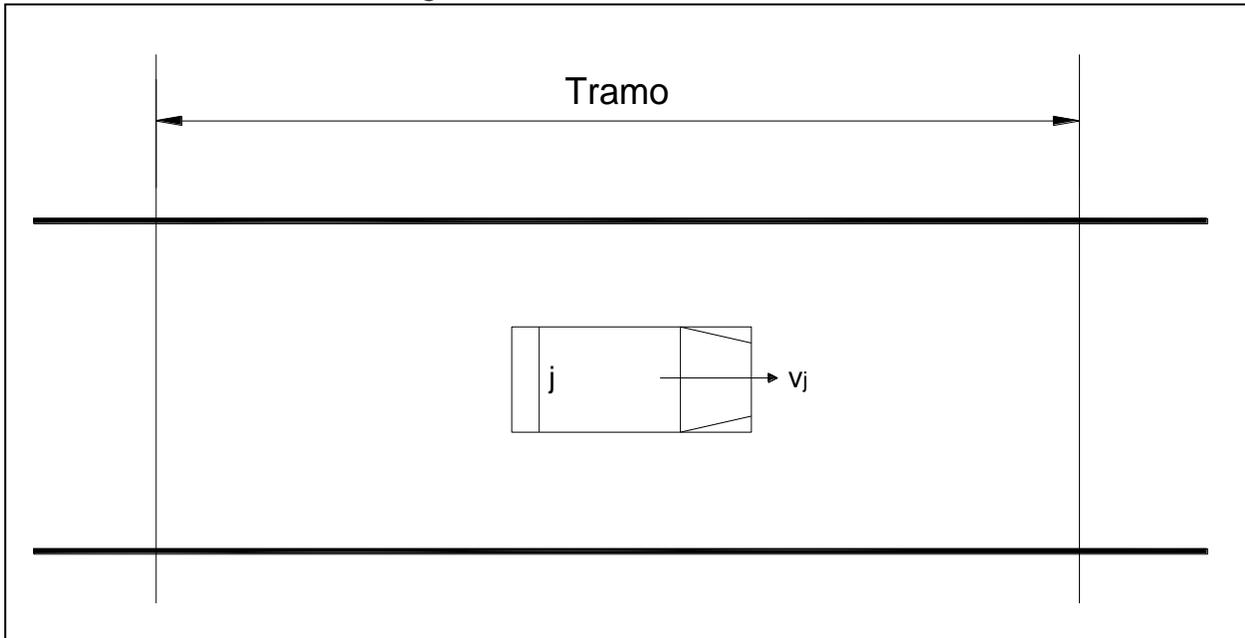


Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

2.1.2.2. Velocidad instantánea

De acuerdo a la Figura 2-2, la velocidad instantánea de un vehículo j , es la velocidad V_j cuando se encuentra circulando a lo largo de un tramo de una carretera o de una calle en un instante dado.

Figura 2-2. Velocidad instantánea.



Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

2.1.2.3. Velocidad media temporal

Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado. Se dice entonces que se tiene una distribución temporal de velocidades de punto. Matemáticamente, la velocidad media temporal se define como:

$$V_t = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

Donde:

V_t = velocidad media temporal

V_i = velocidad de punto del vehículo i

n = número total de vehículos observados en el punto o tamaño de la muestra.



2.1.2.4. Velocidad media espacial

Es la media aritmética de las velocidades instantáneas de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de carretera o calle. Se dice entonces, que se tiene una distribución espacial de velocidades instantáneas. Matemáticamente, la velocidad media espacial se define como:

$$V_e = \frac{\sum_{j=1}^m V_j}{m}$$

Donde:

V_e = velocidad media espacial

V_j = velocidad instantánea del vehículo j

m = número total de vehículos observados en el tramo o tamaño de la muestra.

2.1.3. Densidad

La tercera variable básica del flujo vehicular es la densidad, también conocida como ocupación vial. Es el número de vehículos que se encuentran en cierto momento, parados o andando, en un tramo de una vía, calzada o carril. Se expresa en vehículos por kilómetro, ya que en un metro no suelen caber un vehículo real y mucho menos en un punto, que es donde se mide el volumen.

Conviene destacar que si bien la densidad se mide en un punto temporal y en una unidad espacial suficientemente grande para que quepa al menos un vehículo, el volumen se mide en un punto espacial y en una unidad temporal suficientemente grande para que pase al menos un vehículo. Son conceptos teóricamente incompatibles y sólo se pueden relacionar aproximadamente utilizando valores medios. Por el contrario, la velocidad se puede medir tanto



en casi un punto como en un tramo y en cualquier unidad de tiempo, mientras se trate de un tiempo finito.

2.2. VOLUMEN DE TRÁNSITO

En ingeniería de tránsito, la medición básica más importante es el conteo o aforo, ya sea de vehículos, ciclistas, pasajeros y/o peatones. Los conteos se realizan para tener estimaciones de:

➤ **Volumen**

Es el número de vehículos (o personas) que pasan por un punto durante un tiempo específico.

➤ **Tasa de flujo**

Es la frecuencia a la cual pasan los vehículos (o personas) durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente.

➤ **Demanda**

Es el número de vehículos (o personas) que desean viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico. Donde existe congestión, la demanda es mayor que el volumen actual, ya que algunos viajes se desvían hacia rutas alternas y otros simplemente no se realizan debido a las restricciones del sistema vial.

➤ **Capacidad**

Es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial, y representa su oferta. En un punto, el volumen actual nunca puede ser mayor que su capacidad real, sin embargo, hay situaciones en las que parece que esto ocurre precisamente



debido a que la cantidad es estimada o calculada mediante algún procedimiento y no observada directamente en campo.

Como puede observarse, la demanda es una medida del número de vehículos que esperan ser servidos, distinto de los que son servidos (volumen) y de los que pueden ser servidos (capacidad).

Cuando la demanda es menor que la capacidad, el volumen es igual a la demanda, por lo que los conteos o aforos que se realicen, son mediciones de la demanda existente.

Por lo que, se define volumen de tránsito como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dado, de un carril o de una calzada, durante un período determinado, y se expresa como:

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

Donde:

Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/período)

N = número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = período determinado (unidades de tiempo)

2.2.1. Volúmenes de tránsito absolutos o totales

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



➤ **Tránsito Anual (TA)**

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

➤ **Tránsito mensual (TM)**

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

➤ **Tránsito semanal (TS)**

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

➤ **Tránsito diario (TD)**

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

➤ **Tránsito horario (TH)**

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

➤ **Tránsito en un período inferior a una hora (Q_i)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un período inferior a una hora. En este caso $T < 1$ hora y donde i , por lo general, representa el período en minutos. Así por ejemplo, Q_{15} es el volumen de tránsito total en 15 minutos.

2.2.2. Volúmenes de tránsito promedio diarios

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o



menos a un año y mayor que un día, dividido por el número de días del período. De manera general se expresa como:

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} < T \leq 1 \text{ año}}$$

Donde N representa el número de vehículos que pasan durante T días. De acuerdo al número de días del período, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario, dados en vehículos por día.

➤ **Tránsito promedio diario anual (TPDA)**

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

➤ **Tránsito promedio diario mensual (TPDM)**

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

➤ **Tránsito promedio diario semanal (TPDS)**

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

2.2.3. Volúmenes de tránsito horarios

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

➤ **Volumen horario máximo anual (VHMA)**

Es el máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado. En otras palabras, es la hora de mayor volumen de las 8,760 horas del año.



➤ Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los períodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular.

2.2.4. Factor de hora pico (FHP)

En la hora de máxima demanda, se llama factor de la hora de máxima demanda FHMD, más conocido como factor de hora pico FHP, a la relación entre el volumen horario de máxima demanda, VHMD, y el flujo máximo $q_{\text{máx}}$, que se presenta durante un período dado en dicha hora. Matemáticamente se expresa como:

$$\text{FHMD} = \text{FHP} = \frac{\text{VHMD}}{N(q_{\text{máx}})}$$

Donde:

N = número total de períodos durante la hora de máxima demanda

2.3. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

2.3.1. Capacidad

Para determinar la capacidad de un sistema vial, rural o urbano, se deben conocer sus características físicas, geométricas y de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones.

El estudio de capacidad de un sistema vial es un estudio cuantitativo que permite evaluar la suficiencia de la vía, y a la vez es cualitativo para definir la calidad del servicio ofrecido por el sistema a los usuarios.



Una corriente de tránsito, dentro de un sistema vial, funciona aceptablemente bien cuando la magnitud del flujo, circulando a una velocidad razonable, es menor que la capacidad del sistema.

Si los valores del flujo están cerca de la capacidad, el tránsito se torna inestable y la congestión se hace presente. Adicionalmente, los flujos que circulan a velocidades bajas y densidades altas, también ocasionan condiciones de operación forzada.

En cualquiera de las fases de un proyecto vial, es necesario conocer la demanda del tránsito (presente y futuro), lo cual constituye una cantidad conocida. La capacidad u oferta, es la medida de eficiencia con la que un sistema vial presta su servicio y debe establecerse.

La capacidad es el máximo número de vehículos o peatones que pasan por un punto o sección uniforme, durante un intervalo de tiempo (generalmente 15 minutos – período de flujo estable), bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial analizada (de flujo continuo u discontinuo), del tránsito sobre ella y de los dispositivos de control existentes dentro de las cuales se destacan:

- **Condiciones de la infraestructura vial:** características físicas, desarrollo del entorno, características geométricas y tipo de terreno.
- **Condiciones del tránsito:** distribución espacial y temporal y la composición del tránsito.
- **Condiciones de control:** dispositivos de control del tránsito.

2.3.2. Nivel de servicio

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

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

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

El Manual de Capacidad Vial 2000 (Highway Capacity Manual, HCM en sus siglas en inglés, publicado en Estados Unidos por el centro de investigación vial "Transportation Research Board"), ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua.

2.3.2.1. Clasificación de nivel de servicio

Las condiciones de operación de los niveles de servicio, son:

➤ Nivel de servicio A



Representa circulación a flujo libre, hay libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular es alta (no existen efectos por la presencia de otros usuarios). Nivel de comodidad y conveniencia del usuario es alta.

➤ **Nivel de Servicio B**



Dentro del rango de flujo estable, tiene restricciones al flujo libre o las especificaciones geométricas reducen la velocidad. Se disminuyen la libertad de conducir a la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar. En general el nivel de libertad y comodidad que tiene el conductor es bueno, aunque empieza a sentirse la presencia de otros usuarios.

➤ **Nivel de Servicio C**



Aún en el rango de flujo estable, aunque empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendiente y se siente de manera significativa la interacción con los otros usuarios. El nivel general de libertad y comodidad del conductor es adecuado aunque algo limitado.

➤ **Nivel de Servicio D**



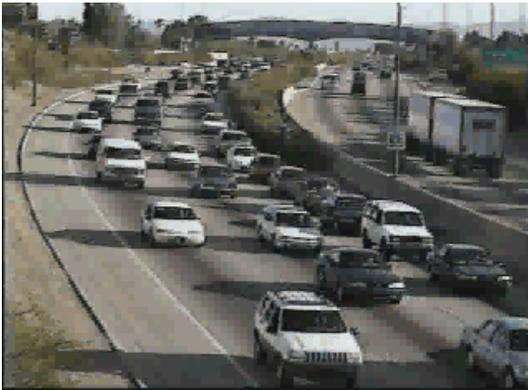
Circulación con densidad elevada aunque todavía estable y se presentan restricciones de geometría y pendiente. No existe libertad para conducir con la velocidad deseada. El nivel general de libertad y comodidad del conductor es deficiente y pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de operación.

➤ **Nivel de Servicio E**



Representa circulación a capacidad. No es viable adelantar. Niveles de libertad y comodidad bajos. Capacidad inestable ya que pequeñas perturbaciones producen congestión.

➤ **Nivel de Servicio F**



Representa la circulación forzada y congestionada, el volumen de demanda supera la capacidad de la vía. Se forman largas colas y operaciones con constantes paradas y avances cortos – flujo extremadamente inestable.

3. FUNDAMENTOS DE ESTACIONAMIENTOS

3.1. GENERALIDADES

Los estacionamientos se clasifican en dos categorías que son complementarias:

3.1.1. Estacionamiento sobre la vía pública

Corresponde al que tradicionalmente se ha presentado sobre la vía, adyacente a la banqueta, frente a las instalaciones comerciales, edificios de oficinas y viviendas, el cual reduce la capacidad tanto por el espacio ocupado por los vehículos estacionados como por las maniobras de entrada y salida. Esta categoría se subdivide en:

- **Estacionamiento libre.** Se presenta en aquellos sitios donde no existe ningún tipo de restricción para estacionarse. Tiene el inconveniente, de no ser equitativo, ya que un usuario se puede demorar más que otro.

Figura 3-1. Estacionamiento libre.



Fuente: Capturada por Cal y Mayor y Asociados.

- **Estacionamiento controlado.** Se presenta en aquellos sitios que disponen de señales o dispositivos para restringir el tiempo de utilización, con el fin de aumentar la capacidad de estacionamiento, al permitir que más vehículos se puedan estacionar. El medio más utilizado para llevar el control el tiempo, es el parquímetro.

Figura 3-2. Estacionamiento controlado con parquímetro.



Fuente: Capturada por Cal y Mayor y Asociados.

Adicionalmente, el estacionamiento sobre la vía se puede presentar así:

- **Estacionamiento en batería.** Estacionamiento de vehículos lado a lado, formando un ángulo, el frente o la parte trasera, con el sentido de circulación.

Figura 3-3. Estacionamiento en batería.



Fuente: Google Earth.

- **Estacionamiento en cordón.** Estacionamiento de vehículos, uno tras otro, paralelamente a la banqueta y junto a la misma.

Figura 3-4. Estacionamiento en cordón.



Fuente: Capturada por Cal y Mayor y Asociados.

3.1.2. Estacionamiento fuera de la vía pública

Estos estacionamientos se requieren para disminuir la utilización de la vía pública como zona de estacionamiento, en beneficio de los usuarios y del mejoramiento de la circulación vial. Pueden ubicarse en lotes o en edificios, los cuales a su vez, pueden ser para uso público o privado.

Figura 3-5. Estacionamiento en fuera de vía (estacionamiento público).



Fuente: Captura propia, 2014.



Dentro de los estacionamientos ubicados en lotes, se encuentran los del centro de la ciudad, grandes centros comerciales, y centros deportivos.

Los edificios para estacionamientos se construyen de forma superficial o subterráneamente, y pueden ser operados por acomodadores (valet parking) o por autoservicio.



3.2. NORMA MEXICANA PARA DISEÑO DE ESTACIONAMIENTOS

En estudios realizados en años previos al 2010 por la Secretaria de Obras y Servicios del Distrito Federal, se analizaron las diferentes dimensiones de los automóviles registrados en la ciudad y en el país para determinar las características básicas y necesarias que requiere un proyecto de estacionamiento.

Tomando en cuenta el pronóstico de los porcentajes de los tipos de automóviles, se recomiendan como dimensiones de proyecto, de los cajones de estacionamiento, las indicadas en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1. Dimensiones mínimas de los cajones de estacionamiento.

Tipo de automóvil	Dimensiones del cajón (m)	
	En batería	En cordón
Grandes y medianos	5.0 x 2.4	6.0 x 2.4
Chicos	4.2 x 2.2	5.0 x 2.0

Fuente: Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Las dimensiones para los pasillos de circulación dependen del ángulo de inclinación que disponen los cajones de estacionamiento. Los valores mínimos recomendados se muestran en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Dimensiones mínimas para los pasillos de estacionamiento.

Ángulo del cajon	Anchura del pasillo (m)	
	Automóviles	
	Grandes y medianos	Chicos
30°	3.0	2.7
45°	3.3	3.0
60°	5.0	4.0
90°	6.0	5.0

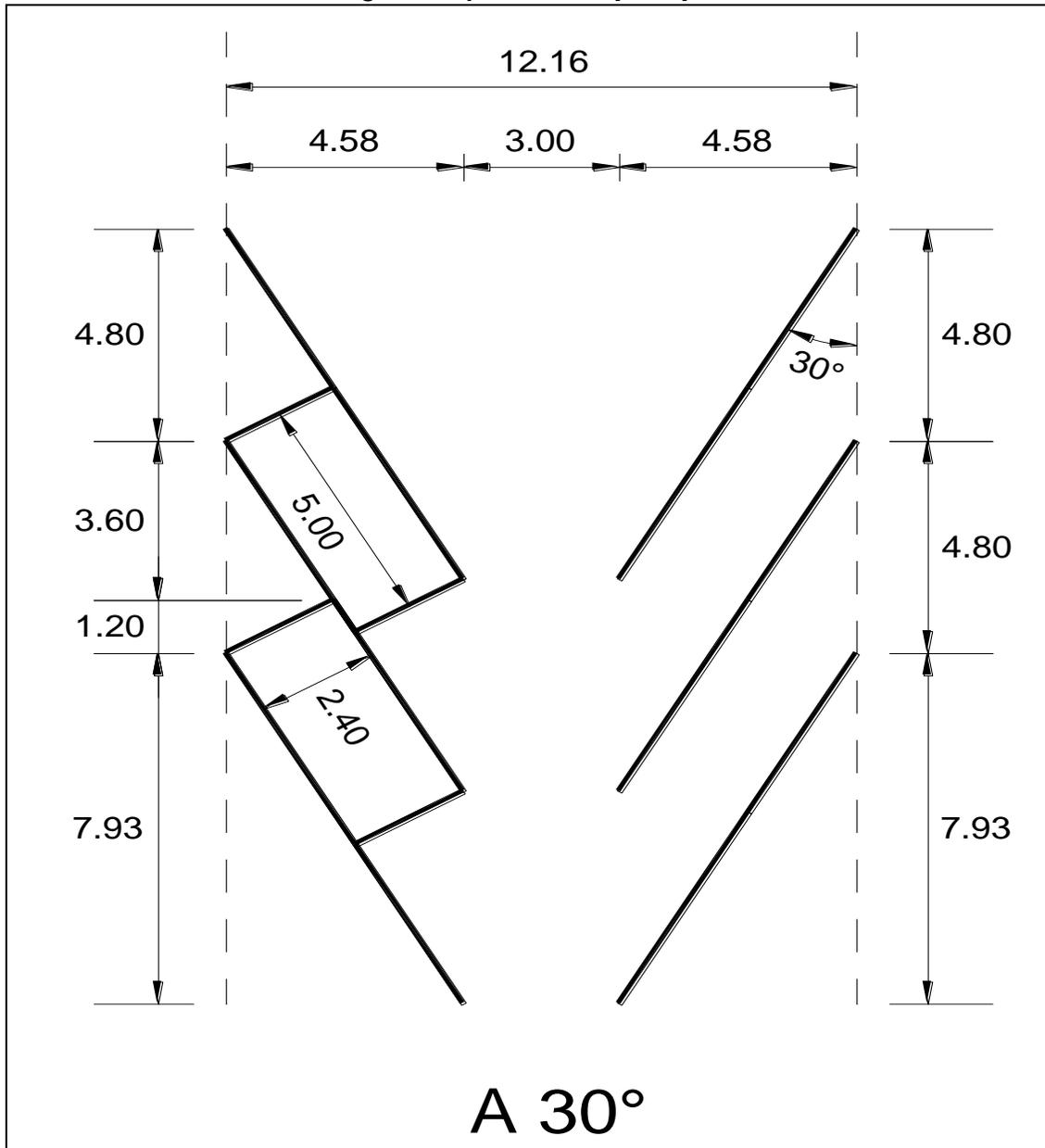
Fuente: Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

En general, se recomienda proyectar par automóviles grandes y medianos. Si existen limitaciones en el espacio disponible, puede destinarse una parte del mismo estacionamiento para automóviles chicos.

De la Figura 3-6 a la Figura 3-9 se muestran las ilustraciones de las dimensiones para los estacionamientos de automóviles grandes y medianos.

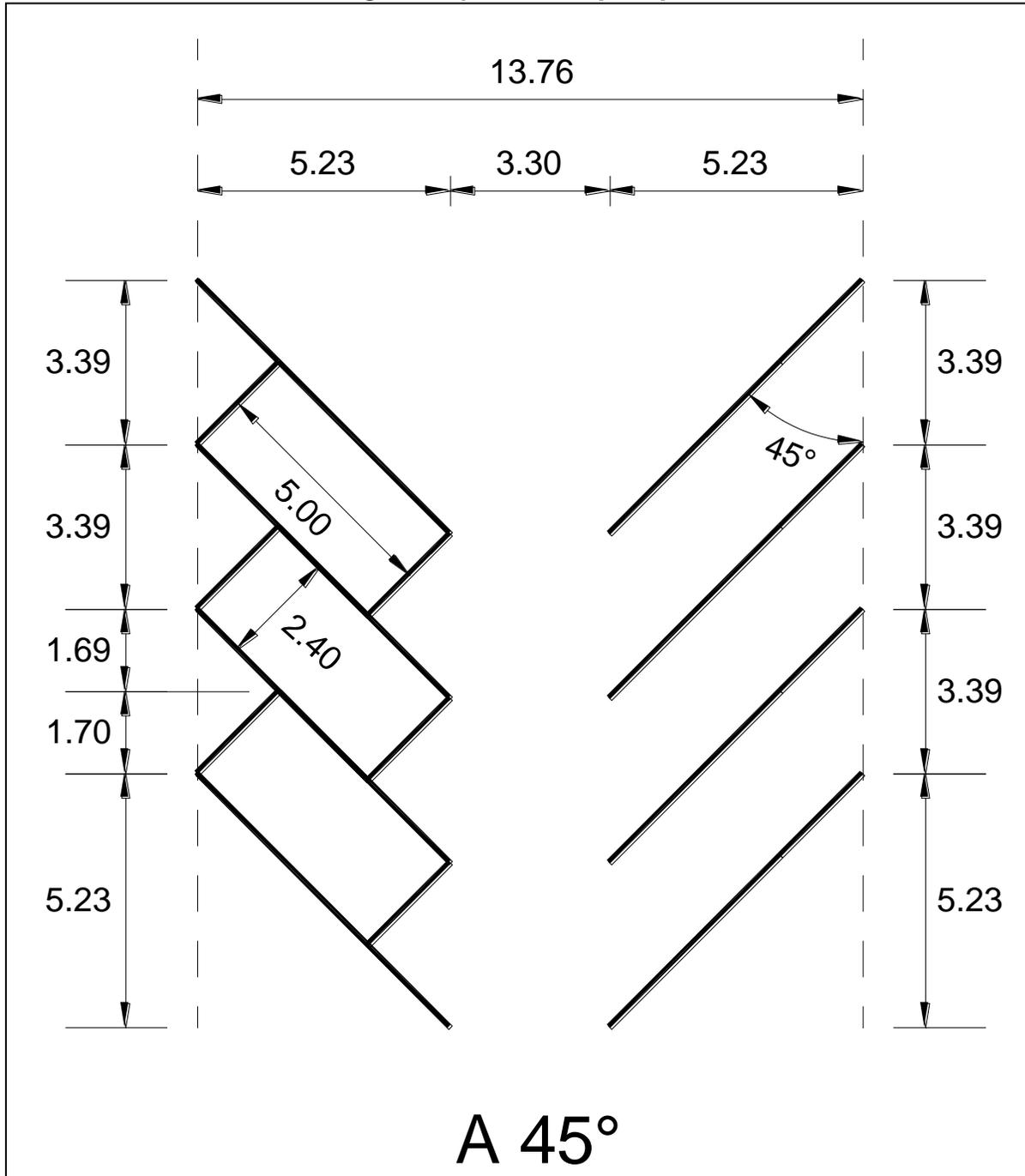
De la Figura 3-10 a la Figura 3-13 se muestran las ilustraciones de las dimensiones para los estacionamientos de automóviles chicos.

Figura 3-6. Dimensiones mínimas (m) para cajones de estacionamientos de automóviles grandes y medianos (a 30°).



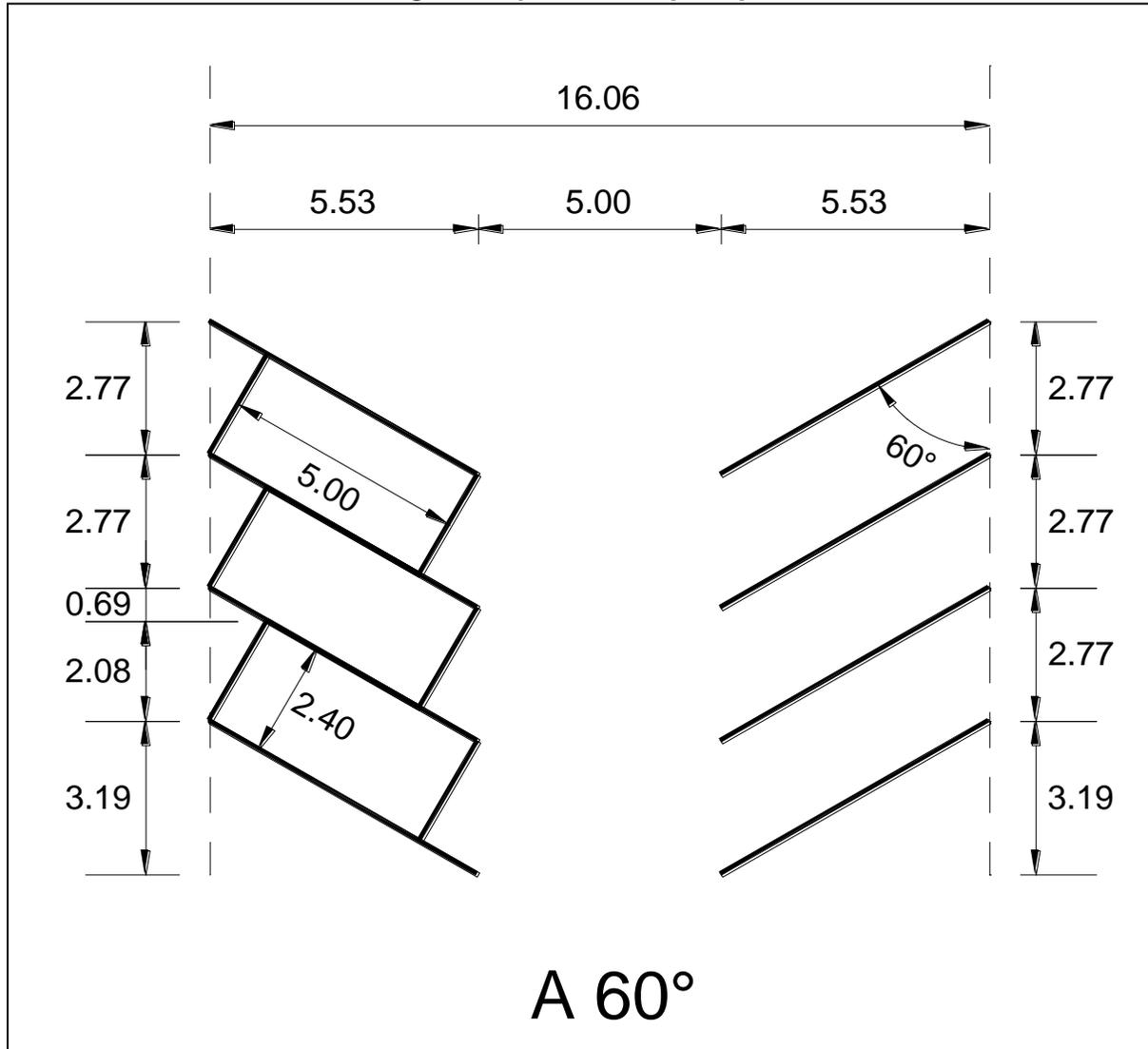
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-7. Dimensiones mínimas (m) para cajones de estacionamientos de automóviles grandes y medianos (a 45°).



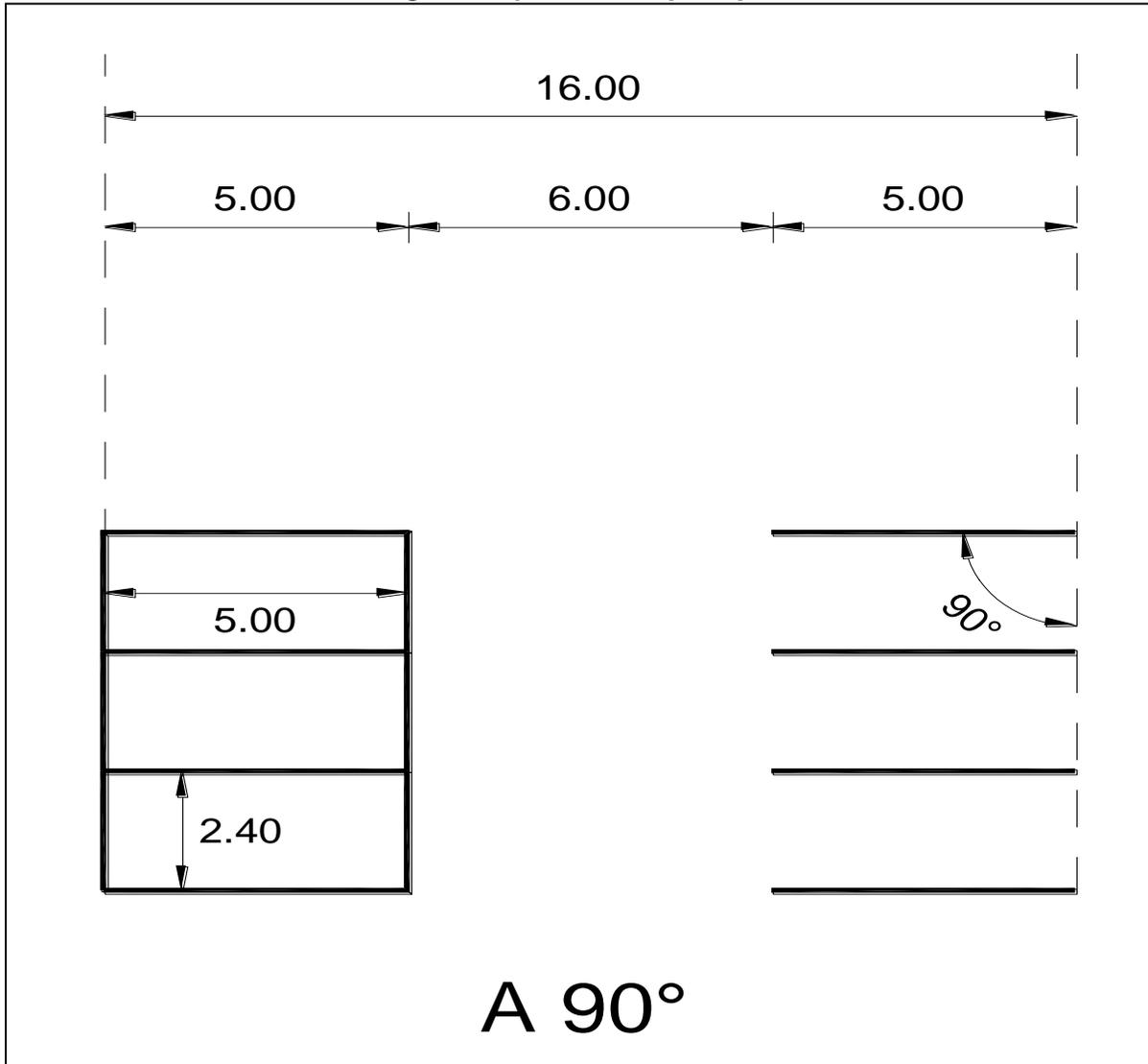
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-8. Dimensiones mínimas (m) para cajones de estacionamientos de automóviles grandes y medianos (60°).



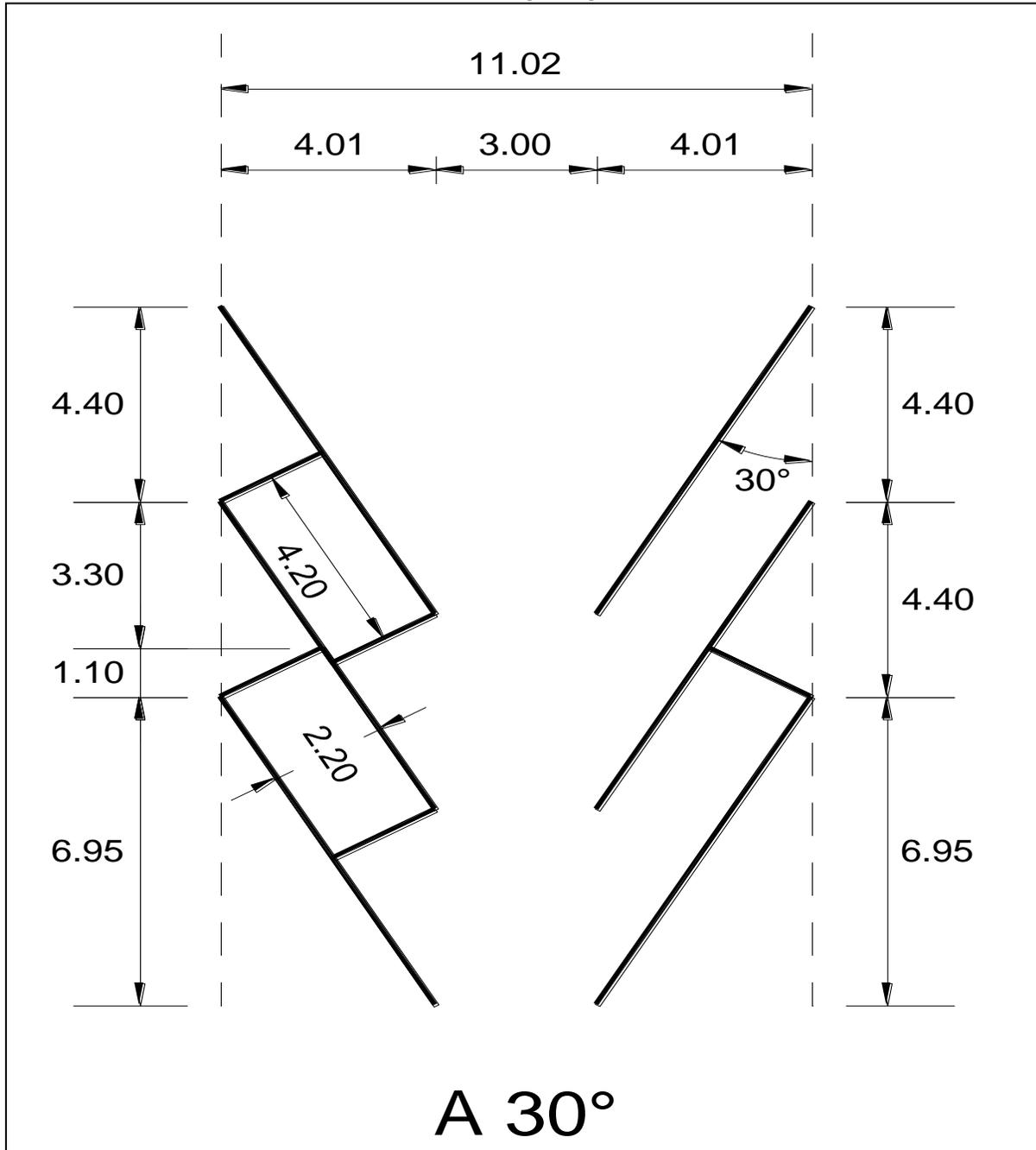
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-9. Dimensiones mínimas (m) para cajones de estacionamientos de automóviles grandes y medianos ($\alpha 90^\circ$).



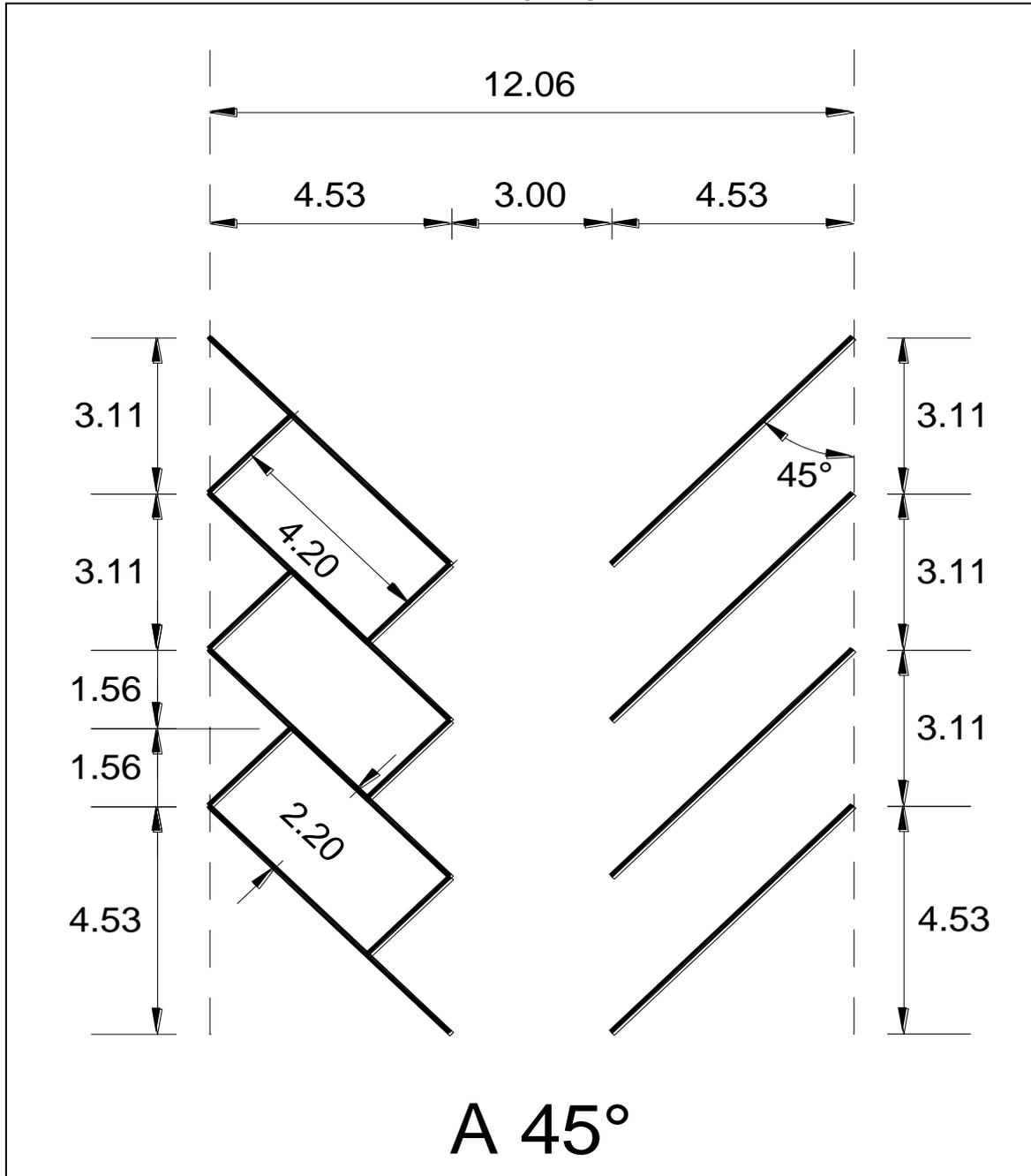
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-10. Dimensiones mínimas (m) para cajones de estacionamientos de automóviles chicos (a 30°).



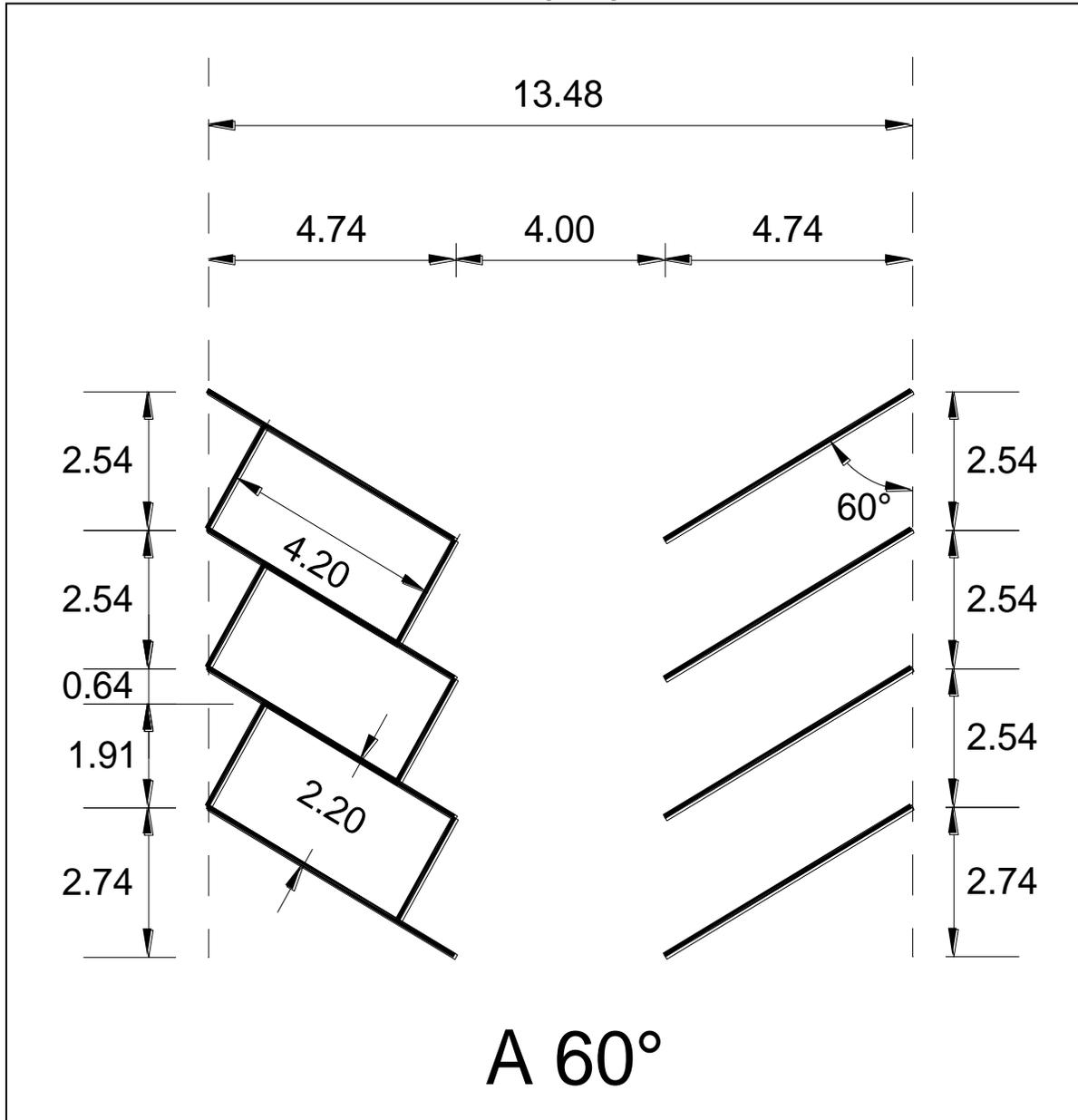
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-11. Dimensiones mínimas (m) para cajones de estacionamientos de automóviles chicos ($\alpha 45^\circ$).



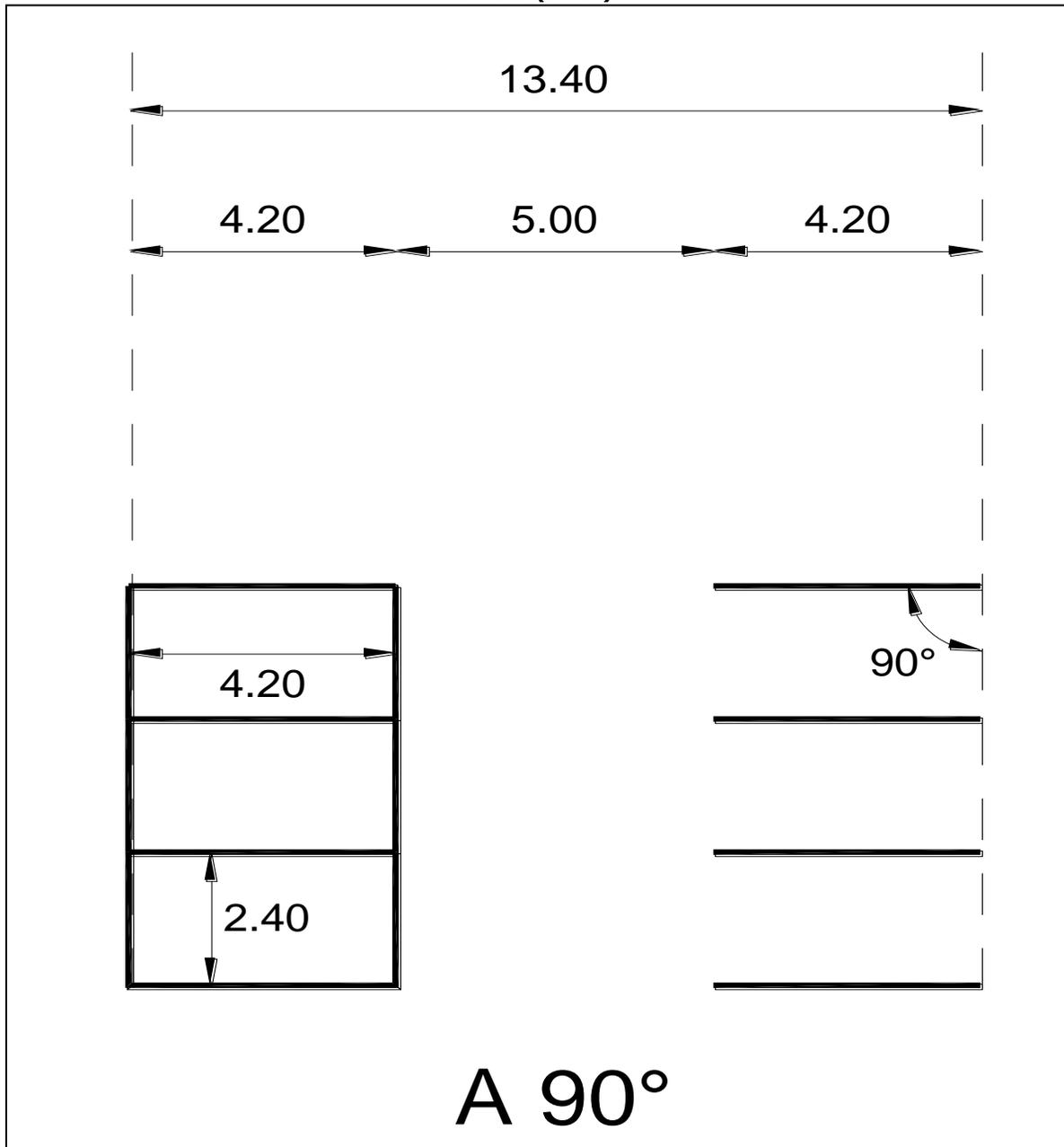
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-12. Dimensiones mínimas (m) para cajones de estacionamientos de automóviles chicos ($\alpha 60^\circ$).



Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-13. Dimensiones mínimas (m) para cajones de estacionamientos de automóviles chicos (a 90°).



Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

3.2.1. Recomendaciones generales

Para realizar el diseño de un estacionamiento, es necesario que por las Normas Técnicas Complementarias para el diseño Arquitectónico, se tomen en cuenta algunas recomendaciones para lograr satisfacer con las medidas mínimas de



aprobación, entre ellas se destaca el ancho, la altura, superficie, etc. Además, para cada tipo de estacionamiento y dependiendo del tipo de usuarios que va a atender, se debe de considerar el tipo de rampa, pendiente, transiciones, entre otros, que se requerirá para cubrir totalmente con las necesidades del lugar.

A continuación se enlistan las recomendaciones principales que se pueden tomar en cuenta al planear el diseño de un estacionamiento.

➤ Tipos de rampas

- Rampas rectas entre pisos
- Rampas rectas entre medias plantas a alturas alternas
- Rampas helicoidales
- Estacionamiento en la propia rampa
- Estacionamiento por medios mecánicos

➤ Pendientes máximas de las rampas

- Estacionamiento por autoservicio = 13%
- Estacionamiento por empleados = 15%
- Estacionamiento en la propia rampa = 6%

➤ Anchura mínima de las líneas separadoras centrales

Las rampas con doble sentido de circulación deberán tener una línea separadora central, con una anchura mínima de:

- En rampas rectas = 30 cm
- En rampas curvas = 45 cm

➤ Altura mínima de las guarniciones

Las guarniciones deberán tener una altura mínima de 15 cm.

➤ Anchura mínima de las banquetas laterales

- En recta = 30 cm
- En curvas = 50 cm

➤ Altura libre de los pisos



- Primer piso = 2.65 m
- Demás pisos = 2.10 m, mínimo

➤ Superficie mínima

La superficie mínima recomendable para un edificio de estacionamiento con rampas es de 930 metros cuadrados (31 x 31 metros).

➤ Anchura mínima de las rampas

La anchura mínima libre de las rampas en rectas será de 2.5 m por carril.

➤ Pasillos de circulación

Los pasillos de circulación en curva deberán tener un radio de giro mínimo de 7.50 m al eje y una anchura mínima libre de 3.50 m.

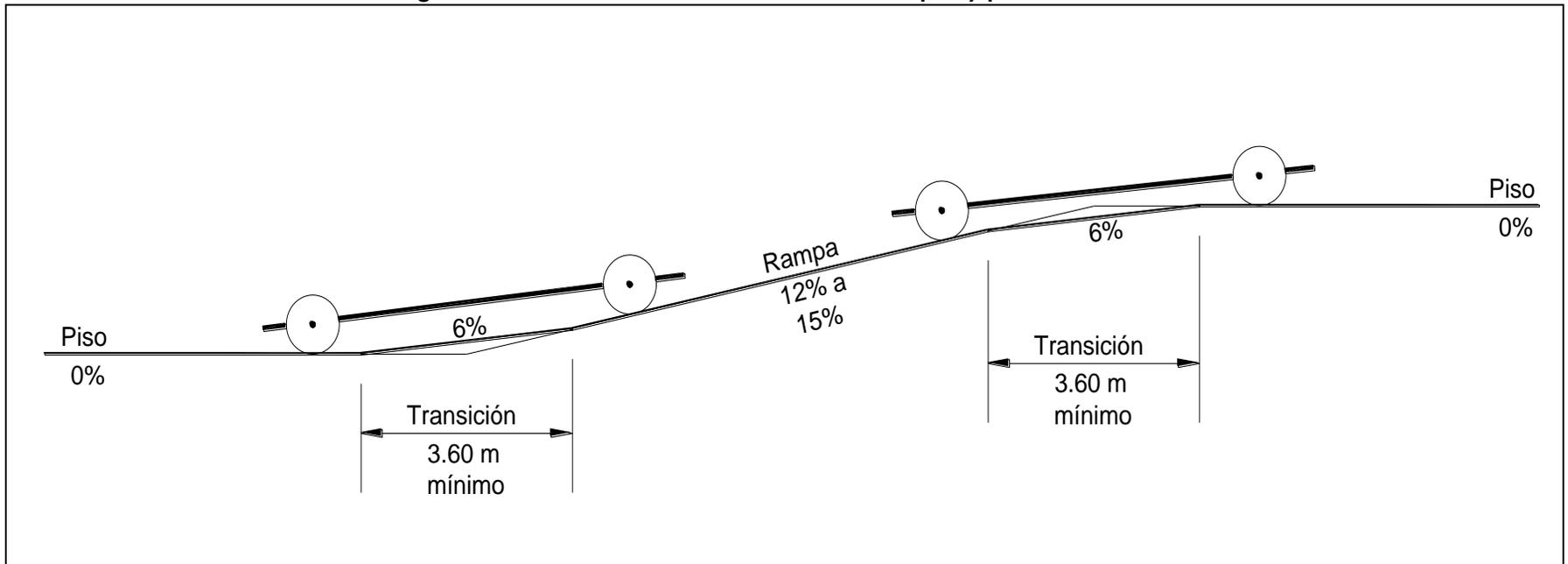
➤ En rampas helicoidales

- Radio de giro mínimo al eje del carril interior = 7.50 m
- Anchura mínima del carril exterior = 3.50 m
- Anchura mínima del carril exterior = 3.20 m
- Sobreelevación máxima = 0.10 m/m

➤ Tramos de transición

En rampas rectas con pendientes mayores del 12% deberán construirse tramos de transición en la entrada y la salida, de acuerdo a la Figura 3-14.

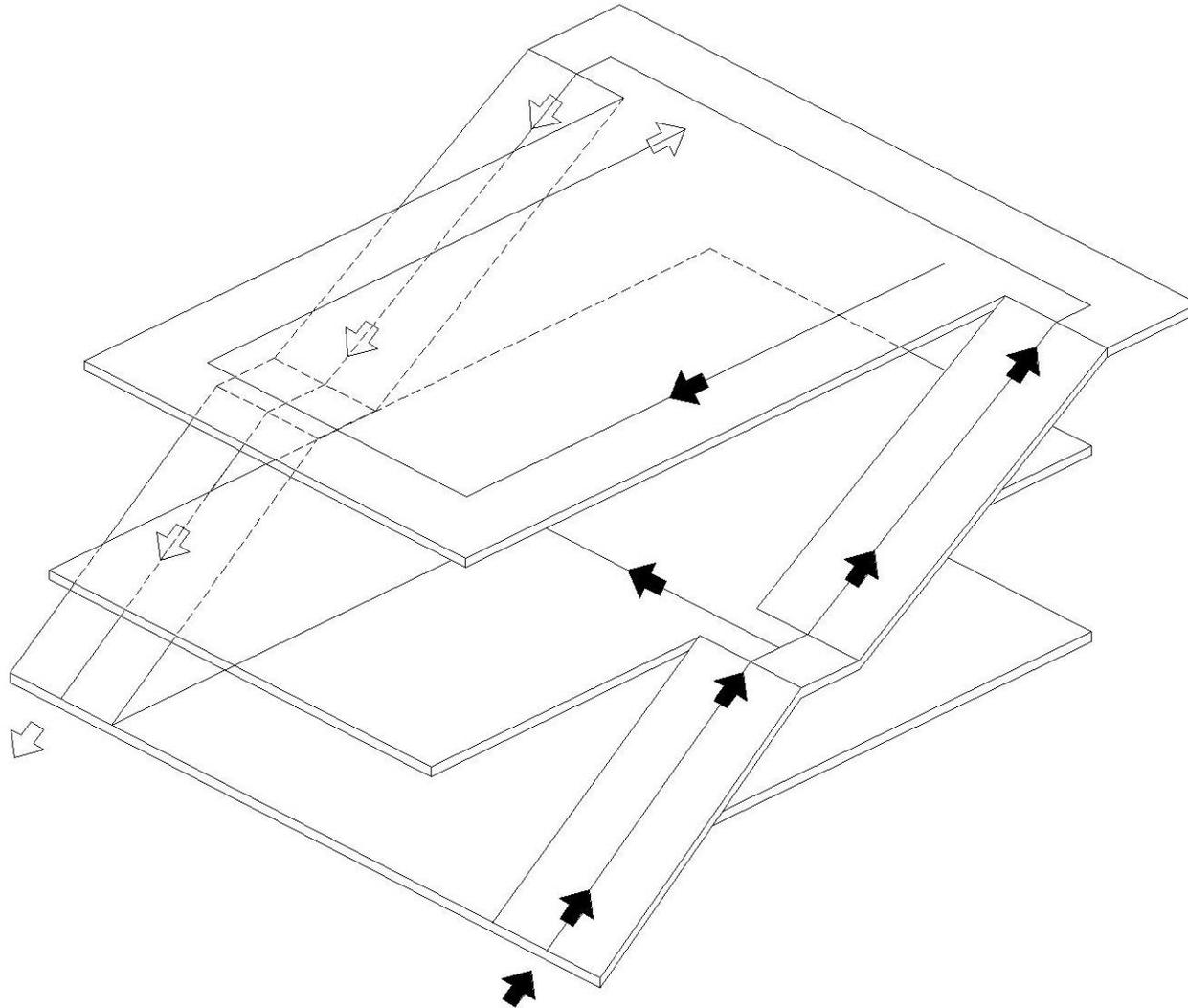
Figura 3-14. Transición recta mínima entre rampas y pisos.



Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

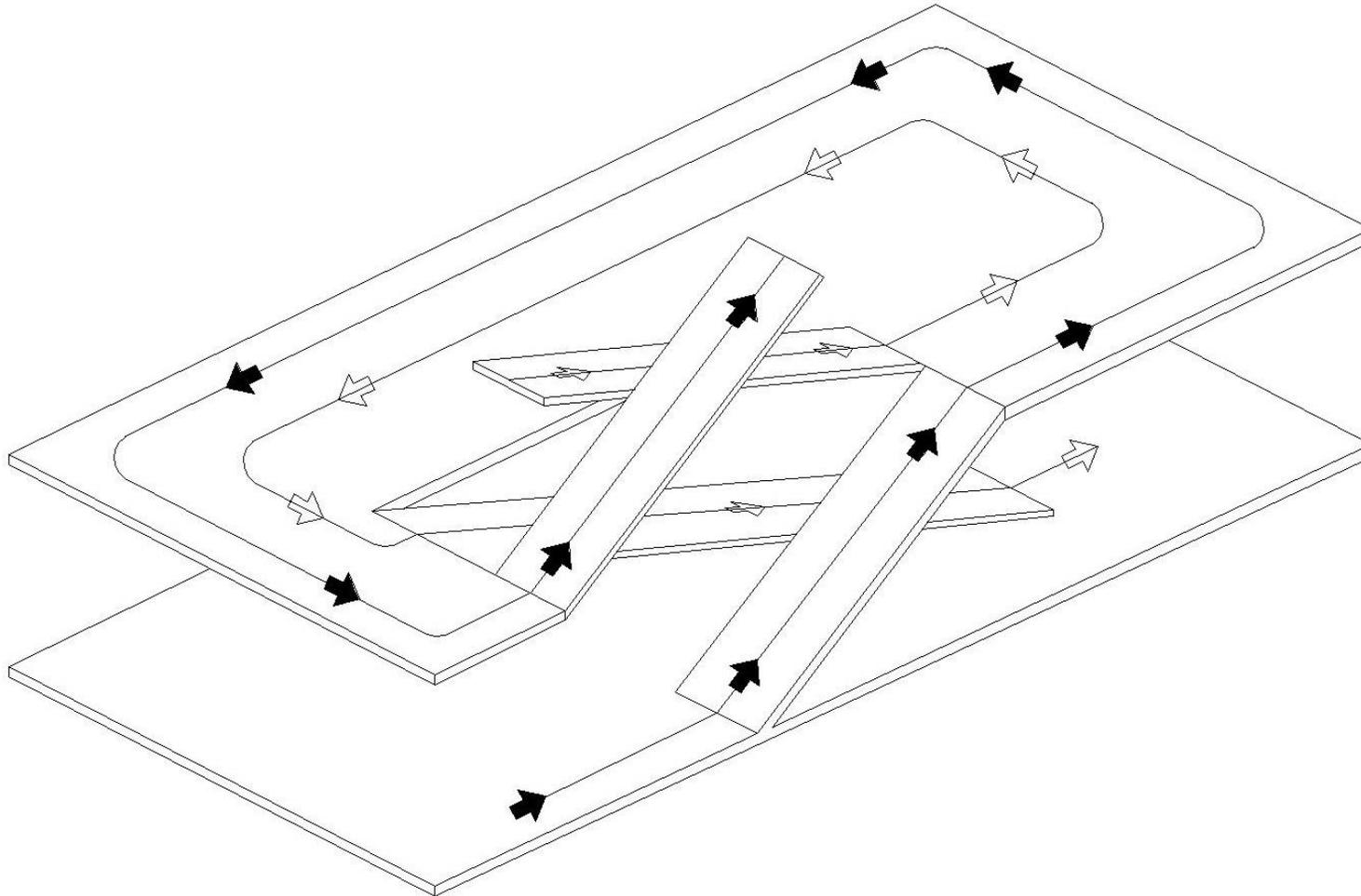
En las siguientes figuras se muestran los distintos tipos de estacionamientos: en rampas rectas entre pisos, en rampas rectas entre medias plantas a alturas alternadas, en las rampas propiamente dichas y en entre pisos con rampas helicoidales.

Figura 3-15. Rampa con descanso intermedio.



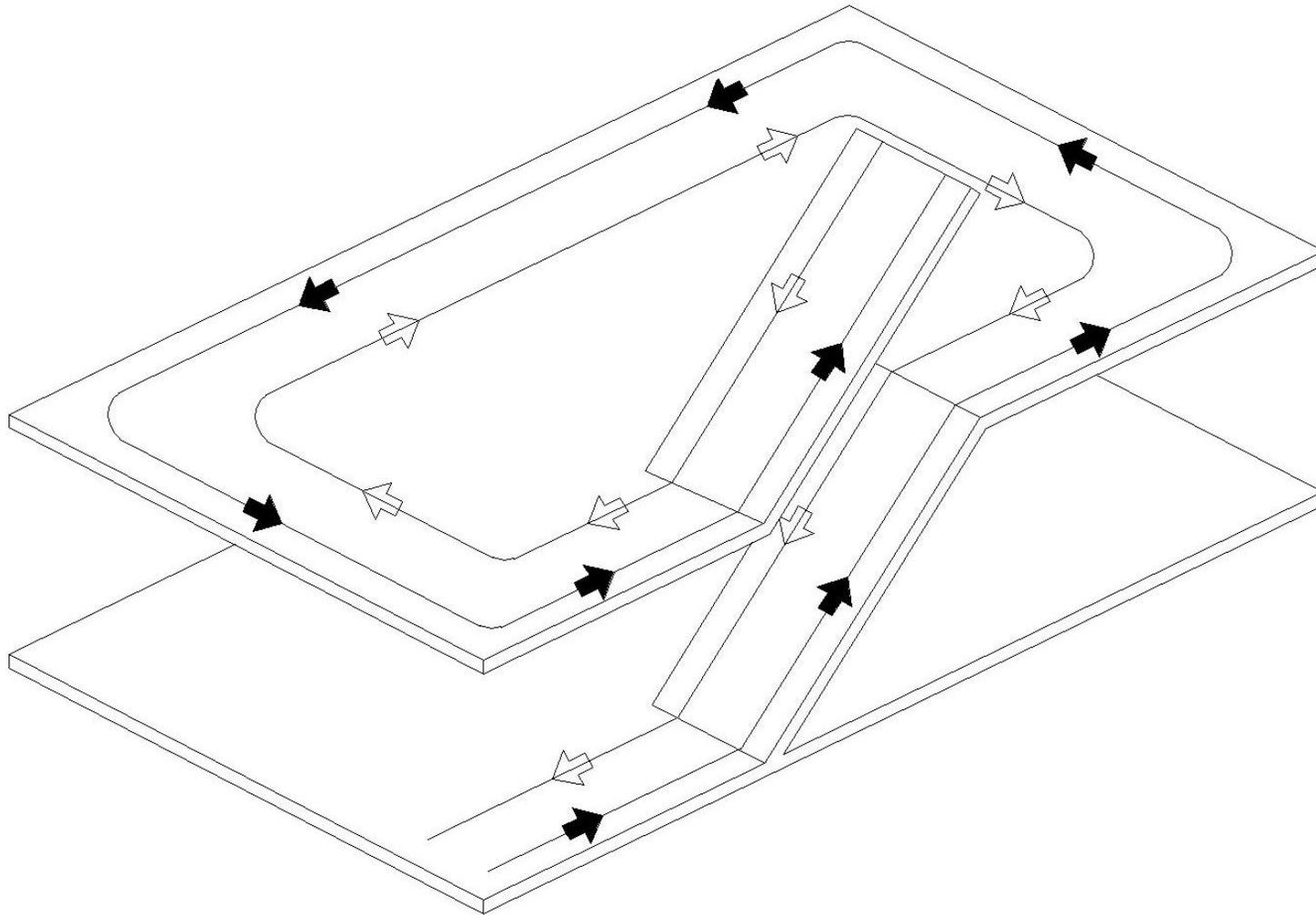
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-16. Rampa encontrada de un sentido.



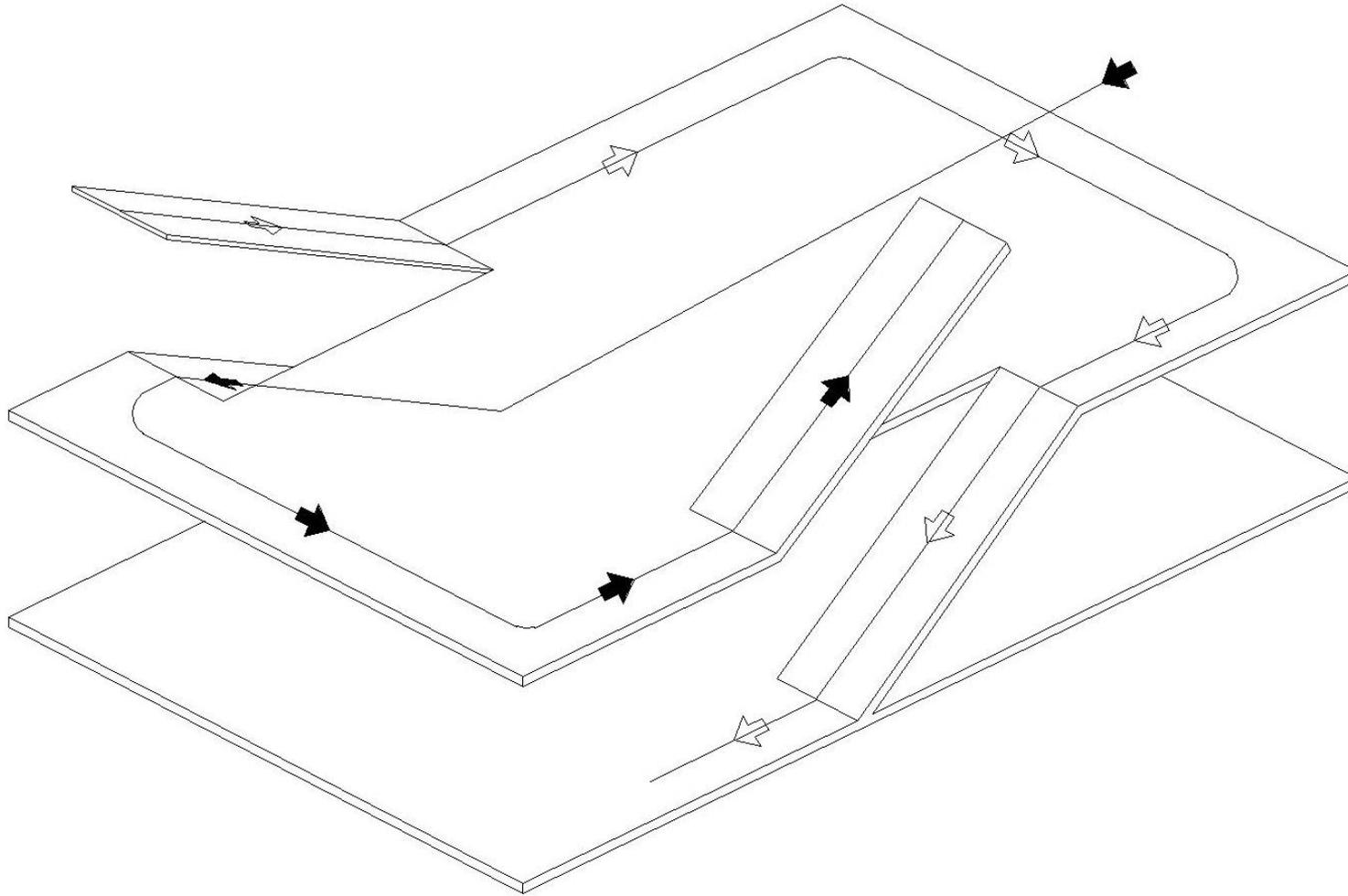
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-17. Rampa de doble sentido.



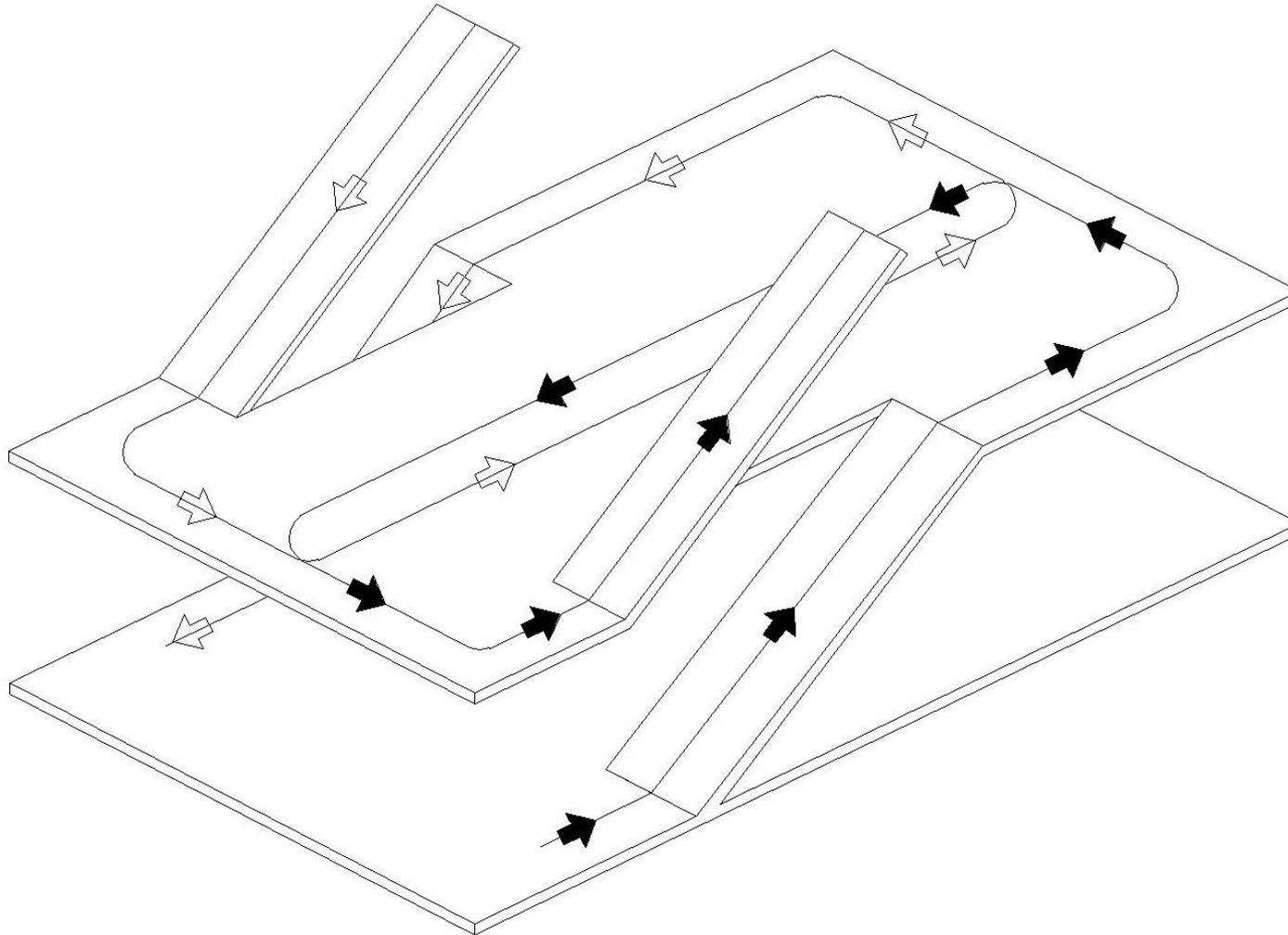
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-18. Rampa sencilla sin cruces.



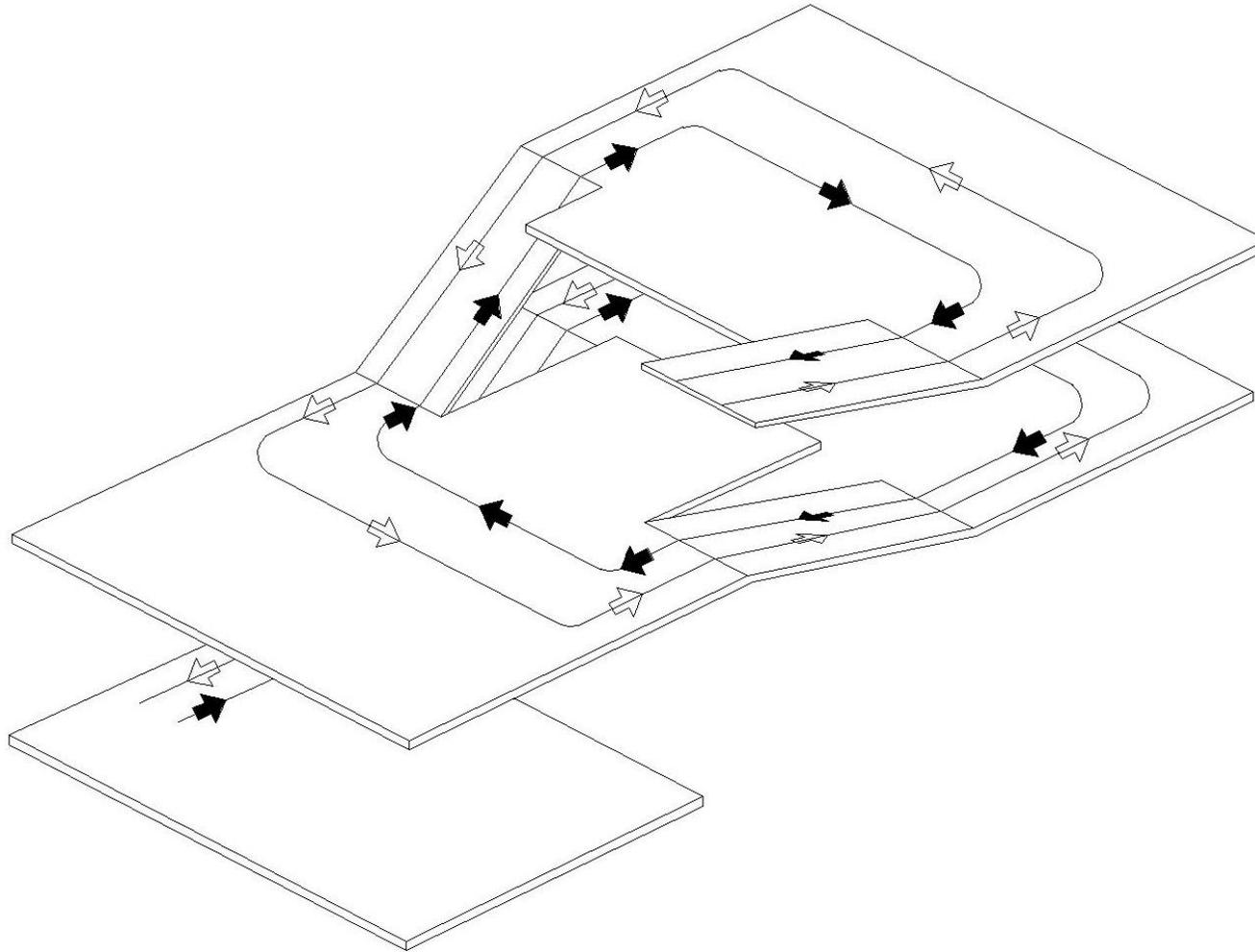
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-19. Rampa sencilla con cruces.



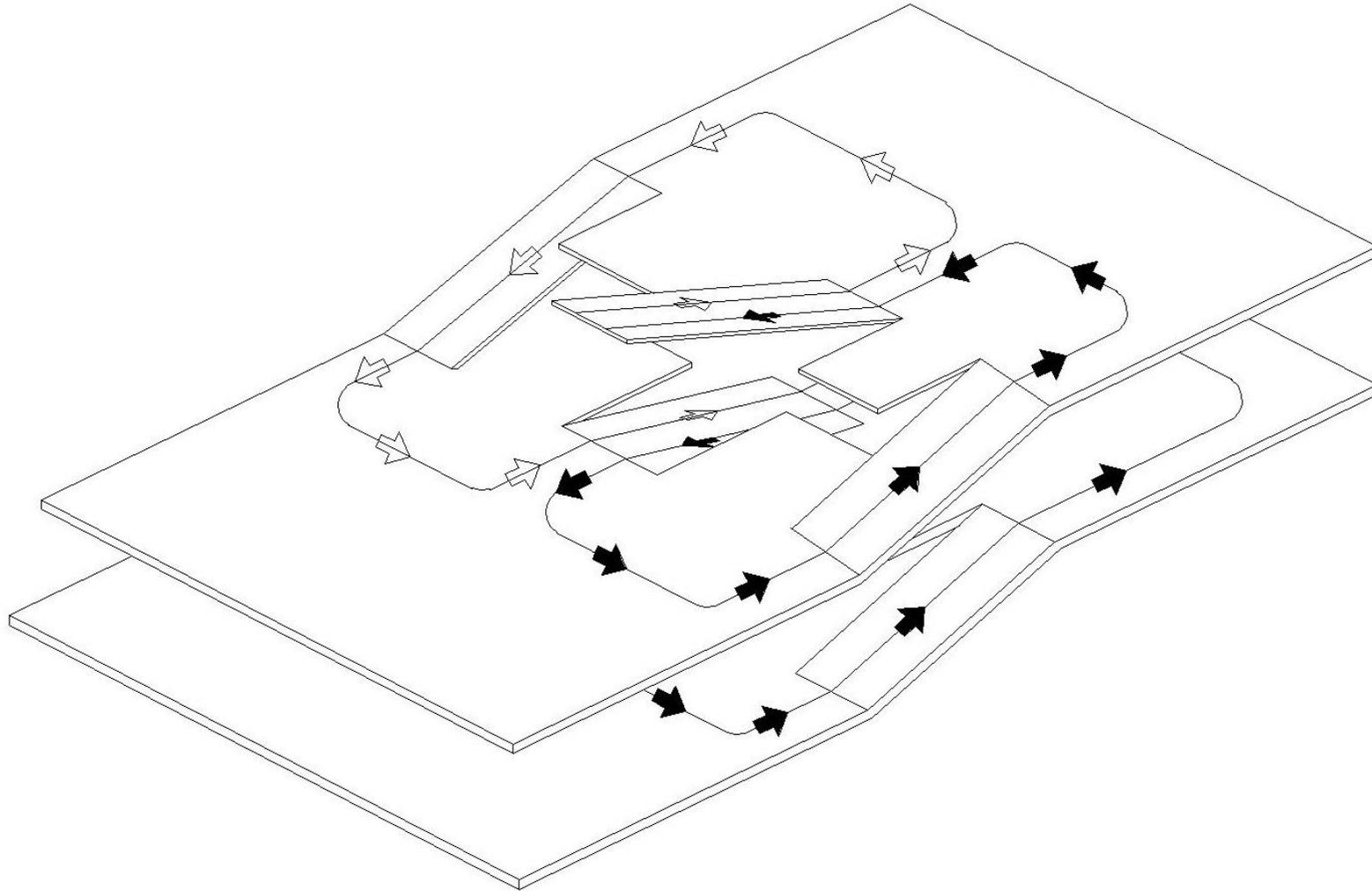
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-20. Rampa entre medias plantas (a).



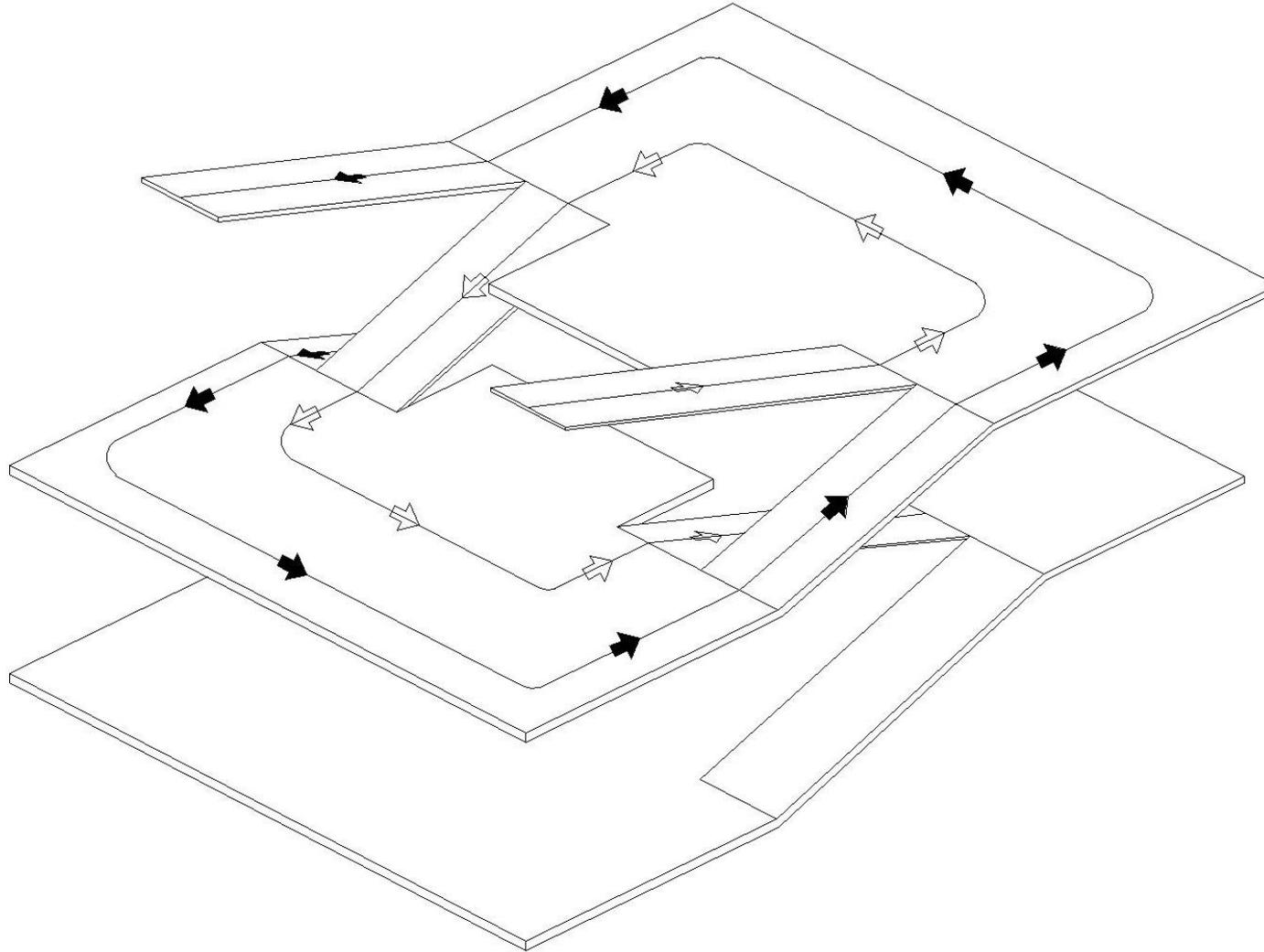
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-21. Rampa entre medias plantas (b).



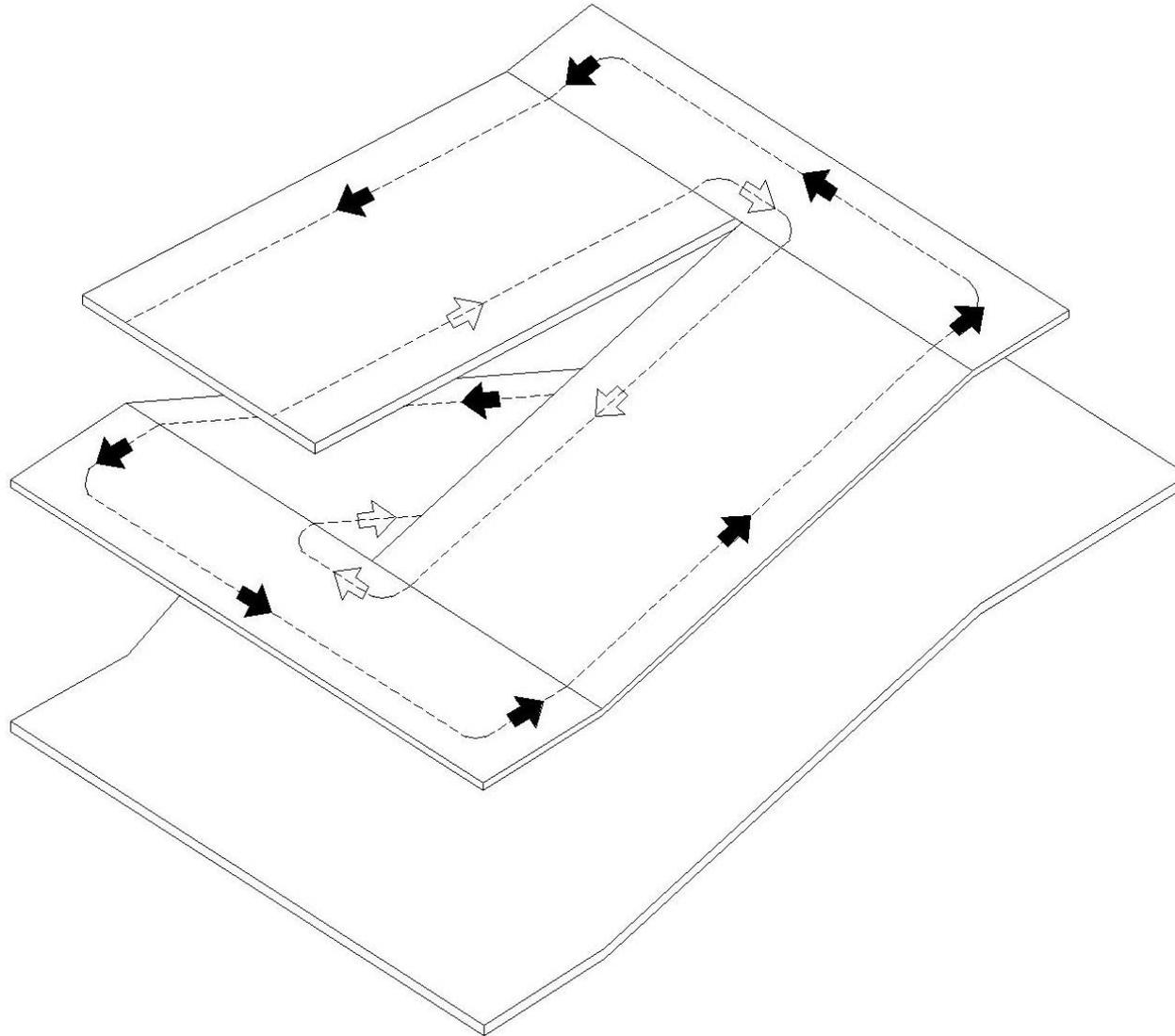
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-22. Rampa entre medias plantas (c).



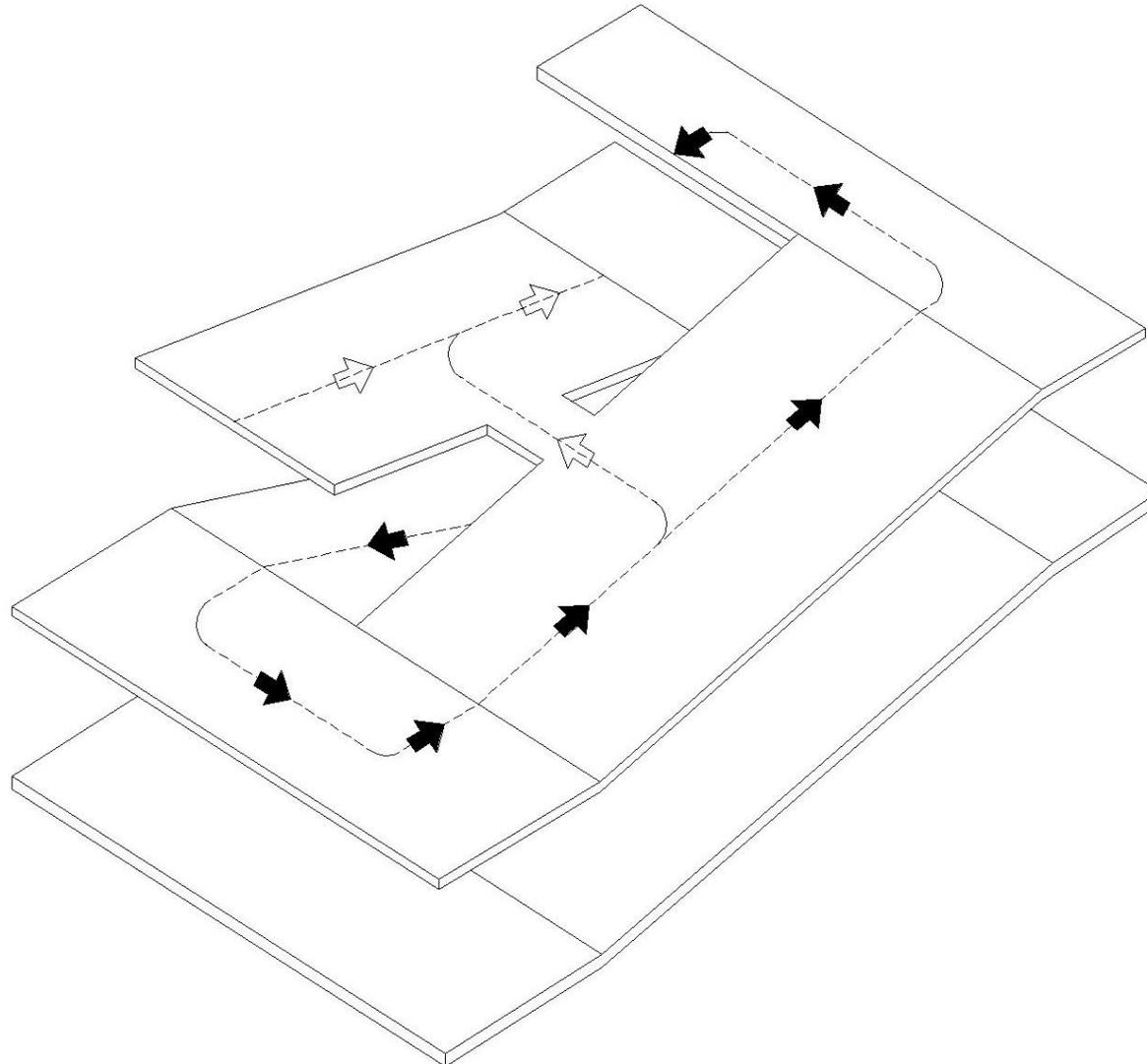
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-23. Estacionamiento con rampas de doble sentido.



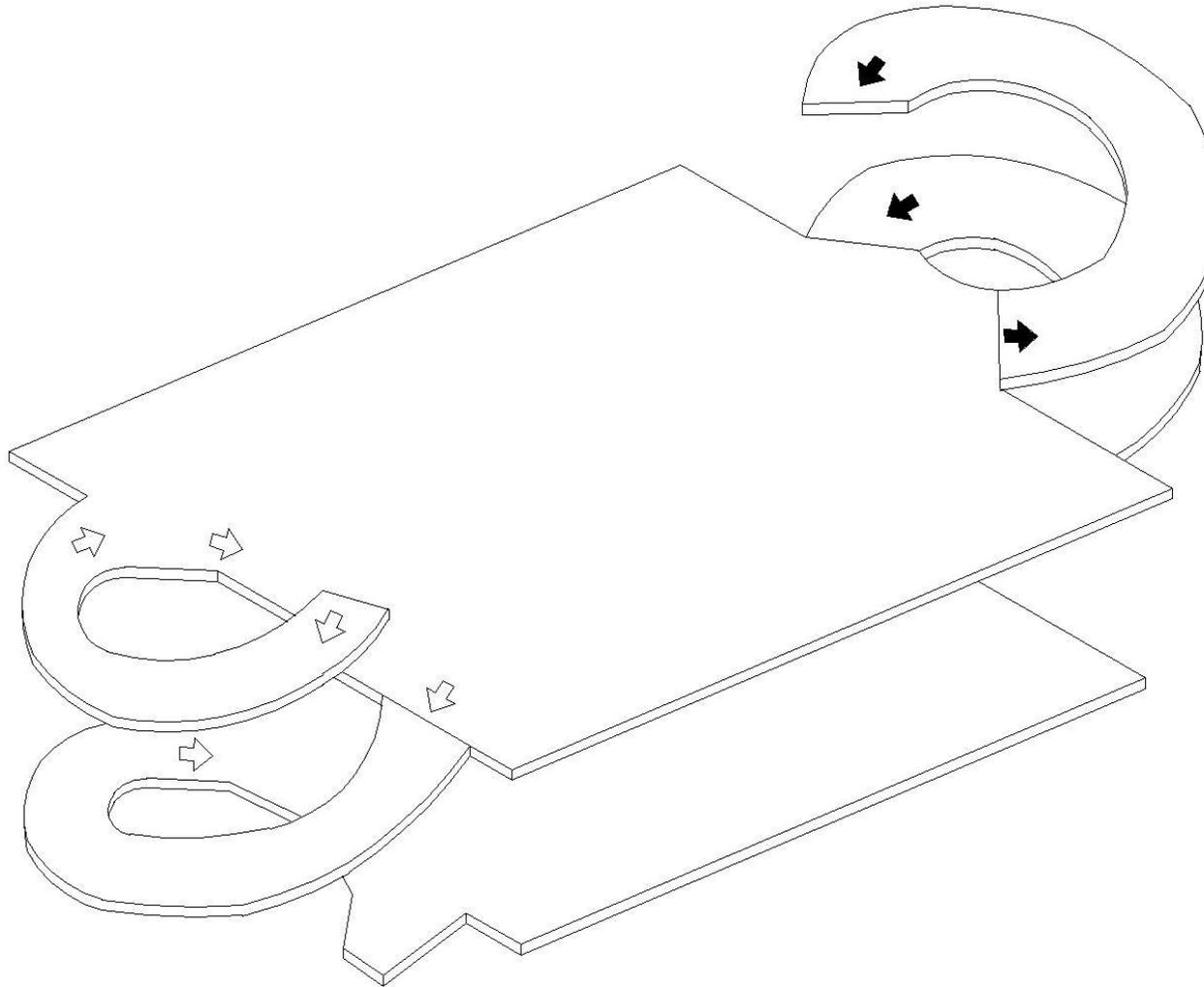
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-24. Estacionamiento con rampas de un sentido.



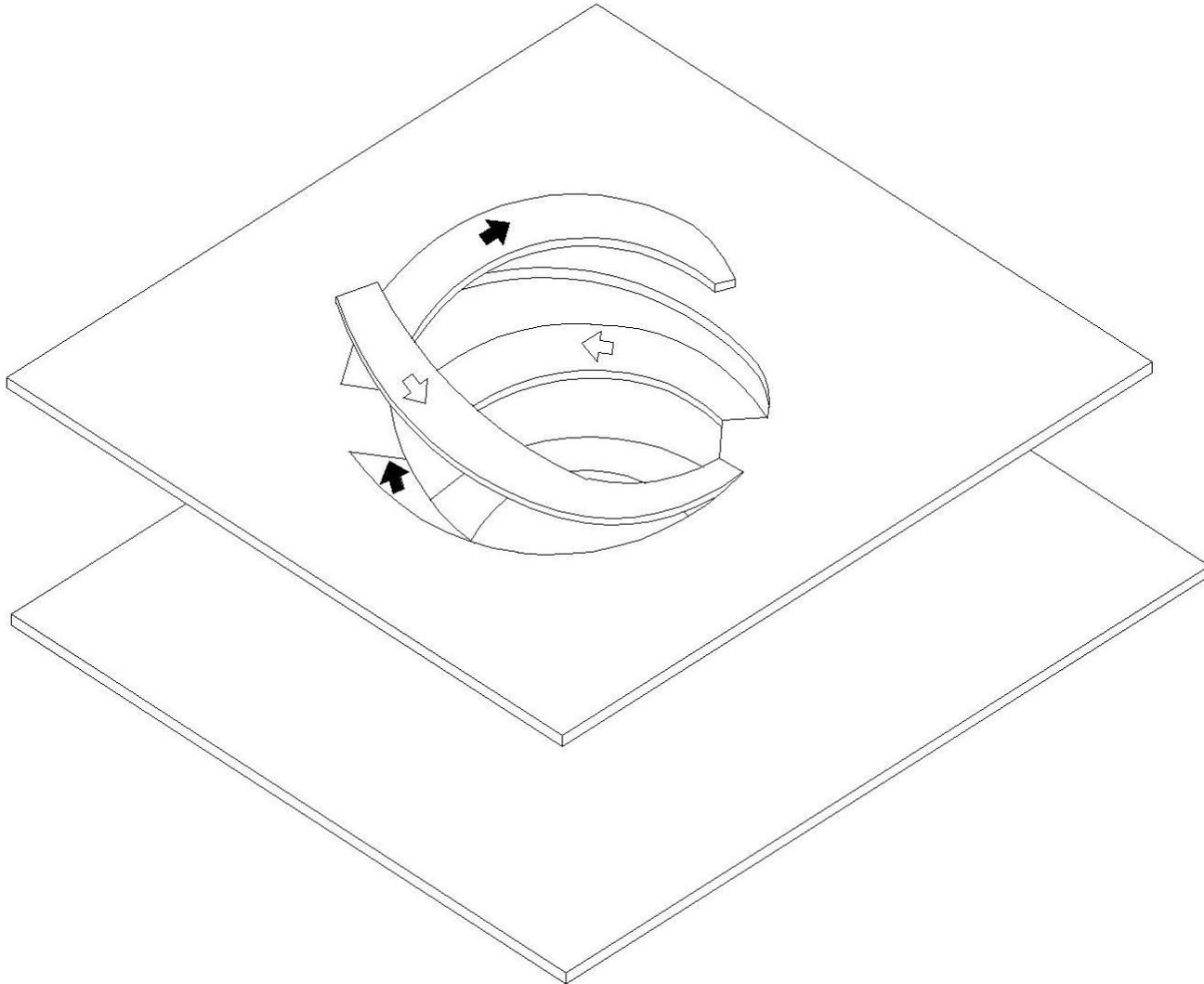
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-25. Estacionamiento con rampas helicoidales separadas.



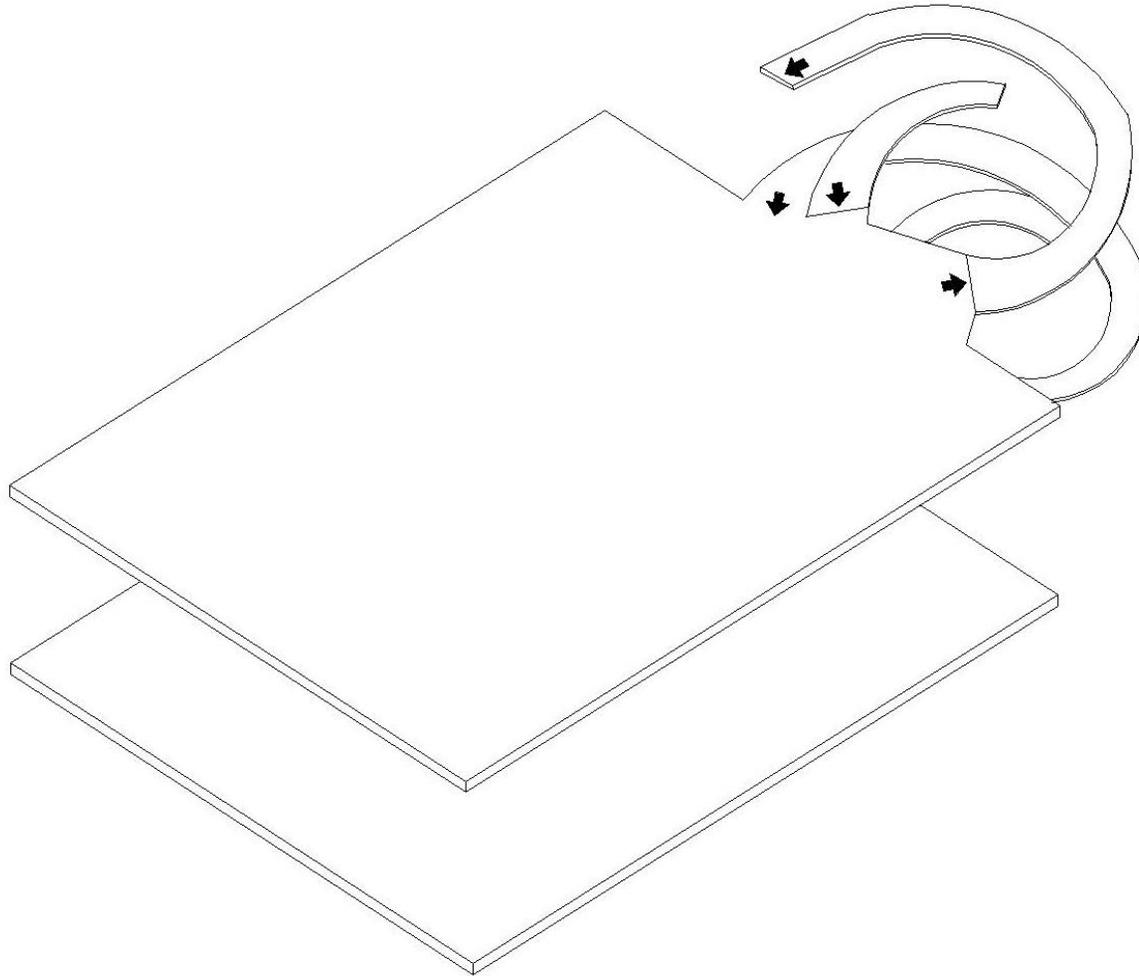
Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-26. Estacionamiento con rampas helicoidales encontradas.



Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor.

Figura 3-27. Estacionamiento con rampas helicoidales paralelas.



Fuente: Elaboración propia en base a Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor



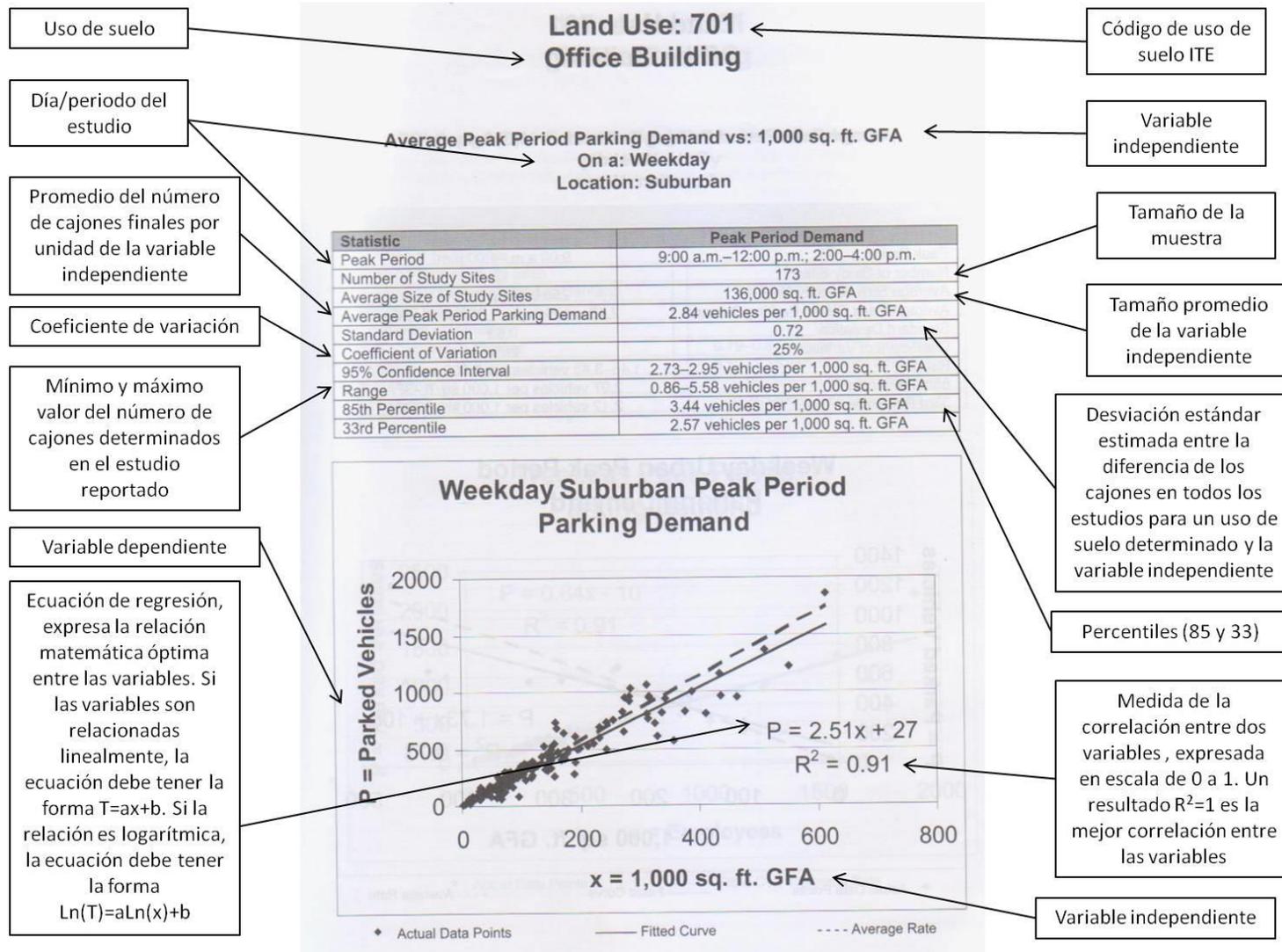
3.3. PARKING GENERATION

La estimación de los cajones de estacionamiento generados se puede realizar utilizando los análisis estadísticos del Institute of Transportation Engineers de Estados Unidos de América (ITE por sus siglas en inglés), el cual es una asociación educativa y de investigación internacional, que aplica tecnología y principios científicos para identificar y explicar los comportamientos de operación de cualquier atractor de viajes de acuerdo con su uso de suelo.

Estas estadísticas se encuentran plasmadas en el manual Parking Generation, 3rd Edition, publicado en el año de 2004 en Washington DC, Estados Unidos de América. Dicho manual es una herramienta educativa para proyectistas, profesionales en transporte y otros que están interesados en estimar el número de cajones para vehículos necesarios por un nuevo desarrollo propuesto en los periodos de máxima demanda. Este manual está basado en más de 3,750 estudios de atractores de viaje elaborados por el Instituto.

La Figura 3-28 muestra un ejemplo de la hoja de cálculo utilizada para la estimación de cajones de un uso específico:

Figura 3-28. Hoja de cálculo para estimación de cajones de estacionamiento.



Fuente: Elaboración propia con base en el Parking Generation Manual.



Es importante aclarar que los estudios del ITE, se han realizado en el ámbito Norteamericano, por lo que están calculados bajo las condiciones y características socioeconómicas de Estados Unidos, el cual registra un grado de motorización más elevado al existente en México, en consecuencia, se debe de realizar un proceso de ajuste de la estimación obtenida del "Parking Generation" con el fin de adecuarlos a las características de México.

Este ajuste se hace relacionando la tasa de motorización de Estados Unidos con la tasa de motorización de México, dicha tasa es diferente para cada Estado y para cada Municipio o Delegación, obteniendo así un factor de regionalización por el cual se afecta la estimación. Entiéndase tasa de motorización aquel factor que mide la cantidad de vehículos motorizados por habitante en un lugar y período dado.

Básicamente, se utilizan las siguientes fórmulas para la determinación de los parámetros antes mencionados:

$$\text{Tasa de motorización} = \frac{\text{Parque Vehicular}}{\text{Población}}$$

$$\text{Factor de regionalización} = \frac{\text{Tasa de Motorización } X}{\text{Tasa de Motorización de E. U.}}$$

Donde X hace referencia a la tasa de motorización del lugar de donde se realizará el estudio.

En la Tabla 3-3 se muestra un ejemplo de la obtención del factor de regionalización, utilizando datos del Distrito Federal, delegación Coyoacán.



Tabla 3-3. Factores de regionalización (2010).

Parámetro	Estados Unidos	Coyoacán (México, D.F.)
Población	308,745,538	620,416
Parque vehicular	300,000,000	332,312
Tasa de motorización	0.972	0.536
Factor de regionalización	----	0.551

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de comprensión, en el ejemplo siguiente se muestra como se utiliza el manual Parking Generation, considerando el uso de suelo “centro comercial”, para lo cual, primero se busca el uso de suelo o el más similar en el manual, como se muestra en la Figura 3-29 .

Después, para determinar cuántos cajones se requieren, se necesita el área rentable del uso de suelo en cuestión, dependiendo del día y periodo del que se trate, se aplica la ecuación de regresión contenida en la hoja de cálculo (Figura 3-29), obteniendo los resultados siguientes:

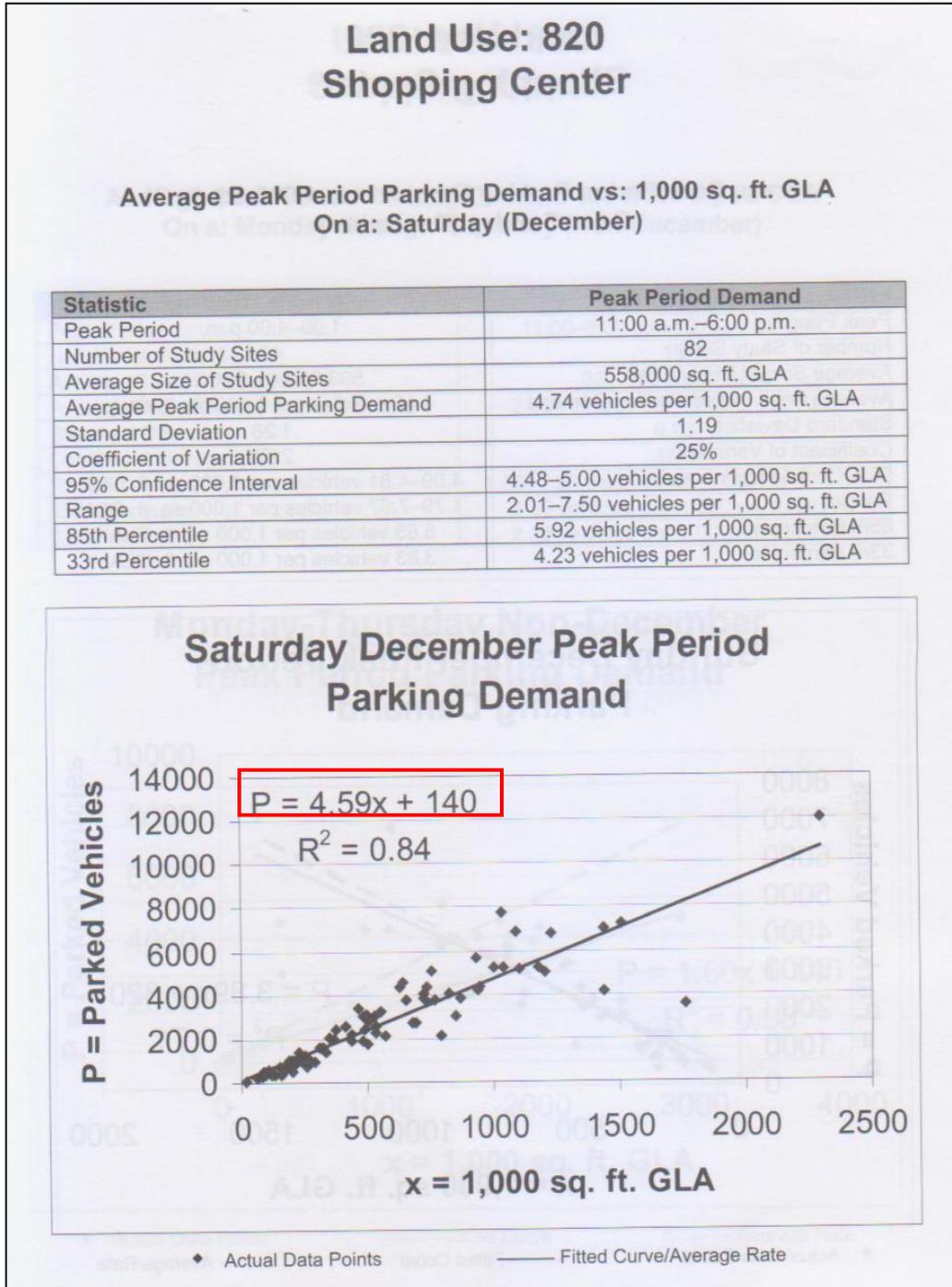
Tabla 3-4. Determinación de número de cajones con Parking Generation.

Uso de suelo	Área (m²)	Área (ft²)	Día/Periodo	No. Cajones	No. Cajones regionalizado
CENTRO COMERCIAL	11,034	118,772	LUNES-JUEVES DICIEMBRE	550	304
	11,034	118,772	VIERNES DICIEMBRE	573	316
	11,034	118,772	SABADO DICIEMBRE	686	378
	11,034	118,772	DOMINGO DICIEMBRE	783	432
	11,034	118,772	LUNES-JUEVES	331	183
	11,034	118,772	VIERNES	296	164
	11,034	118,772	SABADO	307	170
	11,034	118,772	DOMINGO	268	148

Fuente: Elaboración propia con base en el Parking Generation Manual.

Como se observa en el ejemplo, se tiene el área rentable en metros cuadrados, para efectos del uso del método del Parking Generation, se realiza la conversión de metros cuadrados (m²) a pies cuadrados (ft²), ya determinado el número de cajones requeridos, se debe de aplicar el factor de regionalización de la zona del proyecto para así obtener el número de cajones “reales” (última columna), dicho dato es el que hay que considerar para el diseño del estacionamiento en cuestión.

Figura 3-29. Hoja de cálculo utilizada para la determinación de número de cajones de un centro comercial en un sábado de diciembre.



Fuente: Parking Generation Manual.



4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

4.1. ESTUDIOS DE CAMPO

Para poder realizar el análisis de los componentes para el proyecto de estacionamientos, se requiere hacer levantamiento de información en campo, esto quiere decir, recabar información de forma física en las vialidades aledañas y lugares que requieren el estudio, ya que dicha información permite caracterizar la oferta vial y la demanda vehicular del lugar de interés.

La descripción y características de los estudio realizados se presenta a continuación, es importante resaltar que los estudios de campo realizados cumplen con las recomendaciones establecidas en el "Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte, Tomo II, Manuales para estudios de tránsito y transporte, Manual para estudios de estacionamiento".

4.1.1. Rotación y permanencia en vía

El estudio de rotación y permanencia arroja información sobre la cantidad de usuarios que ocupan un lugar de estacionamiento y el tiempo de permanencia de cada uno.

Este estudio se realiza mediante el registro de placas en forma manual, por observadores a pie, por lo que generalmente se utilizan técnicas de muestreo para reducir los costos, seleccionando las calles que sean representativas del área de estudio y del tipo de estacionamiento.

Para capturar la información se emplea un formato de campo en el cual se asigna una línea para cada vehículo estacionado. El observador debe realizar



recorridos por cada uno de los sitios de estacionamiento asignados, en períodos de 15 ó 30 minutos, dependiendo de la rotación.

En los diferentes recorridos se debe registrar la placa de todos los vehículos privados y no privados que se encuentren estacionados, siempre identificando el tipo de vehículo y condición del estacionamiento (fila sencilla o doble fila).

4.1.2. Aforo de placas en estacionamiento fuera de vía

Éste estudio arroja información sobre la cantidad de usuarios que ocupan un lugar de estacionamiento ofrecido en fuera de vía. El registro de las placas permite también identificar el tiempo de permanencia dentro de estacionamiento.

Este estudio se realiza mediante el registro de placas en forma manual, por observadores localizados en la entradas y salidas de cada estacionamiento en fuera de vía. Para capturar la información se emplea un formato de campo (Figura 4-1) en el cual se asigna una línea para cada vehículo observado identificando la hora en el que fue observado y si entra o sale del estacionamiento.



INGENIERÍA DE TRÁNSITO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS



Figura 4-1. Ejemplo de toma de información de aforo de placas.

Estacionamiento <u>E-4</u>				Movimiento <u>1-4</u>				Tarifa				Fecha <u>8/12/12</u>							
Observador				Supervisor				Hoja <u>5 de 11</u>											
Placa	T.Veh.	HORA	Entra	Salto	Placa	T.Veh.	HORA	Entra	Salto	Placa	T.Veh.	HORA	Entra	Salto	Placa	T.Veh.	HORA	Entra	Salto
LYE5278	A	1234	✓		MDE8316	A	1245	✓	BS	MDE5549	A	1253	✓		MDT2000	A	13:04	✓	
LTY2765	A	1234	✓		435WHZ	A	1245	✓		779LZE	A	1254	✓		MBS9422	A	13:04	✓	
MXK4324	A	1235	✓		393NMH	A	1245	✓		MBS7531	A	1254	✓		MDH9793	A	13:04	✓	
LZL1614	A	1235	✓		881SHM	A	1246	✓		8515JER	A	1254	✓		MKX1920	A	13:05	✓	
MAL2575	A	1235	✓		7655JER	A	1246	✓		MAA1436	A	1255	✓		MLU8634	A	13:05	✓	
MAB2270	A	1235	✓		MHZ1464	A	1246	✓		MJR6983	A	1255	✓		MFF1472	A	13:05	✓	
MXK3594	A	1236	✓		MJZ8234	A	1246	✓		MOR3014	A	1255	✓		MKE2634	A	13:06	✓	
MAR8011	A	1236	✓		MFE3788	A	1247	✓		MUN6673	A	1256	✓		MU5118	A	13:06	✓	
MFP3403	A	1236	✓		LWES323	A	1247	✓		MHY9492	A	1256	✓		MDJ2238	A	13:06	✓	
MIX9249	A	1237	✓		MJT7567	A	1247	✓		MBA2070	A	1256	✓		MMA2210	A	13:07	✓	
240VTN	A	1237	✓		PXH3305	A	1247	✓		LZP8951	A	1257	✓		272UGV	A	13:07	✓	
847XBB	A	1237	✓		MU2532	A	1247	✓		LZX1101	A	1257	✓		MAA9942	A	13:07	✓	
MZ1517	A	1238	✓		MKA6572	A	1248	✓		329XRS	A	1257	✓		Lyy9299	A	13:08	✓	
MJ22080	A	1238	✓		185M9Y	A	1248	✓		692UGM	A	1258	✓		4316JER	A	13:08	✓	
7164JER	A	1238	✓		MRI5235	A	1248	✓		905UYF	A	1258	✓		LZS3688	A	13:08	✓	
M9L7974	A	1239	✓		MJB9137	A	1249	✓		LZD1793	A	1259	✓		474-TTP	A	13:09	✓	
LX27677	A	1239	✓		820SGX	A	1249	✓		458YLA	A	1259	✓		MFH6382	A	13:09	✓	
Ky96440	CU	1240	✓		MHK7634	A	1249	✓		MLD8019	A	13:00	✓		425XER	A	13:09	✓	
451WXM	A	1240	✓		LIX7749	A	1250	✓		MED8384	A	13:00	✓		MFP2067	A	13:09	✓	
MU1058	A	1241	✓		MDB8714	A	1250	✓		LTM1419	A	13:00	✓		Lys3670	A	13:10	✓	
MFY4238	A	1241	✓		684WTB	A	1250	✓		MEES922	A	13:01	✓		MEZ3776	A	13:10	✓	
911VBC	A	1241	✓		MCW6323	A	1251	✓		MEU9608	A	13:01	✓		696XYA	A	13:11	✓	
MKE2319	A	1242	✓		SVGL7	M	1251	✓		MDF7301	A	13:01	✓		MBD2488	A	13:11	✓	
861KLM	A	1242	✓		601JES	A	1251	✓		9086JER	A	13:02	✓		MHU1143	A	13:11	✓	
MCD4612	A	1242	✓		MKE6837	A	1251	✓		MKES389	A	13:02	✓		MCH2395	A	13:11	✓	
MJR9439	A	1243	✓		MCC9304	A	1252	✓		MLT9022	A	13:02	✓		MFA1582	A	13:11	✓	
6080FA	M	1243	✓		509SFL	A	1252	✓		679WJS	A	13:03	✓		MKA3241	A	13:12	✓	
MCP6076	A	1243	✓		MCD9074	A	1252	✓		555XLZ	A	13:03	✓		MJK3818	A	13:12	✓	
LIX3282	A	1244	✓		495TDG	A	1253	✓		LXF9933	A	13:03	✓		MHW1026	A	13:12	✓	
992SDD	A	1244	✓		MXL4152	A	1253	✓		MKE9055	A	13:03	✓		3884JES	A	13:12	✓	

A: Automóvil BE: Autobus BT: Autobus Turístico Cu: Camión Unitario (2, 3 y 4 ejes) Ca1: Camión Articulado 1 (5 y 6 ejes)
 Ca2: Camión Articulado 2 (7 a más ejes) Motocicleta: M Discapacitados: D

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

4.1.3. Aforos vehiculares

Los aforos vehiculares corresponden a aforos manuales en los cuales se registra en cada cuarto de hora la cantidad de vehículos que circulan por las vialidades de la zona de estudio en cada una de las estaciones de conteo.

Los vehículos que regularmente se registran se clasifican en 5 tipos:

- **Automóvil:** Vehículos para transporte privado, incluye vehículos compactos, pick up, camionetas.



- **Taxis:** Vehículos para transporte público individual.



- **Transporte público urbano:** Vehículos de transporte público local, incluye van, combi, autobús.



- **Autobús foráneo:** Vehículos de transporte público foráneo o turísticos.



- **Camiones de carga:** incluye camiones de 2 a 7 o más ejes.



4.1.4. Inventarios de cupos de estacionamiento

Este estudio permite determinar la cantidad de sitios de estacionamiento que existen en la zona, sobre la vía y fuera de ésta. Adicionalmente, permite identificar si el estacionamiento es en batería o cordón.

Para definir la oferta de estacionamiento en vía, se debe medir la longitud de los sitios de estacionamiento, descontando las entradas, particulares, hidrantes y prohibición de estacionamientos. Para estimar el número de puestos de estacionamiento adyacentes a cada banqueta, se emplean los siguientes valores:

- Estacionamiento en cordón: **7.0 m.**
- Estacionamiento en diagonal (batería): **4.0 m.**
- Estacionamiento en dirección perpendicular (batería): **3.0 m**

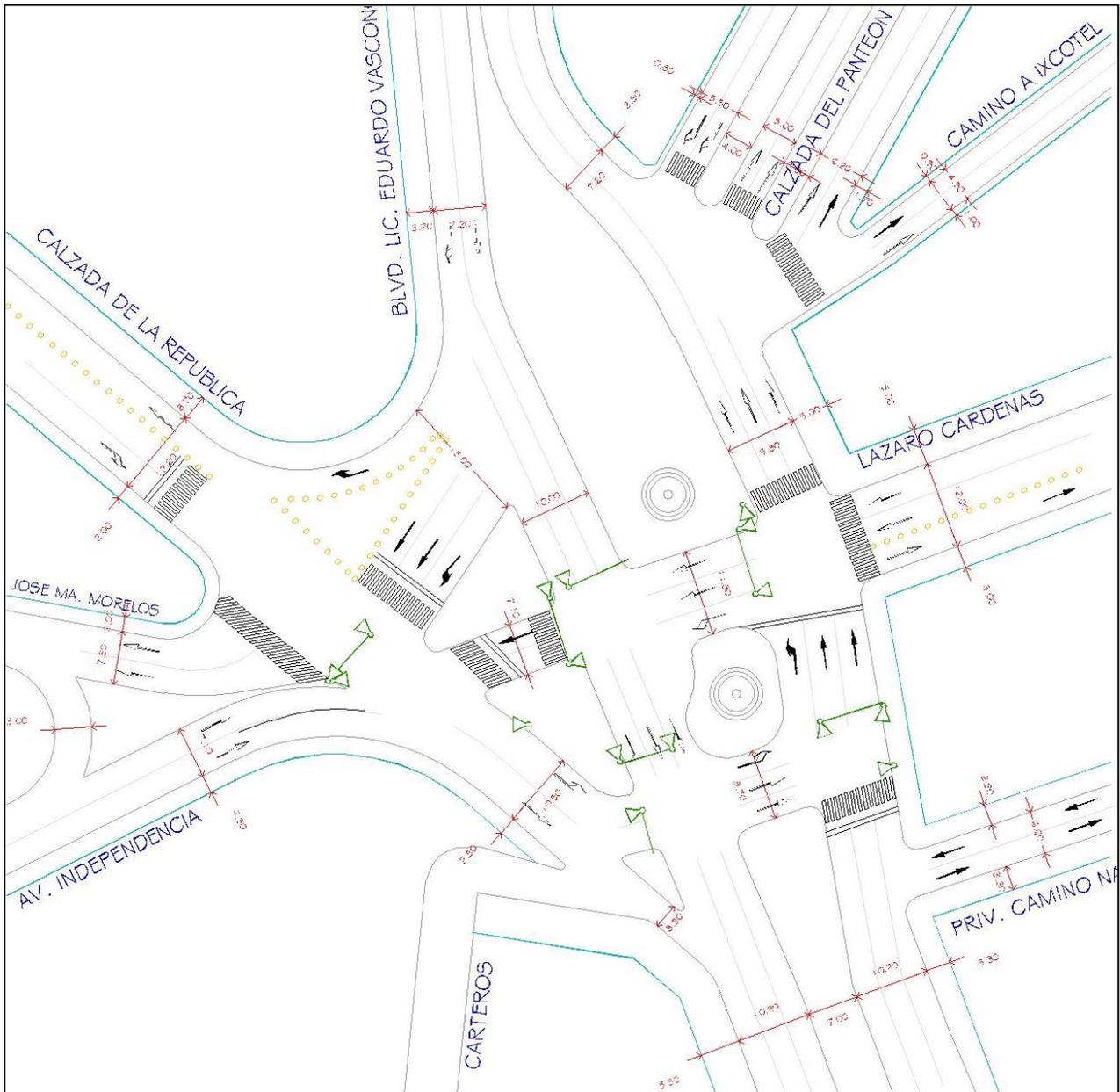


La capacidad de los estacionamientos fuera de la vía, es variable y depende de la operación del estacionamiento. El número de espacios se puede obtener directamente de la administración del estacionamiento o contando directamente el número de espacios disponibles.

4.1.5. Inventario de características físicas de las vialidades

Corresponde al levantamiento de información relacionada con las características físicas y operativas de las vialidades presentes en el área de estudio. Básicamente se consideran anchos de calzada, sentidos de circulación y número de carriles (Figura 4-2).

Figura 4-2. Inventario de características físicas.



Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

4.1.6. Inventario tarifario de los estacionamientos fuera de vía

Corresponde al levantamiento de la información relacionada con el sistema tarifario actual de los estacionamientos fuera de vía que operan dentro del



área de estudio, obteniéndose información como la que se muestra en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Inventario tarifario de estacionamientos fuera de vía.

Estacionamiento analizado	Capacidad (vehículos)	Tarifa (pesos)	Tipo Tarifa	Otros
E05	60	50	Hasta 12 HRS	----
E06	58	24	Hora	1500 pensión
E07	400	50	8 HRS	1800 pensión
E08	34	24	Hora	6 fracción, 80 12 HRS
E09	200	25	Hora	6 fracción, 1300 pensión
E10	60	30	Hora	15 fracción
E11	160	34	Hora	8 fracción
E12	70	20	Hora	5 fracción, 1200 pensión
E13	32	30	Hora	8 fracción
E14	25	20	Hora	5 fracción
E16	30	30	Hora	15 fracción
E19	65	20	Hora	50x8HRS, 1500 pensión
E21	20	24	Hora	8 fracción
E22	80	20	Hora	1500 pensión
E23	40	25	Hora	----
E24	30	16	Hora	8 fracción
E26	300	25	Hora	8 fracción
E27	30	40	Hora	----
E28	150	20	Hora	1800 pensión
E32	30	26	Hora	4 fracción

Fuente: Elaboración propia en base de información obtenida en campo.



5. ANÁLISIS DE AFOROS VEHICULARES

Una vez depurados y capturados los aforos vehiculares y los inventarios viales tomados en campo, se debe realizar el procesamiento de la información con el fin de obtener índices y parámetros que permiten caracterizar el comportamiento del volumen vehicular medido y su interacción con la infraestructura vial ofrecida.

5.1. ANÁLISIS DE AFOROS VEHICULARES

Del análisis de los aforos vehiculares se obtiene parámetros como:

- **Hora de máxima demanda:** Corresponde al periodo de 60 minutos consecutivos en el cual se registró la mayor cantidad de vehículos circulando sobre la vialidad en análisis.
- **Factor de hora pico:** Representa la homogeneidad o variación entre los cuartos de hora que conforman la hora de máxima demanda. Este factor es expresados por valores decimales, su mayor valor es la unidad, lo cual indica la existencia de una distribución uniforme de flujos durante toda la hora, valores bastante menores que la unidad indican concentraciones de flujos en periodos cortos dentro de la hora
- **Composición vehicular:** Corresponde a la distribución del total aforado en cada estación, entre los diferentes tipos de vehículos considerados.

Aforos de flujo.

Para una estación de aforo de flujo se debe de analizar la información de la totalidad de vehículos que circulan a través de los dos cuerpos de la vialidad (regularmente, un aforo de flujo se toma en la misma vialidad que un aforo automático, vialidades únicamente de dos cuerpos, uno por sentido), se



determina la HMD y cuantos vehículos circularon durante ese periodo y el FHP para indicar las variaciones en el volumen durante la hora pico.

Partiendo del total de los registros, se identifica la clasificación de los vehículos, generalmente en forma porcentual y gráfica. Adicionalmente, se puede realizar un histograma del volumen vehicular de las 16 horas de estudio para señalar con mayor facilidad los periodos en que el volumen vehicular se dispara o se disipa.

A continuación, se muestra un ejemplo del análisis de un aforo de flujo:

Este aforo se realizó el día martes 09 de abril de 2013, obteniéndose los flujos por sentido con clasificación vehicular durante 12 horas (07:00 – 19:00 horas), en la Tabla 5-1 se muestra un ejemplo de cómo se registran los resultados de ambos sentidos de la vialidad en una estación de estudio de aforos de flujo.



INGENIERÍA DE TRÁNSITO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS



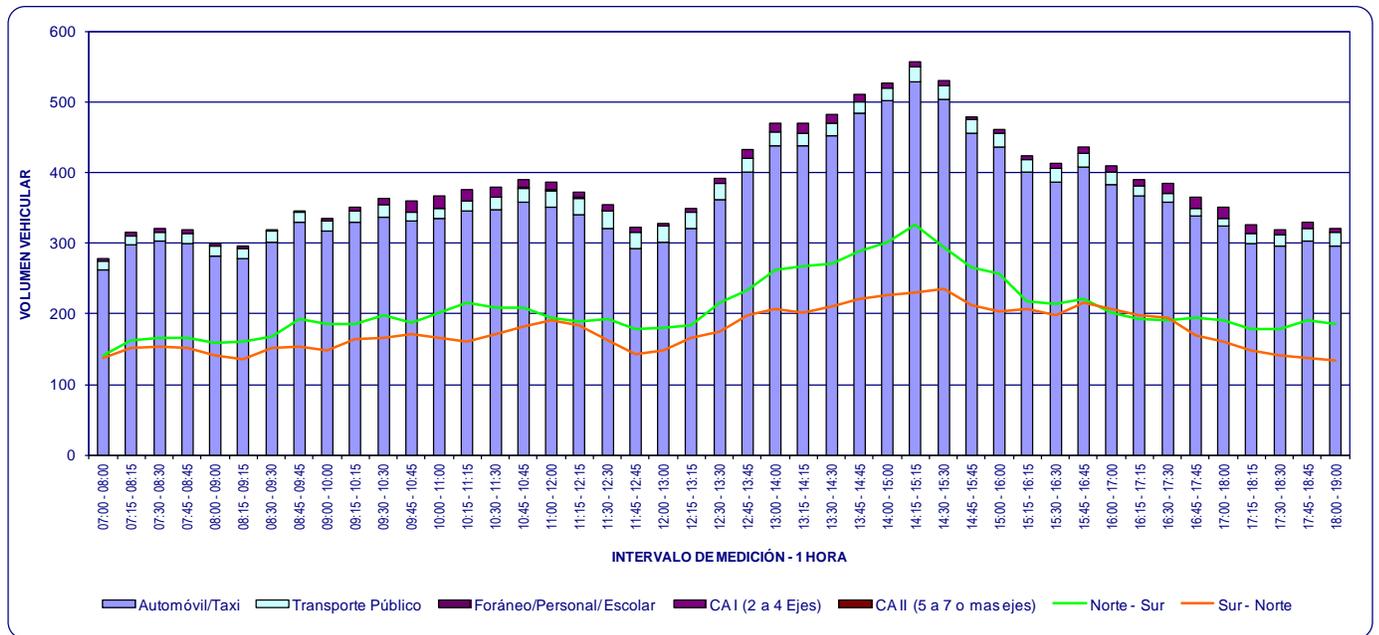
Tabla 5-1. Ejemplo de registro de información de una estación de aforos de flujo.

HORA	Automóvil/Taxi	Autobús		CAMIONES DE CARGA		TOTAL MIXTOS
		Transporte Público	Foráneo/Personal/ Escolar	CA I (2 a 4 Ejes)	CA II (5 a 7 o mas ejes)	
07:00 - 08:00	262	13	0	4	0	278
07:15 - 08:15	298	12	0	5	0	315
07:30 - 08:30	303	13	0	4	0	320
07:45 - 08:45	299	15	0	5	0	319
08:00 - 09:00	281	15	0	3	0	299
08:15 - 09:15	277	16	0	3	0	296
08:30 - 09:30	302	15	0	2	0	319
08:45 - 09:45	330	15	0	1	0	346
09:00 - 10:00	317	15	0	3	0	335
09:15 - 10:15	329	17	0	5	0	351
09:30 - 10:30	337	17	0	10	0	364
09:45 - 10:45	331	14	0	15	0	360
10:00 - 11:00	335	15	0	18	0	367
10:15 - 11:15	345	14	0	17	0	377
10:30 - 11:30	348	17	0	14	0	379
10:45 - 11:45	358	21	1	11	0	391
11:00 - 12:00	352	23	1	10	0	386
11:15 - 12:15	341	23	1	8	0	373
11:30 - 12:30	322	23	1	8	0	354
11:45 - 12:45	292	24	0	6	0	322
12:00 - 13:00	301	22	0	5	0	328
12:15 - 13:15	321	23	0	6	0	350
12:30 - 13:30	362	22	0	7	0	391
12:45 - 13:45	401	19	0	12	0	432
13:00 - 14:00	438	20	0	13	0	470
13:15 - 14:15	438	18	0	14	0	470
13:30 - 14:30	454	17	0	12	0	483
13:45 - 14:45	484	18	0	9	0	511
14:00 - 15:00	503	18	0	7	0	528
14:15 - 15:15	530	21	0	6	0	557
14:30 - 15:30	505	20	0	6	0	530
14:45 - 15:45	456	20	0	3	0	479
15:00 - 16:00	437	20	0	4	0	461
15:15 - 16:15	400	18	0	6	0	425
15:30 - 16:30	387	20	0	6	0	413
15:45 - 16:45	409	20	0	9	0	437
16:00 - 17:00	384	17	0	9	0	410
16:15 - 17:15	367	14	0	10	0	391
16:30 - 17:30	359	12	0	15	0	385
16:45 - 17:45	338	12	0	15	0	365
17:00 - 18:00	324	11	0	17	0	352
17:15 - 18:15	299	15	0	13	0	327
17:30 - 18:30	295	16	0	8	0	319
17:45 - 18:45	303	16	0	9	0	329
18:00 - 19:00	296	19	0	6	0	320
TOTAL 12 H	4,229	207	1	99	0	4,536
07:00 - 19:00	93.2%	4.6%	0.0%	2.2%	0.0%	
HORA PICO	530	21	0	6	0	557
14:15 - 15:15	95.1%	3.7%	0.0%	1.2%	0.0%	FHP = 0.95

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Los resultados del aforo se muestran en un histograma, donde se observa la variación horaria del tránsito cuantificado durante las horas que duró el estudio de campo; la Figura 5-1 muestra gráficamente el comportamiento del tránsito de la vía.

Figura 5-1 Histograma de variación horaria de la estación 01.



Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

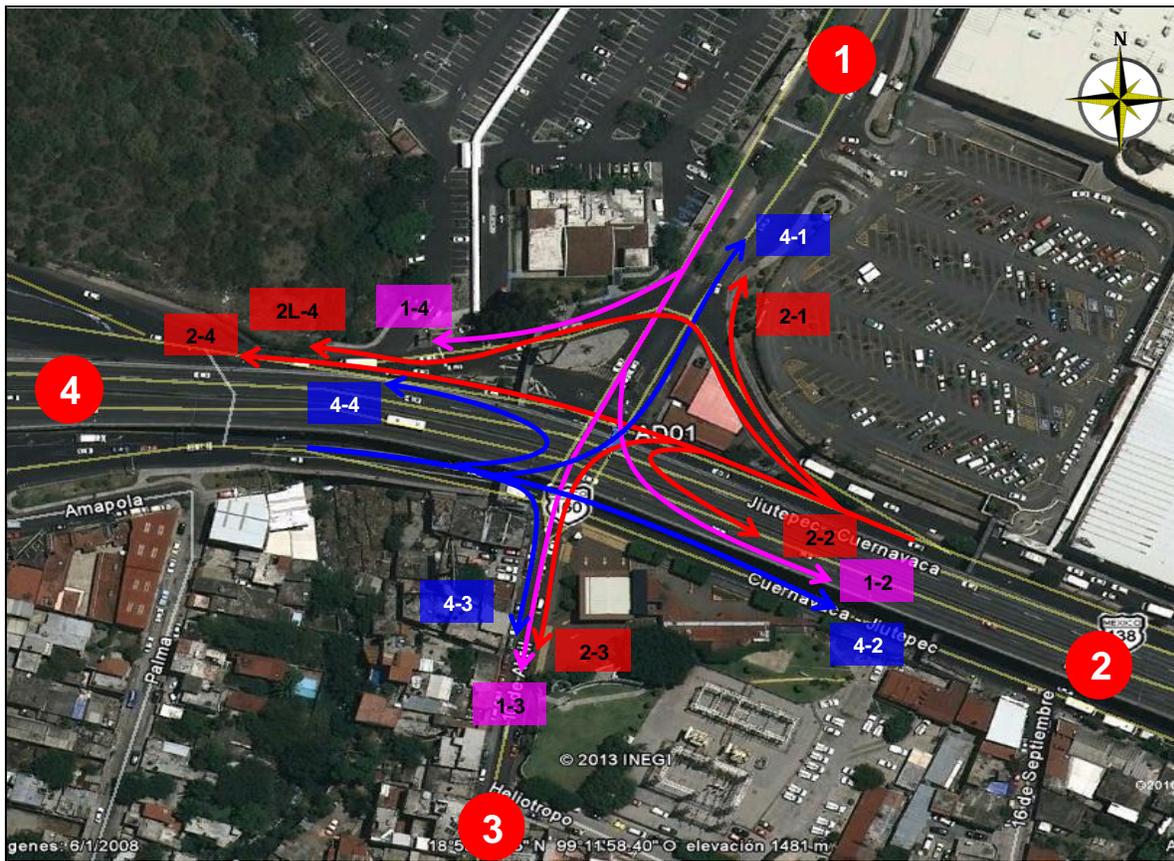
Del histograma se observa que la hora de mayor demanda se encuentra por la tarde de 14:15 a 15:15 horas, con un volumen de tránsito en ese periodo de 557 veh/h y un flujo total en ambos sentidos de 4,536 vehículos cuantificados durante las 12 horas que duró el estudio. El acceso norte - sur de esta vía presenta la mayor carga vehicular en todo el periodo aforado.

La composición vehicular identificada en la hora pico es del 95.1% de vehículos ligeros, 3.7% de autobuses y el 1.2% son vehículos de carga. El factor de hora pico (FHP) es 0.95, reflejando una distribución variable en el volumen registrado en los diferentes periodos de 15 minutos.

Aforo direccional.

Para una estación de aforo direccional, se realiza básicamente el mismo análisis del aforo de flujo, la diferencia radica en la manera en que se toma la información, ya que un aforo de flujo se realiza en vialidades de dos vías, una por sentido y un aforo direccional se toma en una intersección, semaforizada o no semaforizada, registrando los volúmenes que pasan por cada una de las combinaciones posibles de movimientos de las direcciones existentes en dicha intersección (Norte, Sur, Este, Poniente).

Figura 5-2. Ejemplo de movimientos direccionales.



Fuente: Cal y Mayor y Asociados y Google Earth.

A continuación se muestra el ejemplo de los resultados del análisis de un aforo direccional:

Este aforo se realizó el día martes 09 de abril de 2013, obteniéndose los flujos por movimiento direccional con clasificación vehicular durante 8 horas, 4 horas en la mañana (06:00 – 10:00 horas) y 4 horas en la tarde (16:00 – 20:00 horas), en la Tabla 5-2 se muestra un ejemplo de cómo se registran los resultados de todos los movimientos de la intersección del estudio de aforos direccionales.

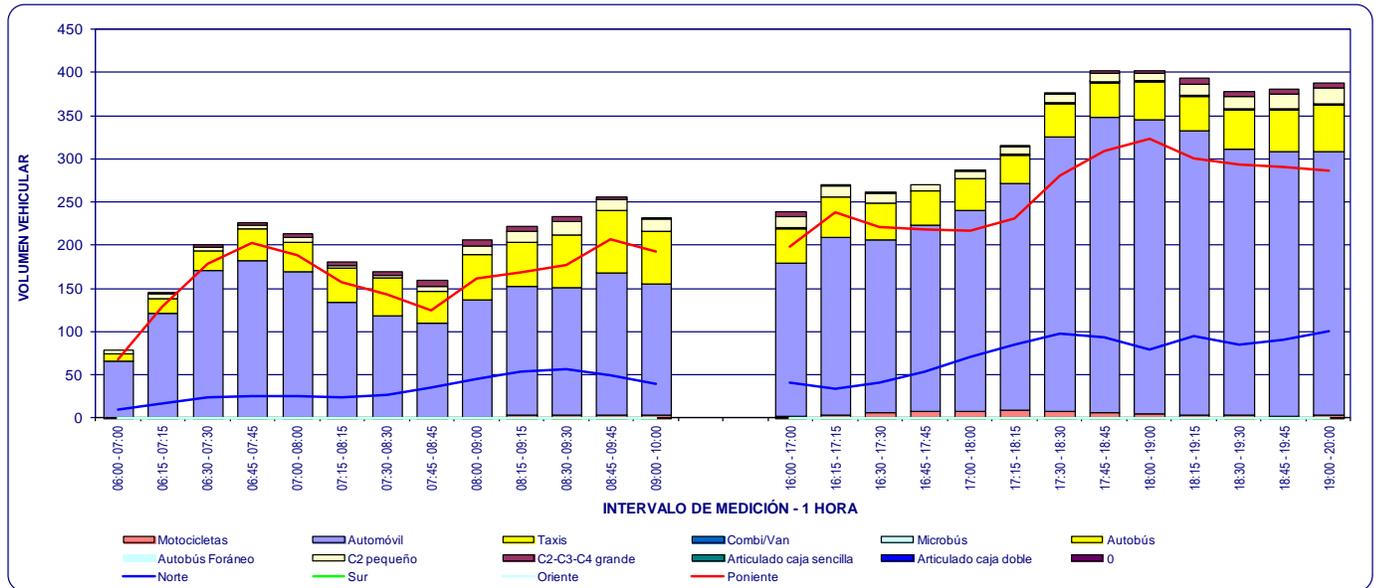
Tabla 5-2. Ejemplo de registro de información de una intersección de aforos direccionales.

HORA	Motocicletas	Automóvil	Taxis	Transporte Público			Autobús Foráneo	Camiones de Carga				0	TOTAL MIXTOS
				Combi/Van	Microbús	Autobús		C2 pequeño	C2-C3-C4 grande	Articulado caja sencilla	Articulado caja doble		
06:00 - 07:00	0	66	9	0	0	0	0	3	0	0	0	0	78
06:15 - 07:15	0	121	17	0	0	0	0	6	1	0	0	0	145
06:30 - 07:30	0	171	23	0	0	0	0	4	3	0	0	0	201
06:45 - 07:45	0	183	36	0	0	0	0	5	3	0	0	0	227
07:00 - 08:00	0	169	35	0	0	0	0	5	4	0	0	0	213
07:15 - 08:15	0	134	40	0	0	0	0	2	5	0	0	0	181
07:30 - 08:30	0	119	44	0	0	0	0	3	4	0	0	0	170
07:45 - 08:45	0	110	37	0	0	0	0	6	7	0	0	0	160
08:00 - 09:00	0	137	53	0	0	0	0	9	7	0	0	0	206
08:15 - 09:15	3	149	52	0	0	0	0	12	6	0	0	0	222
08:30 - 09:30	4	147	61	0	0	0	0	16	5	0	0	0	233
08:45 - 09:45	4	164	72	0	0	0	0	14	2	0	0	0	256
09:00 - 10:00	4	152	60	1	0	0	0	14	1	0	0	0	232
TOTAL 4 H	4	524	157	1	0	0	0	31	12	0	0	0	729
06:00 - 10:00	0.6%	71.9%	21.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	4.3%	1.7%	0.0%	0.0%	0.0%	
HORA PICO	4	164	72	0	0	0	0	14	2	0	0	0	256
08:45 - 09:45	2%	64%	28%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.5%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	FHP = 0.9
16:00 - 17:00	2	177	40	1	0	0	0	14	5	0	0	0	239
16:15 - 17:15	4	205	47	0	0	0	0	13	2	0	0	0	271
16:30 - 17:30	6	201	42	0	0	0	0	12	1	0	0	0	262
16:45 - 17:45	7	216	40	0	0	0	0	8	0	0	0	0	271
17:00 - 18:00	8	233	36	0	0	0	0	9	1	0	0	0	287
17:15 - 18:15	9	263	33	0	0	1	0	8	1	0	0	0	315
17:30 - 18:30	7	319	38	0	0	1	0	10	2	0	0	0	377
17:45 - 18:45	6	342	40	1	0	1	0	10	2	0	0	0	402
18:00 - 19:00	5	341	43	1	0	1	0	9	2	0	0	0	402
18:15 - 19:15	3	330	40	1	0	0	0	13	7	0	0	0	394
18:30 - 19:30	4	308	45	2	0	0	0	13	6	0	0	0	378
18:45 - 19:45	2	307	48	1	0	0	0	17	6	0	0	0	381
19:00 - 20:00	4	305	54	1	0	0	0	19	5	0	0	0	388
TOTAL 4 H	19	1,056	173	3	0	1	0	51	13	0	0	0	1,316
16:00 - 20:00	1.4%	80.2%	13.2%	0.2%	0.0%	0.1%	0.0%	3.9%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
HORA PICO	6	342	40	1	0	1	0	10	2	0	0	0	402
17:45 - 18:45	1%	85%	10%	0.3%	0.0%	0.3%	0.0%	2.5%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	FHP = 0.9

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Los resultados del aforo se muestran en un histograma, donde se observa la variación horaria del tránsito cuantificado durante las horas que duró el estudio de campo; a continuación se muestra gráficamente el comportamiento del tránsito de la intersección.

Figura 5-3 Histograma de variación horaria de la Intersección.



Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Del histograma se observa que la hora de mayor demanda matutina se encuentra de 08:45 a 09:45 horas, con un volumen de tránsito en ese periodo de 256 veh/h y un flujo total de 729 vehículos cuantificados durante las 4 horas que duró el estudio durante la mañana. Mientras que la hora de mayor demanda vespertina se encuentra de 17:45 a 18:45 horas, con un volumen de tránsito en ese periodo de 402 veh/h y un flujo total de 1,316 vehículos registrados durante las 4 horas que duró el estudio durante la tarde, considerablemente mayor que el periodo matutino.

De los cuatro accesos de la intersección, el mayor flujo se registró en el acceso Poniente conformado por la Avenida Benito Juárez.

La composición vehicular identificada en la hora pico matutina es del 1.6% motocicletas, 92.2% de vehículos ligeros, 0.0% de transporte público y el 6.2% son vehículos de carga. El factor de hora pico (FHP) es 0.90, reflejando una distribución variable en el volumen registrado en los diferentes periodos de 15 minutos.



La composición vehicular identificada en la hora pico vespertina es del 1.5% motocicletas, 95.0% de vehículos ligeros, 0.5% de transporte público y el 3.0% son vehículos de carga. El factor de hora pico (FHP) es 0.90, reflejando una distribución variable en el volumen registrado en los diferentes periodos de 15 minutos.

5.2. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD

5.2.1. Análisis de capacidad

Para determinar la capacidad máxima de tránsito en las diferentes vialidades de algún estudio, por lo regular se toman como fundamentos teóricos los establecidos en el Highway Capacity Manual (HCM) de Estados Unidos de América, publicado por el Transportation Research Board del mismo país.

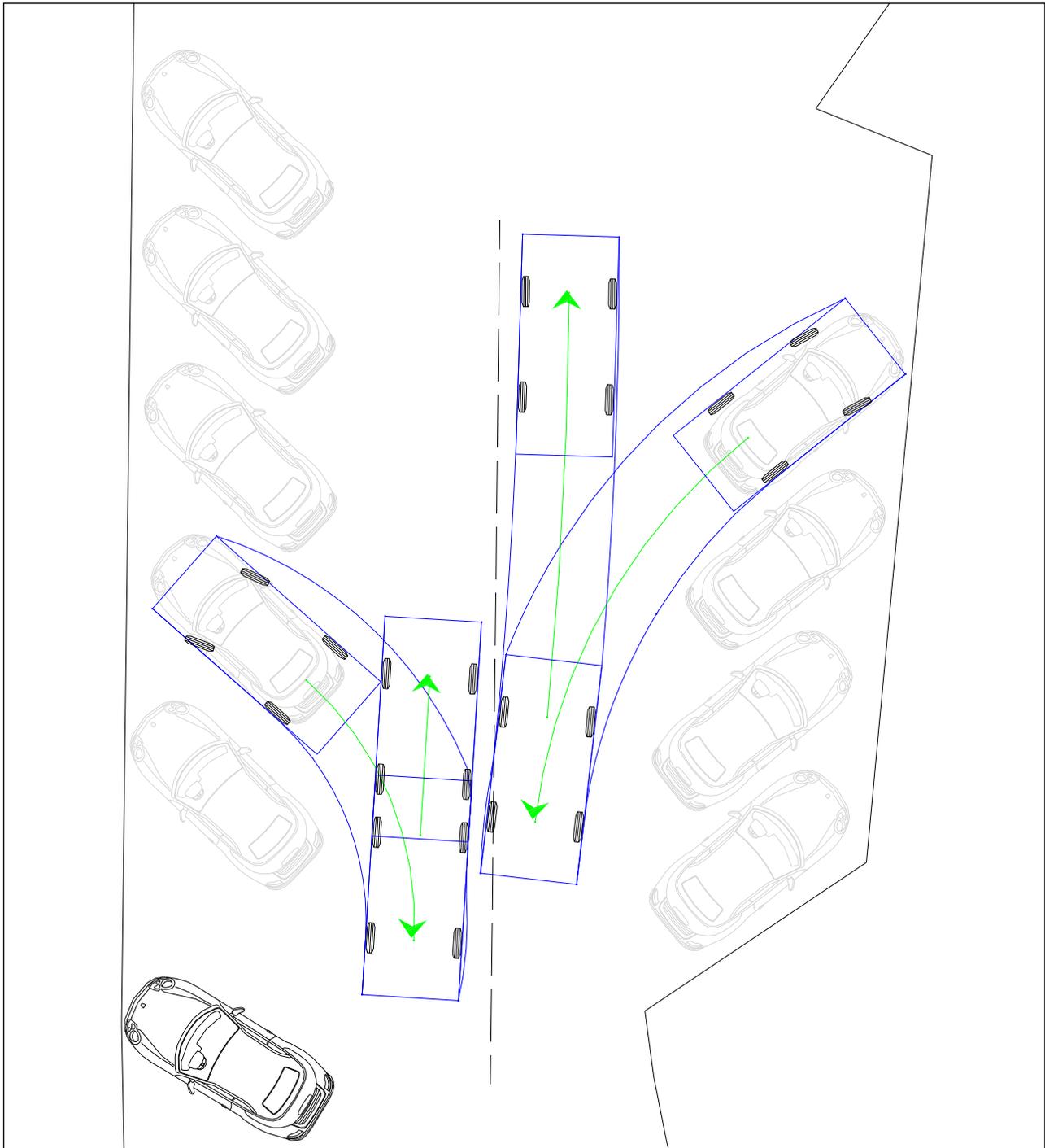
5.2.2. Capacidad vial

Como ya se mencionó en el numeral 2.3.1 de este documento, la capacidad es el máximo número de vehículos o peatones que pasan por un punto o sección uniforme, durante un intervalo de tiempo bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial analizada del tránsito sobre ella y de los dispositivos de control existentes.

Para este tipo de estudios en particular, se analiza el efecto que tiene el estacionamiento (en batería o en cordón) sobre la capacidad de los carriles disponibles para la circulación.

La Figura 5-4 muestra de manera esquemática el espacio que requiere un vehículo por las maniobras para salir de un cajón de estacionamiento en batería e incorporarse a la corriente vehicular.

Figura 5-4. Maniobras de salida de vehículos estacionados en batería.



Fuente: Cal y Mayor y Asociados.



Como se puede observar, la maniobra de salida de un vehículo que se encuentra estacionado, para incorporarse a la corriente vehicular, requiere de la totalidad del carril adyacente destinado para la circulación.

Al aplicar esta condición, se pueden presentar las siguientes situaciones:

- **Vialidades Principales:** Teniendo en cuenta que el volumen vehicular de las vialidades principales es mayor que el volumen vehicular de las vialidades locales, es preciso incrementar el efecto generado por las maniobras de estacionamiento sobre la corriente vehicular, ya que la ocupación de un carril destinado para circulación puede generar en estas vialidades la detención de varios vehículos y la generación de colas, no obstante teniendo en cuenta lo anterior, se consideró que la afectación por maniobras en términos de espacio es de 1.5 carriles, en lugar de 1.0
- **Vialidades locales:** En las vialidades locales, dada la restricción de espacio, los usuarios viajan a velocidades más reducidas y el volumen es menor, por lo tanto, el efecto de las maniobras de estacionamiento en la corriente vehicular no debe incrementarse, en este caso el efecto de las maniobras de estacionamiento debe disminuirse, toda vez, que los bajos volúmenes vehiculares pueden absorber la ocupación de los carriles de circulación sin generar colas. Por lo expuesto anteriormente se consideró, que la afectación por maniobras de estacionamiento en vialidades locales en términos de espacio es de 1.5 carriles, en lugar de 2.0

La Tabla 5-3 muestra un ejemplo de la relación volumen/capacidad, la cual se determina a partir de la demanda de la hora pico de cada vialidad y el efecto de las maniobras de estacionamiento en las corrientes vehiculares.



Es importante aclarar que si esta relación es mayor de 0.6 indica que inician los problemas de congestión, tornándose como crítica esta situación cuando dicha relación es igual o mayor a la unidad.

Tabla 5-3. Relación volumen/capacidad.

Vía	No. Carriles físicos	No. Carriles estacionamiento	No. Carriles en operación	Capacidad	VHMD	V/C
Principal	3	1	2	2,750	1,787	0.64
	3	1	2	2,750	1,202	0.43
	3	1	2	2,750	1,318	0.47
Secundaria	2	2	1	2,750	1,014	1.10
	2	2	1	2,750	146	0.16
	2	2	1	2,750	96	0.10
	2	2	1	2,750	584	0.63
	2	2	1	2,750	672	0.73

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.



6. OFERTA Y DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS

Se entiende por oferta los espacios disponibles de estacionamiento tanto en la vía pública como fuera de ella, para cuantificarla se lleva a cabo un inventario físico de los espacios de estacionamiento disponibles. Para estacionamiento en vía, se realiza un inventario de los espacios existentes y de las restricciones que hay para estacionarse en esa vía, pues hay vías en las que se prohíbe el estacionamiento. En cada una de ellas se mide su longitud total, se le resta la longitud de los espacios de estacionamiento prohibido, y se deduce el número de vehículos que caben en esta longitud restante o disponible. Para estacionamientos fuera de vía, en los lotes y edificios, se obtiene el dato con la administración del estacionamiento o contando directamente el número de espacios disponible.

Se entiende por demanda, la información de dónde se estaciona la gente, por cuánto tiempo, o su variación horaria dentro y fuera de la vía pública. Representa el número de vehículos que desean estacionarse con cierta duración. Esta información se obtiene mediante la ubicación de observadores en varios puntos de la zona en estudio, cada uno de los cuales, dependiendo de la frecuencia del estacionamiento de los vehículos en los lugares disponibles, recorre una, dos tres o cuatro calles, viendo todos los vehículos estacionados, anotando la hora de entrada y salida de cada uno de ellos. De esta manera se determina la utilización y duración promedio de estacionamiento.

6.1. OFERTA DE ESTACIONAMIENTOS

La oferta de estacionamiento corresponde a la cantidad de cajones que se ofrecen en la actualidad en el área de estudio dentro y fuera de vía. La

identificación de la oferta se realiza a partir del inventario de cajones de estacionamiento identificando, en el caso de las vialidades, la oferta permitida y la no permitida, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- **Oferta permitida:** Corresponde a aquellos cajones que se encuentran en vialidades que no cuentan con la señal vertical SR-22.
- **Oferta no permitida:** Corresponden a aquellos cajones que se ofrecen en vialidades que cuentan con restricción de estacionamiento mediante la señal vertical SR- 22.

Figura 6-1. Señalización vertical SR-22 (prohibido estacionarse).



Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

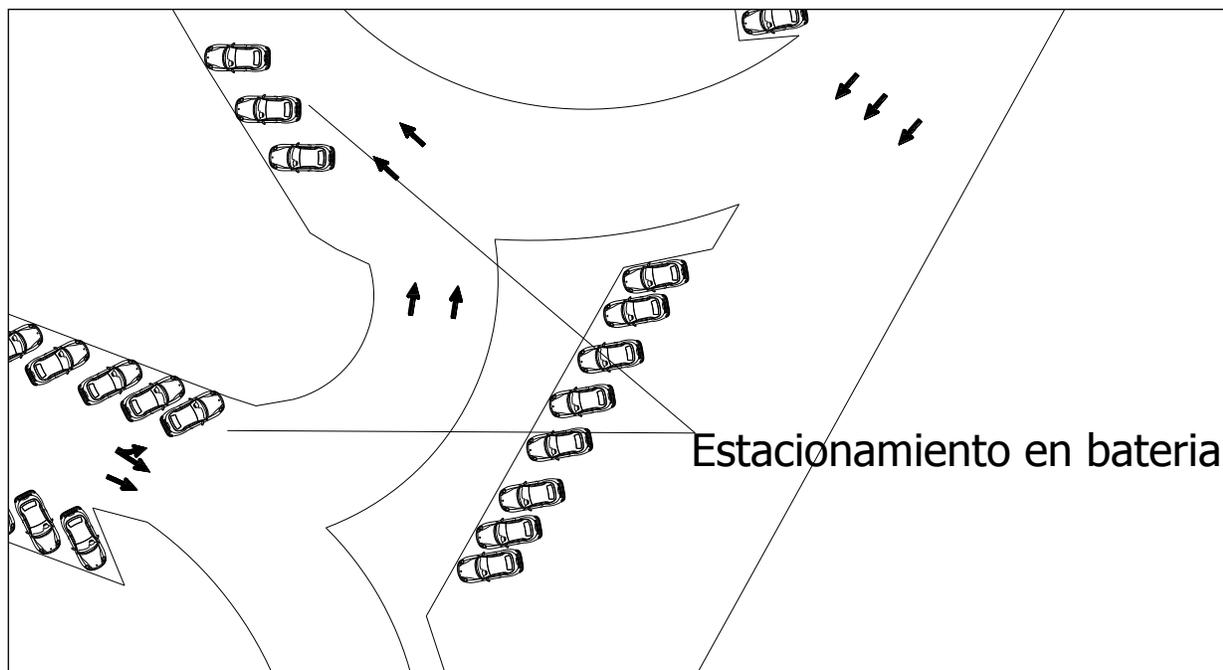
6.1.1. Oferta en vía

Para efectos de ejemplificación, se toma como zona de estudio Ciudad Satélite, a los alrededores de la plaza comercial Satélite con el objeto de

construir un estacionamiento subterráneo que atienda la demanda localizada en vía que provoca congestión local.

Básicamente, mediante inspección visual y en recorridos a pie, se determina la capacidad de cupo de los estacionamientos en vía, identificando además, de qué manera se presenta el estacionamiento, ya sea en cordón o en batería (diagonal o perpendicular), la Figura 6-2 muestra un ejemplo de estacionamiento en batería diagonal.

Figura 6-2. Acomodo de vehículos en estacionamiento en batería.



Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Dicho ejercicio debe arrojar la distancia que un vehículo requiere para estacionarse en cordón y además permita realizar las maniobras necesarias de entrada y salida, preferentemente, 7.0 m son ideales. Esta medida es consistente con lo establecido por la Norma Técnica Complementaria para el Proyecto arquitectónico, la cual regula en la actualidad los estacionamientos que operan en el Distrito Federal.



Con base en lo anterior, se estima la cantidad de cajones de estacionamiento que se ofrecen en las vialidades que se estudiarán. En la Tabla 6-1 se muestra un ejemplo de los resultados que se deben de obtener:

Tabla 6-1. Ejemplo de resultados de oferta en vía.

Vialidad	Cajones ofrecidos
1	93
2	115
3	65
4	130
5	135
6	65
7	78
Total	681

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. Oferta fuera de vía

La oferta fuera de vía se obtiene de manera directa mediante los inventarios realizados a los estacionamientos que ofrecen el servicio dentro del área de análisis. En la Tabla 6-2 se muestra un ejemplo de los resultados que se deben de obtener.

Tabla 6-2. Ejemplo de resultados de oferta en fuera de vía.

Estacionamiento	Capacidad individual
E01	20
E02	30
E03	70
E. Plaza	5,472
Total	5,592

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3. Oferta total en el área de estudio

Al agregar la oferta encontrada en vía como en fuera de vía, se obtienen los datos necesarios para determinar la oferta total de espacios de estacionamiento en la zona de estudio o del proyecto.



Tabla 6-3. Oferta total en la zona de estudio.

Estacionamiento en vía	Estacionamiento en fuera de vía
681	5,592
Total	6,273

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en el ejemplo que en total se ofrecen 6,273 cajones de estacionamiento en el área de estudio, de los cuales el 11% representa la oferta en vía con 681 cajones, el 89% restante representa la oferta fuera de vía con 5,592 cajones, lo que quiere decir que el proyecto debería de atraer los 681 usuarios que utilizan el estacionamiento en vía y presentando una tarifa competitiva, podría atraer usuarios del estacionamiento que ya se ofrece en fuera de vía, esto es un ponderado de la demanda que podría tener un nuevo proyecto de estacionamiento en la zona.

6.2. DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS

La demanda de estacionamiento está dada por la cantidad de usuarios que ocupan en determinado periodo de tiempo un cupo. Básicamente, la demanda de estacionamiento presenta dos grandes componentes:

- La demanda de estacionamiento en vía.
- La demanda de estacionamiento fuera de vía.

Los cuales deben analizarse de manera independiente dadas las diferencias que presentan los usuarios de cada uno.

A continuación se presenta la forma de realizar la estimación de la demanda en cada componente.

6.2.1. Demanda de estacionamiento en vía

A partir del estudio de rotación y ocupación que se realiza un día típico durante 16 horas consecutivas, se estima la demanda de usuarios que ocupan un lugar de estacionamiento ofrecido en vía y con ello, los parámetros con los cuales se explica el comportamiento de dicha demanda, para cada uno de los períodos estudiados.

Regularmente, para este análisis, se realiza una tabla donde se registran los datos sobre la HMD encontrada (capítulo 2.2.3), la demanda estimada y el volumen de vehículos aforados durante la HMD establecida por cada calle, vialidad, circuito o zonas, esto último dependiendo de las especificaciones del estudio. La Tabla 6-4 muestra un ejemplo de lo mencionado anteriormente, adicionalmente, se ejemplifica las conclusiones de la demanda en vía.

Tabla 6-4. Ejemplo de demanda en vía.



Vialidad	Demanda en vía	VHMD	HMD
1	1,112	70	
2	809	52	
3	280	11	8:30
4	791	85	-
5	1,165	67	9:30
6	590	57	
7	673	99	
Total	5,420	441	

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

En la segunda columna se encuentra la cantidad de usuarios registrados durante el periodo analizado de aforo en cada vialidad. Se observa que en el periodo de 16 horas evaluados en día típico entre semana en la zona comercial se atienden 5,420 usuarios estacionados en vía, de los cuales la vialidad 1 y 5 atienden cada uno el 21% de la demanda con un promedio de 1139 usuarios; el 15% es atendida en la vialidad 2 y 4 con un promedio de 800



usuarios, el 12% con 673 usuarios es atendida en la vialidad 7, 11% con 590 usuarios es atendida en la vialidad 6 y la demanda menor es atendida en la vialidad 3, con 280 usuarios los cuales representa el 5% de la demanda total

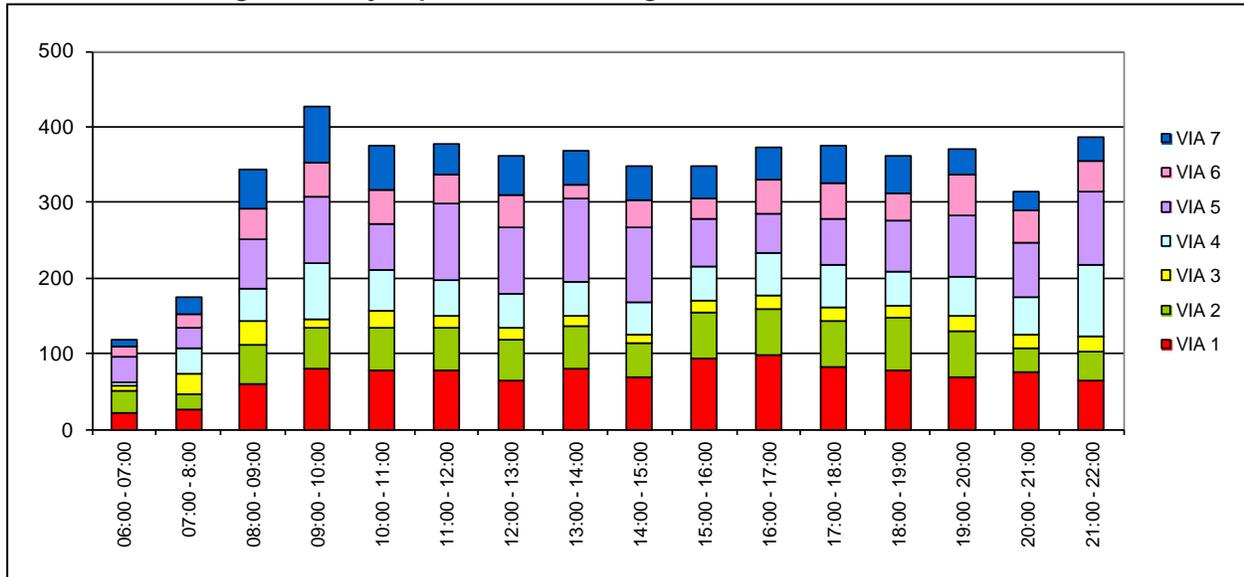
Lo anterior indica que la vialidad 1 y 5 atrae mayor cantidad de viajes y la vialidad 3 presenta la menor atracción de viajes.

En la tercera y cuarta columna se observa el Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD) registrado en cada vialidad y la hora en la que se presentó esta mayor afluencia de usuarios. Se identificó que el periodo con mayor demanda de estacionamiento en vía se encuentra entre las 08:30 y las 09:30 de la mañana con 441 usuarios, lo cual se debe a la marcada presencia de oficinas y comercio que inician sus actividades a esa hora, de igual manera se identificó, que en la hora de máxima la vialidad que atiende la mayor demanda es el 7 con 99 usuarios, seguido de las vialidades 1 y 4 con 70 y 86 usuarios respectivamente.

En la Figura 6-3 se representa gráficamente la demanda registrada por hora para cada vialidad. Se observa un comportamiento creciente en las primeras horas del día, hasta llegar a la HMD entre las 09:00 y 10:00 horas, a partir de este momento la demanda horaria decrece permaneciendo constante entre un rango de 300 y 400 usuarios.

También se observa que durante todo el periodo de estudio, las vialidades 5 y 1 presentan la mayor demanda, representada en la gráfica con el color morado y rojo respectivamente; con menor demanda está la vialidad 3 en color amarillo.

Figura 6-3. Ejemplo del resultado gráfico de la demanda en vía.



Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

6.2.2. Demanda de estacionamiento fuera de vía

La demanda en fuera de vía se obtiene a partir del aforo de placas que se realiza en las entradas y salidas de los estacionamientos fuera de vía que se contemplan en el proyecto en cuestión. Como se mencionó con anterioridad, este estudio permite, además de identificar la cantidad de usuarios, conocer la hora de entrada y salida y con estas la permanencia de cada usuario dentro de un estacionamiento formalmente establecido.

En este ejemplo, se muestra que se analizaron cuatro escenarios diferentes, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla siguiente:



Tabla 6-5. Ejemplo de demanda en fuera de vía.

Día y periodo del estudio	Vehículos al día	VHMD	HMD
Jueves (16 Hrs)	9,841	1,437	17:00 - 18:00
Viernes (08 Hrs)	4,770	1,360	19:00 - 20:00
Sábado (12 Hrs)	11,805	1,486	12:00 - 13:00
Fin de semana (24 Hrs)	16,561	1,486	12:00 - 13:00

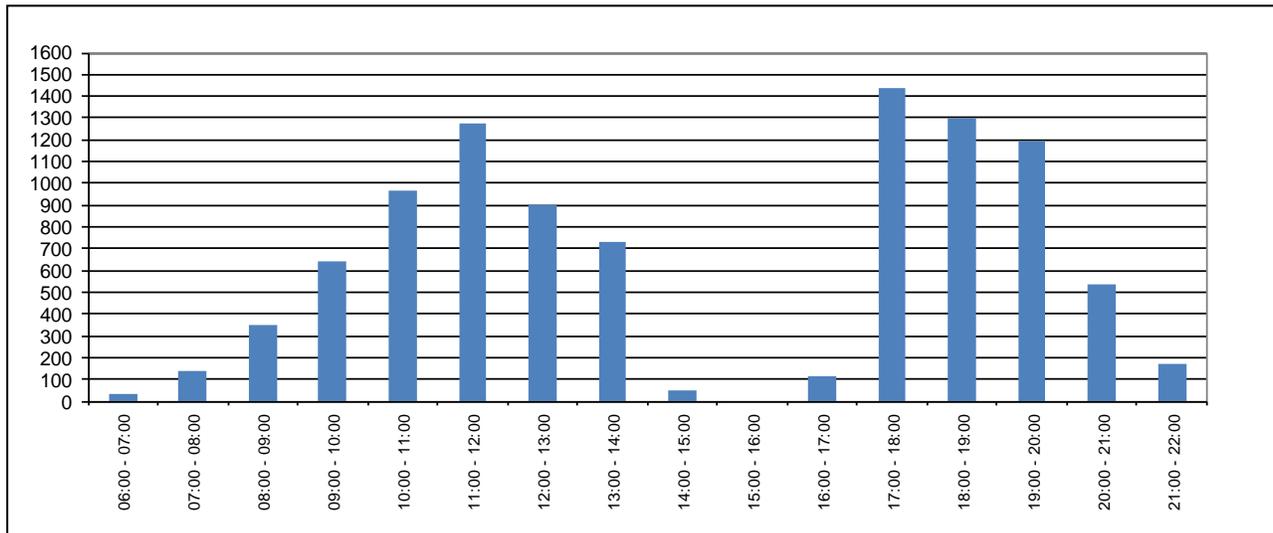
Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Como se puede observar, en este estacionamiento, en un día típico entre semana, se atendieron 9,841 usuarios; el día viernes (considerado fin de semana en la noche) se atendieron a 4,770 usuarios y el día sábado, tomando 12 horas de estudio, se atendieron a 11,805, con lo que se podría decir que en un día en fin de semana de 24 horas, 16,561 usuarios utilizaron el servicio de estacionamiento.

En la tercera y cuarta columna se observa el volumen horario de máxima demanda – VHMD en el estacionamiento analizado. Para el día jueves, el VHMD es de 1437 vehículos el cual se presenta en el periodo comprendido entre las 17:00 y las 18:00 horas; el día viernes, el VHMD es de 1,360 vehículos en el horario de 19:00 a 20:00 horas; para el día sábado el VHMD es de 1,486 vehículos de 12:00 a 13:00 horas.

En los siguientes gráficos, se representan las demandas registradas por cuarto de hora para cada día, de lo que se puede observar un comportamiento creciente en las primeras horas del estudio de todos los días, donde la capacidad máxima del estacionamiento es para 5472 vehículos, la cual no es superada en ninguno de los casos:

Figura 6-4. Ejemplo de la demanda de volumen vehicular en el estacionamiento.



Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Se puede ver el comportamiento creciente de la demanda conforme pasa el día, sin embargo, se nota un descenso durante las 14:00 hasta las 16:00 horas, la demanda vuelve a presentar ascenso hasta llegar a la demanda máxima con un total de 1,437 vehículos estacionados fuera de vía en la zona de estudio en la HMD, que es de 17:00 a 18:00 horas.

6.3. CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DE LA DEMANDA

Las características operativas corresponden a los índices que explican el comportamiento de la demanda, los parámetros utilizados para esto son:

- **La rotación de vehículos:** Número de veces que un cajón es utilizado durante el día.
- **Grado de permanencia:** Tiempo promedio que permanecen los usuarios estacionados.
- **Ocupación media:** Promedio de la ocupación de los cupos ofrecidos.



Teniendo en cuenta que el comportamiento de los usuarios que se estacionan en vía es diferente al comportamiento de los usuarios que se estacionan en cupos fuera de vía, el análisis de la demanda y la identificación de los parámetros se realiza de manera independiente para cada caso.

6.3.1. Estacionamiento en vía

A continuación se relacionan los resultados de parámetros operativos del estacionamiento en vía, para un día típico entre semana.

Rotación y grado de permanencia.

El análisis de la demanda registrada en vía, arroja la información presentada en la Tabla 6-6, esto se obtiene del estudio de rotación en vía, observando cuantos cuartos de hora permanecen estacionados los vehículos en un mismo lugar y con ello, se ponderan los resultados para obtener la rotación diaria y la rotación media (o promedio) de la zona de estudio, adicional a ello, se obtiene la duración (o permanencia) máxima que un vehículo permanece en un lugar y la duración promedio de la zona de estudio.

Tabla 6-6. Rotación diaria y grado de permanencia en vía.

Vialidad	Rotación diaria	Rotación media	Duración por vialidad	Duración media
1	11.96		1 hora 14 min	
2	7.03		1 hora 39 min	
3	4.31		2 horas 17 min	
4	6.08	7.96	1 hora 38 min	1 hora 27 minutos
5	8.63		1 hora 24 min	
6	9.08		1 hora 27 min	
7	8.63		1 hora 09 min	

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Teniendo en cuenta que la rotación es el número de veces que es utilizado un cajón de estacionamiento, se observa que en un día típico entre semana en la vialidad 1 se presentó la mayor rotación con 11.96 y la menor rotación en la



vialidad 3 con 4.3. Al analizar el comportamiento integral del área de estudio se identificó que en promedio los usuarios que se estacionan en las vialidades, se utiliza un cajón de estacionamiento 8 veces durante un día.

Respecto al grado de permanencia la vialidad 3 es el que mayor grado de permanencia reporta con 2 horas 17 minutos, lo cual es consistente con la vialidad que presenta menor rotación, y el de menor duración es la vialidad 7 con 1 hora y 9 minutos, en general en el área de estudio el grado de permanencia en vía es de 1 hora 27 minutos.

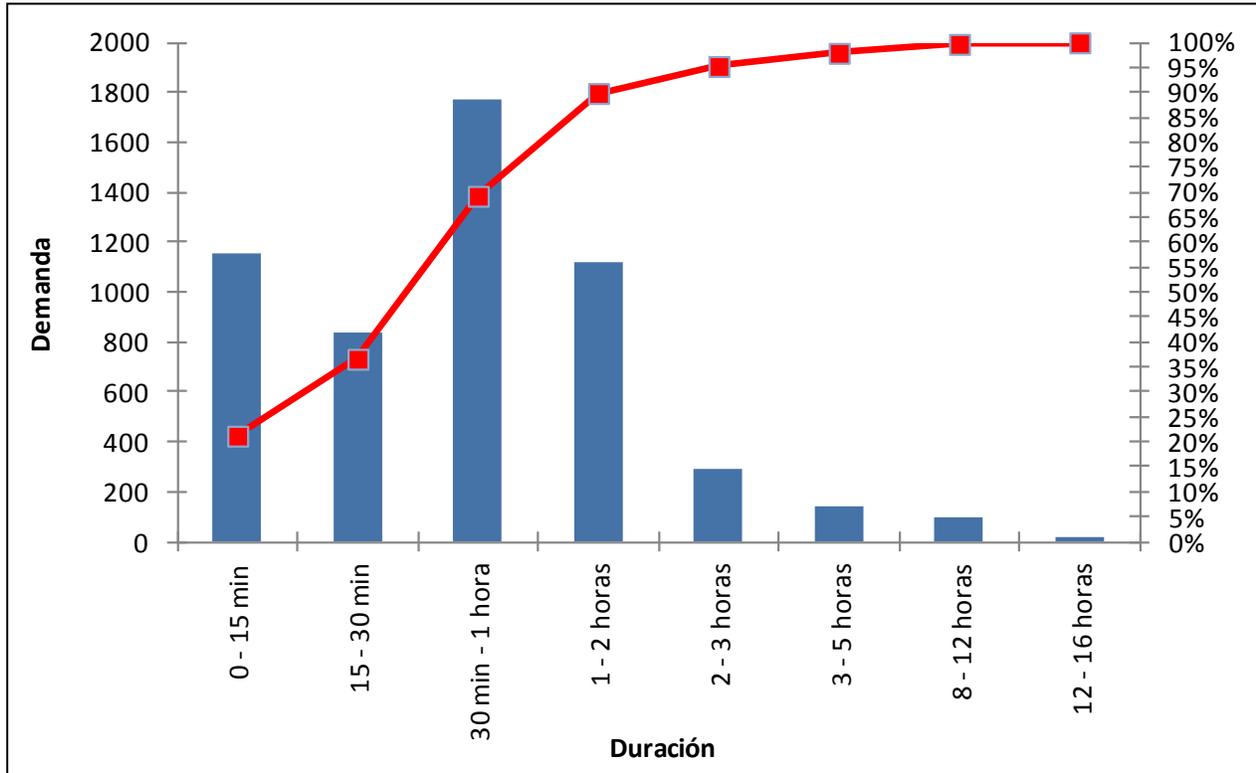
Para mostrar los resultados más claros, se realiza un histograma relacionando estadísticamente la demanda con el grado de permanencia, esto define gráficamente la proporción de los usuarios que permanecen estacionados determinado periodo de tiempo, definido en cuartos de hora y horas cerradas en toda el área de estudio, dependiendo de la demanda observada en este periodo.

Tabla 6-7. Ejemplo de la relación demanda – grado de permanencia.

Duración	Demanda	%	% acumulado
0 - 15 min	1,149	21.20%	21.20%
15 - 30 min	835	15.41%	36.61%
30 min - 1 hora	1,769	32.64%	69.26%
1 - 2 horas	789	14.56%	83.82%
2 - 3 horas	327	6.03%	89.85%
3 - 5 horas	293	5.41%	95.26%
5 - 8 horas	143	2.64%	97.90%
8 - 12 horas	97	1.79%	99.69%
12 - 16 horas	17	0.31%	100.00%

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Figura 6-5. Ejemplo gráfico de la relación demanda – grado de permanencia.



Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Como se puede observar en el ejemplo, un 32.64% de los usuarios permanecieron en un cajón de estacionamiento en un tiempo de 30 minutos a 1 hora, seguido por un 21.20% de usuarios que permanecen estacionados un tiempo menor a los 15 minutos, resaltando que después de la tercer hora la demanda de usuarios es baja correspondiendo al 5% de la demanda aproximadamente, esto puede determinar los horarios de operación de un estacionamiento.

Ocupación

El ejemplo de los resultados obtenidos para éste parámetro en el estacionamiento fuera de vía se presentan en la Tabla 6-8, como se mencionó con anterioridad, este tipo de resultados es obtenido por inspección visual.

Tabla 6-8. Ejemplo de ocupación media en estacionamientos en vía.

Vialidad	Ocupación promedio diaria	Ocupación HMD de la red	Ocupación HMD de la vialidad
1	92%	94%	137%
2	71%	68%	96%
3	61%	68%	72%
4	62%	72%	95%
5	70%	64%	97%
6	82%	85%	125%
7	62%	106%	106%
Total	71%	77%	99%

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

La segunda columna de la tabla anterior indica la ocupación promedio de los cupos ofrecidos en vía en cada vialidad, de esta manera, se observa que durante las 16 horas de aforo (día típico entre semana) la vialidad 1 presenta el mayor porcentaje de ocupación con el 92% de los cupos y la menor ocupación en las vialidades 3, 4 y 7 con un 62 % en promedio de los cupos ofertados.

La tercera columna presenta la ocupación registrada en cada vialidad en la HMD. En éste contexto se observa, que las máximas ocupaciones se presentan en las vialidades 7 y 1 con 106% y 94%, con ocupación menor están las vialidades 5, 3 y 2 con un promedio del 66%.

La cuarta columna, indica la ocupación máxima que se registró en cada vialidad, esta información es de gran importancia ya que representa la cantidad mínima de cajones que se deben ofrecer para satisfacer la demanda actual que fluctúa a lo largo del día. Con éste antecedente, se encontró que en la hora con mayor demanda la vialidad 1, 6 y 7 presentó una ocupación del 137%, 125% y 106%, respectivamente lo cual indica que la cantidad de cupos ofrecida en las vialidades es insuficiente y requiere más cupos para cubrir dicha demanda.



6.3.2. Estacionamiento fuera de vía

El análisis de la demanda de estacionamiento fuera de vía se realiza de manera similar a la presentada en el numeral anterior, es decir mediante la identificación de los parámetros de rotación, grado de permanencia y ocupación.

Rotación

En análisis de la demanda registrada en el estacionamiento en fuera de vía, arrojo la información presentada en la Tabla 6-9, muy similar que en el estudio en vía.

Tabla 6-9. Ejemplo de resultados de la rotación total y horaria en fuera de vía.

Día y periodo del estudio	Rotación total	Rotación horaria
Jueves (16 Hrs)	1.80	0.12
Viernes (08 Hrs)	0.87	0.12
Sábado (12 Hrs)	2.16	0.23
Fin de semana (24 Hrs)	3.03	0.32

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Teniendo en cuenta que la rotación es el número de veces que es utilizado un cajón de estacionamiento, se observa que en los cupos ofrecidos fuera de vía, analizados individualmente, el día sábado presenta la mayor rotación del área de estudio, con un índice de rotación total de 2.16, lo que indica que los cajones son utilizados en promedio 2 veces al día. Este comportamiento es consistente con la concentración de viajes generados.

Grado de permanencia

El grado de permanencia de los usuarios que se estacionan fuera de vía, se presenta en la Tabla 6-10 como ejemplo, discriminada por día de toma de información



Tabla 6-10. Ejemplo de resultados del grado de permanencia en fuera de vía.

Día y periodo del estudio	Duración media
Jueves (16 Hrs)	2 horas 3 minutos
Viernes (08 Hrs)	1 hora 47 minutos
Sábado (12 Hrs)	1 hora 57 minutos
Fin de semana (24 Hrs)	1 hora 24 minutos

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Como se observa en la tabla anterior, la mayor duración se presenta en el día jueves, incluso es mayor que la del fin de semana, donde los usuarios permanecen estacionados 2 horas y 3 minutos. Los días viernes y sábado de manera independiente presentan un grado de permanencia menor, de 1 hora con 47 y 57 minutos respectivamente.

Ocupación

Los resultados para el ejemplo de la ocupación en estacionamientos fuera de vía se presentan en la Tabla 6-11.

Tabla 6-11. Ejemplo de resultados de la ocupación en fuera de vía.

Día y periodo del estudio	Capacidad	Ocupación promedio	Ocupación en periodo pico
Jueves (16 Hrs)	5472	23%	50.21%
Viernes (08 Hrs)		19%	36.46%
Sábado (12 Hrs)		36%	64.82%
Fin de semana (24 Hrs)		29%	70.35%

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

La segunda columna presenta la capacidad máxima a la que opera el estacionamiento analizado, el cual dispone de un total de 5472 cajones de estacionamiento.

La tercer columna de la tabla indica la ocupación promedio de los cupos ofrecidos fuera de vía en el estacionamiento, de esta manera, se observa que: durante las 16 horas de aforo del día jueves, se ocuparon en promedio el 23%



de los cupos ofrecidos, en las 8 horas del día viernes el 19% y el sábado durante las 12 horas de estudio, se utilizó el 36% de los cupos ofertados.

La cuarta columna presenta la ocupación registrada en cada día durante la hora pico en los diferentes periodos que se analizaron.



7. PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

Para el pronóstico se debe recopilar información socioeconómica del municipio y/o delegación de la zona donde se realice el proyecto y deben estar basados en la información oficial reportada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, de los resultados de Censos y Conteos de Población y Vivienda, de los Censos Económicos, el Sistema de Cuentas Nacionales y de los registros administrativos de vehículos en circulación. Los datos históricos censales más actuales en este año (2014) que deben ser considerados corresponderían a los del Censo de Población 2010 y los Censos Económicos 2009; las variables recabadas deben ser las siguientes:

- Población total del municipio y/o delegación en cuestión.
- Parque vehicular.

Es importante señalar que este tipo de series suelen ser desarrolladas por consultoras especializadas en pronósticos y corresponden a la situación económica del país y del entorno internacional, por lo que son las que habitualmente se utilizan para construir modelos econométricos que permitan proyectar el comportamiento de la demanda.

7.1. PRONÓSTICO DE VARIABLES SOCIOECONÓMICAS

7.1.1. Proyecciones de la población total

Las proyecciones de población total, la PEA (población económicamente activa) y las viviendas particulares habitadas a nivel estatal y municipal se desarrollan con base en las estimaciones de los crecimientos pronosticados por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) a partir del año 2011.



La tendencia de esta variable a nivel municipal debe ser comparada para el periodo 2005-2010, con los crecimientos reales registrados de acuerdo con los resultados del Censo 2005 y el Censo 2010 del INEGI, y los crecimientos estimados por el CONAPO para este mismo periodo, ya que las cifras históricas más actualizadas que considera el CONAPO, corresponden a las del Censo 2005.

7.1.2. Proyección del parque vehicular

El pronóstico del parque vehicular de automóviles y de camiones de carga se encuentra ligado al Modelo Regional de SIREM (Sistema de Información Regional de México) ajustado de acuerdo con las expectativas del FMI (Fondo Monetario Internacional) para el periodo 2011-2016. La información histórica está basada en los registros administrativos de vehículos de motor en circulación, publicados por el INEGI para el periodo 1980-2010. A partir de los datos recabados se elaboraron modelos de regresión para correlacionar estas dos variables con el VAB (Valor Agregado Bruto) del lugar.

En el caso de automóviles, se proyecta el parque tomando en cuenta la proyección de la población municipal y/o delegacional, es decir, que en todas las series se ha verificado la consistencia en el comportamiento de la tasa de motorización de automóviles (vehículos por persona).

En el caso de camiones de carga, se toma como punto de referencia la evolución de la economía nacional y estatal, así como también el comportamiento del crecimiento de la población a nivel municipal (o delegacional) y estatal; al igual que en el caso de los vehículos particulares, en todas las series se verifica la consistencia en el comportamiento de la tasa de motorización de camiones de carga.



7.1.3. Tasas de crecimiento de las variables socioeconómicas

Las cifras históricas y estimadas de las variables socioeconómicas son utilizadas para la cuantificación de las tasas de crecimiento media anual en periodos de 5 años (regularmente) considerando que la tendencia de crecimiento sigue un comportamiento exponencial expresado por la siguiente fórmula:

$$Y = X * (1 + i)^n$$

Donde:

Y: valor final

X: valor inicial

i: tasa de crecimiento

n: periodo de tiempo en años

Con dicha tasa se obtiene el factor de crecimiento que se aplica a los datos de volúmenes actuales a partir de la siguiente fórmula:

$$FC = (1 + i)^n$$

Donde:

FC: Factor de crecimiento

En la Tabla 7-1 y la Tabla 7-2 se presenta un ejemplo de la obtención de tasas de crecimiento poblacional y de parque vehicular media anual histórica y estimada de acuerdo con una proyección de 5, 10, 15 y 20 años.

Tabla 7-1. Proyección de las variables socioeconómicas por tasa de crecimiento poblacional (2013 – 2033).

	Año	Población		
		Población	Tasa de crecimiento	Factor de crecimiento con respecto a 2012
Histórico	2005	821,442	-	-
	2006	824,642	0.39%	1.004
	2007	827,490	0.35%	1.003
	2008	829,972	0.30%	1.003
	2009	832,074	0.25%	1.003
	2010	833,779	0.20%	1.002
	2011	834,168	0.05%	1.000
	2012	834,525	0.04%	1.000
Pronóstico	2013	834,850	0.04%	1.000
	2018	836,079	0.15%	1.001
	2023	836,802	0.09%	1.001
	2028	837,184	0.05%	1.000
	2033	837,329	0.02%	1.000

Fuente: Elaborada con información de CONAPO por Cal y Mayor y Asociados.

Tabla 7-2. Proyección de las variables socioeconómicas por tasa de crecimiento vehicular (2013 – 2033).

	Año	Automóviles			Camiones			Automóviles Factor de crecimiento con respecto a 2012	Camiones Factor de crecimiento con respecto a 2012	Crecimiento de parque vehicular
		Parque vehicular	Tasa de crecimiento	Factor de crecimiento	Parque vehicular	Tasa de crecimiento	Factor de crecimiento			
Histórico	2005	123,600	-	-	14,495	-	-			
	2006	176,701	42.96%	1.430	22,480	55.09%	1.551			
	2007	181,582	2.76%	1.028	23,049	2.53%	1.025			
	2008	206,899	13.94%	1.139	27,241	18.19%	1.182			
	2009	225,338	8.91%	1.089	30,867	13.31%	1.133			
	2010	242,667	7.69%	1.077	33,935	9.94%	1.099			
	2011	238,016	-1.92%	0.981	30,975	-8.72%	0.913			
	2012	249,880	4.98%	1.050	31,203	0.74%	1.007	1.000	1.000	1.000
Pronóstico	2013	262,759	5.15%	1.052	31,678	1.52%	1.015	1.052	1.015	1.048
	2018	324,609	23.54%	1.235	33,967	7.23%	1.072	1.299	1.089	1.279
	2023	383,055	18.00%	1.180	35,748	5.24%	1.052	1.533	1.146	1.500
	2028	446,248	16.50%	1.165	38,703	8.27%	1.083	1.786	1.240	1.742
	2033	498,640	30.17%	1.117	40,509	13.32%	1.047	1.996	1.298	1.943

Fuente: Elaborada con información de CONAPO por Cal y Mayor y Asociados.

Para el caso de los estudios de estacionamientos, la variable considerada y que representa el crecimiento de los viajes corresponde a la tasa de crecimiento de motorización, puesto que es ella quien genera las necesidades de movilidad en una ciudad.

Para obtener la demanda generada en los años horizonte, se calculan los factores de crecimiento relacionando la demanda generada en el año de



inicio y final del periodo, obteniendo así, la proyección variable de acuerdo con la tasa de crecimiento por motorización como muestra la Tabla 7-3.

Tabla 7-3. Proyección de las variables socioeconómicas por tasa de crecimiento por motorización (2013 – 2033).

Año	Automóviles			Camiones			Automóviles	Camiones	Crecimiento de parque vehicular
	Tasa de motorización	Tasa de crecimiento	Factor de crecimiento	Tasa de motorización	Tasa de crecimiento	Factor de crecimiento	Factor de crecimiento con respecto a 2012		
Histórico	2005	0.1505	-	-	0.0176	-	-	-	-
	2006	0.2143	42.41%	1.424	0.0273	54.49%	1.545	-	-
	2007	0.2194	2.41%	1.024	0.0279	2.18%	1.022	-	-
	2008	0.2493	13.60%	1.136	0.0328	17.83%	1.178	-	-
	2009	0.2708	8.64%	1.086	0.0371	13.02%	1.130	-	-
	2010	0.2910	7.47%	1.075	0.0407	9.71%	1.097	-	-
	2011	0.2853	-1.96%	0.980	0.0371	-8.77%	0.912	-	-
	2012	0.2994	4.94%	1.049	0.0374	0.69%	1.007	-	-
Pronóstico	2013	0.3147	5.11%	1.051	0.0379	1.48%	1.015	1.051	1.015
	2018	0.3883	23.36%	1.234	0.0406	7.07%	1.071	1.297	1.087
	2023	0.4578	17.90%	1.179	0.0427	5.15%	1.051	1.529	1.143
	2028	0.5330	16.44%	1.164	0.0462	8.22%	1.082	1.780	1.236
	2033	0.5955	11.72%	1.117	0.0484	4.65%	1.046	1.989	1.294

Fuente: Elaborada con información de CONAPO por Cal y Mayor y Asociados.

Para el caso del ejemplo, el pronóstico de crecimiento del tránsito consideró el año 2013 como el año estimado de inicio de operaciones del estacionamiento, tomando como base el año 2012

Generalmente, se realizan pronósticos para horizontes de evaluación de 5, 10, 15 y 20 años, a fin de determinar si la capacidad instalada de la infraestructura es suficiente para la adecuada operación de la demanda vehicular.



8. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y CAJONES DE ESTACIONAMIENTO

8.1. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA SEMANAL

Una vez definida la demanda para un día típico entre semana y un día típico en fin de semana, se estima la demanda semanal potencial, obtenida a través de la sumatoria de:

- Días típicos entre semana: Expansión de las 16 horas de conteo, a 24 horas de un día típico entre semana, multiplicada por cuatro días de la semana.
- Días típicos de fin de semana: Demanda obtenida en 24 horas para un día en fin de semana, multiplicada por dos días de la semana.
- Día Domingo: De acuerdo con la experiencia de especialistas en ingeniería de tránsito, se toma el 60% de la demanda estimada para un día típico en fin de semana.

De acuerdo con lo anterior se obtiene la demanda promedio semanal estimada, tanto para la situación actual (año en curso), como para su pronóstico tomando en cuenta los factores obtenidos como se mostró en el capítulo anterior, la Tabla 8-1 muestra un ejemplo de esos resultados.



INGENIERÍA DE TRÁNSITO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA OFERTA Y LA DEMANDA DE ESTACIONAMIENTOS



Tabla 8-1. Demanda semanal en vía y pronóstico.

Tiempo duración estacionamiento ti (horas)	Proporción (%)	Demanda promedio					
		semanal 2012	semanal 2013	semanal 2018	semanal 2023	semanal 2028	semanal 2033
0.25	0.21	9,112	9,540	11,609	13,595	15,800	17,613
0.50	0.15	6,449	6,752	8,216	9,622	11,183	12,466
0.75	0.09	4,007	4,195	5,105	5,978	6,948	7,746
1.00	0.21	9,459	9,904	12,051	14,113	16,402	18,284
1.25	0.03	1,478	1,547	1,883	2,205	2,563	2,857
1.50	0.04	1,710	1,790	2,179	2,551	2,965	3,305
1.75	0.03	1,226	1,284	1,562	1,829	2,126	2,370
2.00	0.06	2,676	2,802	3,409	3,993	4,640	5,173
2.25	0.01	488	511	622	728	846	943
2.50	0.02	665	696	847	992	1,153	1,285
2.75	0.01	635	665	809	947	1,101	1,227
3.00	0.03	1,206	1,263	1,536	1,799	2,091	2,331
3.25	0.01	297	311	378	443	515	574
3.50	0.01	384	402	489	573	666	742
3.75	0.01	338	354	431	504	586	653
4.00	0.02	720	754	917	1,074	1,248	1,392
4.25	0.01	222	232	283	331	385	429
4.50	0.01	251	263	320	374	435	485
4.75	0.00	164	172	209	245	284	317
5.00	0.01	427	447	544	637	740	825
5.25	0.00	118	124	150	176	205	228
5.50	0.00	103	108	131	154	179	199
5.75	0.00	133	139	169	198	231	257
6.00	0.01	264	276	336	394	458	510
6.25	0.00	103	108	131	154	179	199
6.50	0.00	90	94	115	134	156	174
6.75	0.00	60	63	76	90	104	116
7.00	0.00	176	184	224	263	305	340
7.25	0.00	88	92	112	131	153	170
7.50	0.00	44	46	56	66	76	85
7.75	0.00	44	46	56	66	76	85
8.00	0.00	103	108	131	154	179	199
8.25	0.00	44	46	56	66	76	85
8.50	0.00	44	46	56	66	76	85
8.75	0.00	72	75	92	107	125	139
9.00	0.00	118	124	150	176	205	228
9.25	0.00	44	46	56	66	76	85
9.50	0.00	44	46	56	66	76	85
9.75	0.00	29	30	37	43	50	56
10.00	0.00	102	107	130	152	177	197
10.25	0.00	29	30	37	43	50	56
10.50	0.00	29	30	37	43	50	56
10.75	0.00	29	30	37	43	50	56
11.00	0.00	44	46	56	66	76	85
11.25	0.00	0	0	0	0	0	0
11.50	0.00	29	30	37	43	50	56
11.75	0.00	0	0	0	0	0	0
12.00	0.00	44	46	56	66	76	85
12.25	0.00	29	30	37	43	50	56
12.50	0.00	0	0	0	0	0	0
12.75	0.00	0	0	0	0	0	0
13.00	0.00	44	46	56	66	76	85
13.25	0.00	0	0	0	0	0	0
13.50	0.00	0	0	0	0	0	0
13.75	0.00	0	0	0	0	0	0
14.00	0.00	44	46	56	66	76	85
Total	1.00	44,058	46,126	56,128	65,734	76,393	85,159

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

Tomando en cuenta que es posible que la demanda captada por el proyecto sea menor a la que se presenta actualmente en vía en la zona, dado el cobro de una tarifa formal, en la siguiente tabla se presenta un ejemplo con una estimación de la demanda y su pronóstico con reducciones del 10% al 30% en la misma:

Tabla 8-2. Sensibilidad de demanda semanal en vía y pronóstico.

Disminución de la demanda	Demanda promedio semanal					
	2012	2013	2018	2023	2028	2033
	44,058	46,132	56,128	65,744	76,386	85,177
10%	39,652	41,519	50,515	59,170	68,747	76,659
20%	35,246	36,906	44,902	52,595	61,109	68,142
30%	30,841	32,292	39,290	46,021	53,470	59,624

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

8.2. DEMANDA EN VÍA PRONOSTICADA Y REQUERIMIENTO DE CAJONES

De acuerdo a los resultados que se obtienen en la tabla anterior y aplicando el factor de crecimiento más favorable para la demanda, el cual regularmente corresponde al obtenido a través de la tasa de motorización, siguiendo los mismos ejemplos, se presenta en la Tabla 8-3 los resultados para un periodo típico entre semana:

Tabla 8-3. Características de demanda en vía pronosticada y cuantificación de cajones para su atención.

Año	Demanda	Capacidad práctica (cajones requeridos por tiempo)	Ocupación periodo pico	Cajones requeridos por ocupación
2012	5,420	Superavit 187	99%	675
2013	5,669	Superavit 167	104%	708
2018	6,904	Superavit 53	126%	858
2023	8,080	Déficit 51	148%	1,008
2028	9,398	Déficit 176	172%	1,171
2033	10,480	Déficit 275	192%	1,308

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

En la segunda columna de la tabla se muestra la demanda pronosticada, con una demanda base al año 2012 de 5420 y creciendo casi al doble en el año 2033, con 10,480 usuarios.



En la tercera columna se muestra el superávit o el Déficit de cajones que se tiene respecto a la capacidad práctica que son las horas disponibles de estacionamiento en el área de estudio de acuerdo con el número de cajones (681). Como se puede observar en el año 2018, de acuerdo con el crecimiento de la demanda y contemplando la misma distribución del año 2012 respecto a la duración de los usuarios, los 681 cajones disponibles en vía serán suficientes para atender las horas de estacionamiento requeridas, en los quinquenios subsiguientes se requerirán cajones adicionales a los existentes, hasta un máximo de 257 para ofrecer en el año 2033 un total de 956 cajones.

La cuarta columna muestra la ocupación en el periodo pico, en donde para el año base 2012 es del 99%, esto significa que en el cuarto de hora que presenta la mayor demanda en el periodo de estudio, el 99% de los cajones están utilizados, en el año 2018 se tendría una ocupación del 126% por lo que se necesitarían de 177 cajones adicionales a los existentes para tener los 858 cajones requeridos de acuerdo al pronóstico.

8.2.1. Sensibilidad de requerimiento de cajones

Tomando en cuenta la posibilidad de disminución en la demanda potencial (10%, 20% y 30%) para el proyecto una vez se implemente el pago de tarifa, se realiza el cálculo de los cajones requeridos para el periodo más crítico, el ejemplo de este cálculo se muestra a continuación:

Tabla 8-4. Características de demanda en vía pronosticada y cuantificación de cajones para su atención al 90%.

Año	Demanda	Capacidad práctica (cajones requeridos por tiempo)	Ocupación periodo pico	Cajones requeridos por ocupación
2012	6,874	Superavit 230	92%	627
2013	7,196	Superavit 210	97%	661
2018	8,759	Superavit 106	118%	804
2023	10,250	Superavit 12	138%	940
2028	11,917	Déficit 101	160%	1,090
2033	13,295	Déficit 193	179%	1,219

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.



En este escenario en referencia a la capacidad práctica se tiene que hasta el año 2023, los 681 cajones disponibles en vía serán suficientes para atender las horas de estacionamiento requeridas, en los quinquenios subsiguientes se requerirán cajones adicionales, hasta un máximo de 193 para ofrecer en el año 2033 un total de 874 cajones.

La ocupación en el periodo pico en el año 2023 sería del 138% por lo que se necesitarían de 259 cajones adicionales a los existentes para tener los 940 cajones requeridos de acuerdo al pronóstico.

Tabla 8-5. Características de demanda en vía pronosticada y cuantificación de cajones para su atención al 80%.

Año	Demanda	Capacidad práctica (cajones requeridos por tiempo)	Ocupación periodo pico	Cajones requeridos por ocupación
2012	6,110	Superavit 280	82%	558
2013	6,396	Superavit 262	86%	586
2018	7,786	Superavit 170	105%	715
2023	9,111	Superavit 12	123%	838
2028	10,593	Déficit 14	142%	967
2033	11,818	Déficit 96	159%	1,083

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

En este escenario en el año 2023, los 681 cajones disponibles en vía serán suficientes para atender las horas de estacionamiento requeridas, en los quinquenios subsiguientes se requerirán cajones adicionales, hasta un máximo de 96 para ofrecer en el año 2033 un total de 777 cajones. La ocupación en el periodo pico en el año 2023 sería del 123% por lo que se requerirían 838 cajones para atender la demanda los cuales incluyen los 681 existentes.



Tabla 8-6. Características de demanda en vía pronosticada y cuantificación de cajones para su atención al 70%.

Año	Demanda	Capacidad práctica (cajones requeridos por tiempo)	Ocupación periodo pico	Cajones requeridos por ocupación
2012	5,347	Superavit 330	72%	490
2013	5,596	Superavit 314	75%	511
2018	6,812	Superavit 234	92%	627
2023	7,972	Superavit 161	107%	729
2028	9,269	Superavit 73	125%	851
2033	10,340	Superavit 1	139%	947

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

En este escenario el año 2033, los 681 cajones disponibles en vía serán suficientes para atender las horas de estacionamiento requeridas. La ocupación en el periodo pico en el año 2033 sería del 139% por lo que se requerirían 947 cajones para atender la demanda los cuales incluyen los 681 existentes.

De acuerdo con los escenarios de demanda ejemplificados anteriormente y considerando un proyecto que contempla aproximadamente 230 cajones por planta, se determina que para el año de entrada en operación serían suficientes tres niveles de estacionamiento para atender la demanda requerida en la zona de estudio, el primer nivel con 226 cajones, el segundo y tercer nivel con 232 cajones cada uno, con un total de 690 cajones, y el cuarto nivel se requería a partir del año 2018, con 232 cajones también, llegando a un total de 922 cajones de estacionamiento.

8.2.2. Cálculo de cajones por norma

Para la cuantificación de cajones por norma se utilizan las Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico, documento que establece el número de cajones por metro cuadrado que debe ofrecer un desarrollo de acuerdo con el uso del área asignado y las dimensiones mínimas requeridas para rampas, pasillos, guarniciones, cajones y otras características de orden



geométrico que se deben tener en cuenta al momento de diseñar un estacionamiento en la ciudad de México.

Dado lo anterior, la próxima tabla muestra un ejemplo de la cuantificación de cajones de acuerdo a diferentes usos de suelo que puede ofrecer cierta área rentable:

Tabla 8-7. Cuantificación de cajones por Norma.

Uso de suelo	Área rentable (m ²)	1 cajón/m ²	Cajones requeridos
Locales comerciales	3,527	40	89
Restaurante	1,966	10	197
Interlingua	443.000	25.000	18
Cine	1,972	20	99
Total Área Rentable	11,225		494

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

En este ejemplo se observa que para cumplir con la Norma, el número de cajones mínimo es de 494 cajones.

8.2.3. Cálculo de cajones por Parking Generation

Aunque ya se mencionó anteriormente como se determina este cálculo, aquí se presenta una tabla, para efectos de ejemplo, unos resultados de estimación de cajones para un uso de suelo comercial, tanto para un periodo normal como para un periodo en el mes de diciembre.

Tabla 8-8. Cuantificación de cajones mínimos por demanda para comercio.

Área (m ²)	Área (miles ft ²)	Día	No. cajones requeridos	Factor de Regionalización	No. cajones regionalizados
11224.71	120,822.77	Entre semana	334	0.269	90
		Viernes	300		81
		Sábado	314.000		85
		Domingo	272		74

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.



Tabla 8-9. Cuantificación de cajones mínimos por demanda para comercio en diciembre.

Área (m ²)	Área (miles ft ²)	Día	No. cajones requeridos	Factor de Regionalización	No. cajones regionalizados
11224.71	120,822.77	Entre semana	558	0.269	151
		Viernes	581		157
		Sábado	695.000		187
		Domingo	791		213

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

8.2.4. Cantidad mínima de cajones de estacionamiento

Tomando en cuenta que existen dos criterios para calcular el número de cajones requeridos para un proyecto y que ambos deben cumplirse para garantizar el buen funcionamiento y operatividad de estacionamiento por concepto de capacidad, se procede a seleccionar el criterio que solicite el mayor número de cajones.

De esta manera se presentan en la siguiente tabla una comparativa que permite visualizar la condición más exigente.

Tabla 8-10. Comparación de cajones requeridos por norma y por demanda (parking generation).

Metodología	Cajones requeridos
Norma Técnica Complementaria	494
Demanda Parking Generation	90
Demanda Parking Generation - diciembre	213

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

De esta comparación se encuentra que el número total de cajones solicitado por norma es mucho más alto que el requerido para atender la demanda de usuarios generada por el desarrollo en los periodos pico, al igual que es mayor a la cantidad requerida para atender una posible demanda extraordinaria (sábado de diciembre).



Debido a que el proyecto arquitectónico ofrece 494 cajones se selecciona este criterio, ya que se cumple con las necesidades de estacionamiento, tanto para una condición crítica de un sábado como para este mismo día en diciembre y así mismo con lo requerido por la norma que es el valor más alto de cajones requeridos.

8.3. PROPUESTA TARIFARIA

Como parte de la investigación que se realiza para estos estudios y como se mencionó con anterioridad, se obtiene información en los estacionamientos públicos sobre la capacidad, tarifa que aplican y si existe el servicio de pensión, la Tabla 8-11 muestra un ejemplo de los resultados que se obtienen.

Tabla 8-11. Características tarifarias de los estacionamientos.

Estacionamiento	Capacidad (Núm de cajones)	Tarifa (\$)	Pensión (\$)
1	20	20	----
2	30	20	500
3	70	12	600

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.

En la tabla se muestra el número de cajones que cada uno de los tres predios, entre todos se tiene una oferta de 120 cajones.

Tomando en cuenta el comportamiento de la demanda semanal, considerando que el 65.88% de la demanda dura una hora o menos, y realizando un promedio ponderado de las tarifas, se considera viable una tarifa horaria mínima de 16 pesos por hora y \$4 por fracción, cobrando las fracciones de la primera hora como una hora completa; duraciones iguales a 4 horas o mayores se cobrarían como día con una tarifa de \$60 pesos.



Es importante resaltar que la tarifa recomendada corresponde al análisis del mercado actual y deberá ser ajustada de acuerdo al modelo financiero que se tenga.

Tomando en cuenta la tarifa recomendada y la demanda estimada tanto en el 2012 como en su pronóstico al 2013, al igual que la posible disminución de la demanda potencial por el cobro de la tarifa, se obtienen los ingresos relacionados pronosticados que se muestran en la Tabla 8-12.

Tabla 8-12. Ingreso semanal promedio estimado.

Año	Demanda al			
	100%	90%	80%	70%
2012	\$2,327,786	\$2,095,007	\$1,862,229	\$1,629,420
2013	\$2,437,425	\$2,193,683	\$1,949,940	\$1,706,198

Fuente: Cal y Mayor y Asociados.



9. CONCLUSIONES

- Un proyecto donde se analice la demanda y el diseño de estacionamientos requiere indispensablemente de estudios de campo, con el fin de basarse en elementos y datos reales, más no sólo estadísticos, ya que la demanda que se obtiene de estos datos reales es la que determinará qué tan factible o no es la implementación de un nuevo estacionamiento.
- Es evidente que va en aumento los usuarios que utilizan un automóvil en comparación con los que prefieren usar otros medios de traslado, como puede ser caminar, usar bicicleta, usar transporte público, es por ello, que cada vez se requieren más espacios donde se puedan estacionar estos nuevos usuarios, es aquí donde radica la importancia de proyectar e implementar nuevos proyectos de estacionamiento o en su defecto, optimizar los estacionamientos ya existentes en la actualidad.
- Los parámetros que se obtienen de los estudios de campo (rotación, ocupación y permanencia) se utilizan principalmente para determinar la importancia o necesidad de crear un estacionamiento nuevo, ya que muchas veces no son factibles dichos proyectos, es por ello, que estos parámetros ayudan a determinar cuántos posibles usuarios serán atraídos, cuánto tiempo aproximadamente utilizarán un lugar de estacionamiento y por ende, proponer rangos de tiempo para establecer un cuadro tarifario que satisfaga el análisis presupuestal del dueño del proyecto.



BIBLIOGRAFÍA

- Cal y Mayor, Rafael y Cárdenas, James. Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones. 8ª edición. México. Alfaomega, 2007.
- Estudios de ingeniería de tránsito, Empresa Cal y Mayor y Asociados, 2013.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Censo de población y vivienda 2010.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal, Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico, Sección Segunda, Capítulo 1.2 Estacionamientos. México, 2011.
- Institute of Transportation Engineers (ITE). Parking Generation Manual, 3ra edición, Estados Unidos, ITE, 2004.
- <http://industriaautomotrizdevenezuela.com/blog/2009/03/23/parque-automotor-mundial-1000-millones-de-vehiculos-para-el-ano-2010/>; Datos estadísticos de Estados Unidos.
- www.inegi.org.mx; Datos estadísticos de México.