

Estado Libre Asociado de Puerto Rico  
Departamento de Transportación y Obras Públicas  
**AUTORIDAD DE CARRETERAS Y TRANSPORTACIÓN**

# GUÍAS PARA LA PREPARACIÓN DE ESTUDIOS OPERACIONALES DE ACCESOS Y DE TRÁNSITO PARA PUERTO RICO

22 de diciembre de 2004

## TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
	1. Propósito .....	1
II.	DEFINICIONES .....	2
III.	DETERMINACIÓN DE LA PREPARACIÓN DE UN ESTUDIO .....	3
	1. Zona metro .....	4
	2. Zona isla .....	4
	3. Valores mínimos para estudios de accesos .....	5
	4. Valores mínimos para estudios de tránsito .....	5
IV.	ESTUDIO DE ACCESOS .....	6
	1. Requisitos .....	6
	2. Contenido mínimo del estudio .....	7
	3. Análisis condición existente .....	8
	4. Análisis condición con proyecto .....	9
	5. Alternativas viables .....	10
V.	ESTUDIO DE TRÁNSITO .....	10
	1. Requisitos .....	11
	2. Contenido mínimo del estudio .....	12
	3. Análisis condición existente .....	16
	4. Análisis condición con proyecto .....	17
	5. Alternativas viables .....	17
	FIGURAS Y TABLAS .....	20
	APÉNDICE .....	21
	BIBLIOGRAFÍA .....	28
	RECONOCIMIENTO .....	29

## I. INTRODUCCIÓN

La Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT) tiene la responsabilidad de evaluar los proyectos de construcción pública o privada en los límites de la servidumbre de las carreteras y determinar el impacto de estas obras, de manera que contribuyamos a un desarrollo urbano ordenado, en armonía con el plan vial propuesto para la Isla.

La Agencia reconoce la relación que existe entre un desarrollo propuesto y su posible impacto en el sistema vial. Para determinar el alcance del impacto, la Oficina de Control de Accesos requiere unos estudios operacionales de desarrollos residenciales, industriales y comerciales, entre otros usos, para recopilar y analizar los datos de tránsito relacionados con los accesos y otras obras propuestas.

Este documento brinda a los profesionales de la transportación una útil herramienta para determinar el tipo de estudio a realizarse y las especificaciones técnicas que deben incluirse. A la vez, facilita el proceso de evaluación de los desarrollos propuestos, en términos de su impacto en el flujo vehicular en cada región.

### **Propósito y objetivos:**

Propósito primordial: Estas guías proveerán una herramienta que indique el tipo de estudio que deberá realizarse y el contenido mínimo a incluirse en el mismo para desarrollos que necesitan endosos para la localización de sus accesos en el sistema vial, considerando el tránsito a generarse por el proyecto y el existente.

Objetivos generales:

1. Indicar la necesidad de un estudio operacional para ciertos usos por zona metro o isla en Puerto Rico.
2. Proveerle a los consultores valores permitidos en el impacto a la demora promedio al comparar la condición existente con la del proyecto.
3. Facilitarle al personal de la Oficina de Ingeniería de Tránsito de la ACT el proceso de evaluación de los estudios.

## II. DEFINICIONES

Los siguientes términos, dondequiera que se utilicen o se haga referencia a ellos, tendrán el significado que a continuación se expresa:

1. Acceso (intersección) – está caracterizado por un grupo de carriles en una dirección de la intersección, incluyendo los movimientos a la izquierda, recto y a la derecha.
2. ADT – “Average Daily Traffic”, tránsito promedio diario en una facilidad de una carretera.
3. Área de estudio – área geográfica que contiene las intersecciones y segmentos más críticos de una carretera, los cuales se esperan sean afectados por el tránsito a ser generado por el desarrollo.
4. Ciclo – el período de tiempo requerido para una secuencia completa de indicaciones del semáforo.
5. Desarrollo – proyectos residenciales, comerciales, de oficinas, de hospederías e industriales, entre otros, que serán construidos en un predio de terreno sin desarrollar o que forman parte de una reconstrucción o expansión de una edificación existente.
6. Día típico – un martes, miércoles o jueves durante los días de clase entre los meses de enero a mayo y de agosto a diciembre. Para los usos comerciales, el sábado podrá incluirse entre los días típicos.
7. Estudio operacional – el análisis del impacto potencial al tránsito causado por un desarrollo propuesto. Este tipo de estudio dependerá del tipo y tamaño del proyecto. Para propósitos de este documento, un estudio operacional consistirá de un estudio de accesos o un estudio de tránsito.
8. Factor de hora pico – una medida de la fluctuación en la demanda vehicular dentro de la hora pico.
9. Fase – una parte del ciclo asignado a un movimiento de tránsito que tenga el derecho de paso o a una combinación de movimientos de tránsito que tengan simultáneamente el derecho de paso durante uno o más intervalos.
10. Hora pico – un período de una hora durante la mañana (AM) o durante la tarde (PM) que representa el volumen de tránsito más

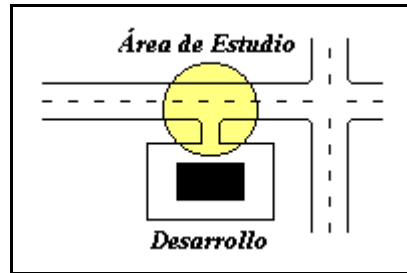
alto en el sistema, resultado de la suma de los volúmenes de cuatro (4) períodos de quince (15) minutos consecutivos.

11. Modelos de microsimulación – modelos que simulan el movimiento individual de vehículos, basados en teorías de cambio de carril, dirección de los vehículos y forma de conducir.
12. Nivel de servicio (“Level of Service” - LOS) – una medida cualitativa que describe las condiciones operacionales de un componente del sistema de transportación. Generalmente descrito por los siguientes factores: velocidad, tiempo de viaje, demora, interrupciones en el tránsito y seguridad.
13. Semáforo actuado – un tipo de sistema de semáforos mediante el cual se varían los intervalos de tiempo de acuerdo con las demandas del tránsito registradas por la actuación de los detectores localizados en el pavimento de rodaje.
14. Semáforo semiactuado – un tipo de sistema de semáforos donde los detectores son colocados en los accesos de menor flujo vehicular para permitirle prioridad de verde a los accesos principales.
15. Semáforo de tiempo fijo – un tipo de sistema de semáforos que opera con programas predeterminados de ciclos en intervalos.
16. Volumen – el número de personas o vehículos pasando por un punto de un carril o un segmento de carretera durante cierto intervalo de tiempo.

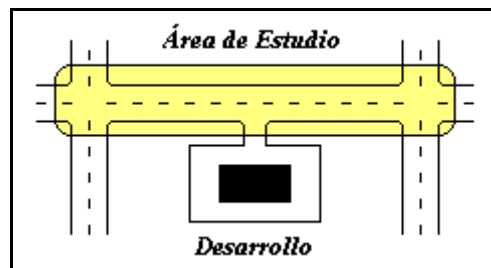
### III. DETERMINACIÓN DE LA PREPARACIÓN DEL ESTUDIO

Un estudio operacional será requerido y deberá ser entregado por el proponente del proyecto para la aprobación de los accesos que formarán parte del desarrollo. El estudio solicitado podrá ser un estudio de accesos o un estudio de tránsito.

Estudio de accesos es aquel recomendable para proyectos pequeños, los cuales podrán tener un impacto significativo en las intersecciones formadas por los accesos propuestos y no, necesariamente, en el sistema vial.



Estudio de tránsito es aquel que incluye la evaluación operacional de las intersecciones formadas por los accesos propuestos y por las intersecciones más importantes que están localizadas cerca del desarrollo.



El estudio de accesos o de tránsito dependerá del tipo y tamaño del desarrollo propuesto y de las condiciones existentes del tránsito en el área de estudio. Otra condición que determinará el tipo de estudio a realizarse es la localización del desarrollo. Para propósitos de estas guías, se dividió a Puerto Rico en dos zonas: la zona metro y la zona isla.

Zona metro estará compuesta por los siguientes municipios: San Juan, Guaynabo, Bayamón, Cataño, Toa Baja, Toa Alta, Dorado, Naranjito, Trujillo Alto, Carolina, Loíza, Canóvanas, Río Grande, Mayagüez, Ponce, Caguas, Aguadilla, Arecibo, Humacao y Guayama.

Zona isla estará compuesta por el resto de los municipios que no fueron incluidos en la zona metro.

Las Tablas I y II presentan los valores establecidos por uso y por zona para la preparación de un estudio de accesos o un estudio de tránsito, respectivamente. Un desarrollo con menos unidades de vivienda, número de habitaciones o área en pies cuadrados que el valor mínimo de la Tabla I, no requerirá la preparación de un estudio operacional. Para los desarrollos que se construyan en los municipios de la zona isla, pero que colinden o utilicen como corredor principal las carreteras PR-1, PR-2, PR-3, PR-22, PR-52, PR-30 y PR-53, les aplicarán los valores mínimos y máximos de la zona metro y no los de la zona isla.

Tabla I. Valores mínimos y máximos por uso y por zona para la preparación de un estudio de accesos<sup>1</sup>.

<b>USO</b>	<b>ZONA METRO</b>	<b>ZONA ISLA</b>
<i>Residencial</i>	<i># total unidades de vivienda</i>	
Viviendas unifamiliares, "townhouses"	50 – 99	75 – 149
Apartamentos, condominios, "walk-ups"	80 – 149	120 – 199
<i>Hospederías</i>	<i># habitaciones</i>	
Hoteles, "resorts"	70 – 139	125 – 199
<i>Comercial</i>	<i>Área bruta de alquiler (pies<sup>2</sup>)</i>	
Centros comerciales, tiendas por departamentos, "factory outlets"	10,000 – 24,999	25,000 – 49,999
<i>Oficinas</i>	<i>Área bruta de piso de construcción (pies<sup>2</sup>)</i>	
Edificios de oficinas en general	25,000 – 49,999	35,000 – 69,999
<i>Industrial</i>	<i>Área bruta de piso de construcción (pies<sup>2</sup>)</i>	
Parques industriales, farmacéuticas	50,000 – 99,999	70,000 – 124,999
Empresas manufactureras	70,000 – 124,999	90,000 – 159,999

Tabla II. Valores mínimos por uso y por zona para la preparación de un estudio de tránsito<sup>1</sup>.

<b>USO</b>	<b>ZONA METRO</b>	<b>ZONA ISLA</b>
<i>Residencial</i>	<i># total unidades de vivienda</i>	
Viviendas unifamiliares, "townhouses"	100	150
Apartamentos, condominios, "walk-ups"	150	200
<i>Hospederías</i>	<i># habitaciones</i>	
Hoteles, "resorts"	140	200
<i>Comercial</i>	<i>Área bruta de alquiler (pies<sup>2</sup>)</i>	
Centros comerciales, tiendas por departamentos, "factory outlets"	25,000	50,000
<i>Oficinas</i>	<i>Área bruta de piso de construcción (pies<sup>2</sup>)</i>	
Edificios de oficinas en general	50,000	70,000
<i>Industrial</i>	<i>Área bruta de piso de construcción (pies<sup>2</sup>)</i>	
Parques industriales, farmacéuticas	100,000	125,000
Empresas manufactureras	125,000	160,000

<sup>1</sup> Valores obtenidos del Manual de Generación de Viajes – ITE (versión 6). Un uso diferente a los presentados en las Tablas I y II debe ser consultado con el personal de la División de Estudios de Tránsito para conocer si es necesaria la preparación de un estudio operacional.

#### **IV. ESTUDIO DE ACCESOS**

Un estudio de accesos es aquel que se deberá preparar si la cantidad de unidades o el área en pies cuadrados se encuentra entre los valores establecidos en la Tabla I. Este tipo de estudio incluirá el análisis operacional de las intersecciones formadas por los accesos propuestos con las carreteras existentes. De ser necesario, análisis de entrecruce podrían formar parte de un estudio de accesos.

##### *Requisitos*

1. Los análisis operacionales de las intersecciones y de entrecruce pueden realizarse con programas de computadora que se basen en los procedimientos descritos en el Manual de Capacidad de Carreteras (“Highway Capacity Manual” – HCM), edición más reciente.
2. El largo de ciclo para una intersección semaforizada no puede ser menor de sesenta (60) segundos para el área rural y de noventa (90) segundos para el área urbana.
3. El análisis de una intersección semaforizada que forme parte de un sistema coordinado deberá ser realizado con el largo de ciclo y tiempos de verde de las fases similares al utilizado por el Departamento de Transportación y Obras Públicas. Esta información puede ser obtenida manualmente en el campo o solicitándola en dicho Departamento.
4. Los conteos vehiculares no pueden ser más viejos de un (1) año, previo a la fecha que el reporte es recibido en la Oficina de Control de Accesos de la Autoridad.
5. Los conteos vehiculares serán realizados solamente en días típicos de la semana, según se explica en la sección de definiciones de este documento. Conteos realizados en días no típicos, especialmente en verano, que sean modificados con factores de ADT (obtenidos de la Oficina de Análisis y Recopilación de Tránsito) serán verificados y validados por personal de la Autoridad. La fuente de información de los factores de ADT debe ser presentada en el estudio.
6. El factor de hora pico (“Peak Hour Factor” – PHF) en los análisis de la condición existente deberá ser calculado por movimiento para los diferentes accesos con la información recopilada de los volúmenes.



7. El impacto en la operación de una carretera a causa de la generación de viajes del proyecto no debe ser mayor a las establecidas en las Tablas III y IV. De lo contrario, deberán proveerse alternativas viables para el área de estudio a ser evaluadas por personal de la Autoridad. Por ejemplo, una intersección semaforizada con nivel de servicio A en la condición existente debe ser evaluada con alternativas viables si la diferencia entre la demora promedio de ambos escenarios (condición con proyecto menos condición existente) sobrepasa el límite presentado en la Tabla III, 20 seg/veh.

Tabla III. Impacto en la demora promedio para una intersección semaforizada.

Nivel de Servicio condición existente	Demora promedio permitida condición con proyecto
A	20 seg/veh adicional
B	20 seg/veh adicional
C	15 seg/veh adicional
D	15 seg/veh adicional
E	La demora promedio no debe ser $\geq 80$ seg/veh
F	Proveer alternativas viables automáticamente

Tabla IV. Impacto en la demora promedio para una intersección no semaforizada.

Nivel de Servicio condición existente	Demora promedio permitida condición con proyecto
A	15 seg/veh adicional
B	15 seg/veh adicional
C	10 seg/veh adicional
D	10 seg/veh adicional
E	La demora promedio no debe ser $\geq 50$ seg/veh
F	Proveer alternativas viables automáticamente

*Contenido mínimo* – formato a seguir en la preparación de un estudio de accesos

1. Descripción del desarrollo – presentar en forma escrita y gráfica (mapa topográfico y/o foto aérea) la localización del desarrollo junto a una breve explicación del uso y tamaño.

2. Parámetros del análisis – presentar los siguientes parámetros:
  - a. Área de estudio – se analizarán todas las intersecciones formadas por los accesos propuestos, incluyendo aquellas formadas por accesos de servicio.
  - b. Escenarios a evaluarse – se evaluarán la condición existente (presente) y la condición con proyecto al año estimado de apertura y ocupación completa.
  - c. Días típicos
  - d. Horas pico
3. Matriz del estudio – presentar en forma de tabla el nombre del archivo del programa utilizado para cada escenario evaluado.

Tabla V. Ejemplo de matriz del estudio.

Intersección	Condición existente		Condición al año de apertura	
	<i>Hora Pico AM</i>	<i>Hora Pico PM</i>	<i>Hora Pico AM</i>	<i>Hora Pico PM</i>
1	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo
2	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo

4. Análisis de condición existente (sin proyecto en el presente)
  - a. Volúmenes tabulados – deben ser presentados en forma gráfica o tabulada por hora pico y por movimiento. Recomendamos que este valor sea el valor más alto entre las sumas de los cuatro (4) períodos de quince (15) minutos consecutivos. (Ver Ejemplo 1 en el Apéndice I)
  - b. Geometría de las intersecciones analizadas en forma gráfica incluyendo los siguientes parámetros: (Ver Ejemplo 2 en el Apéndice I)
    - Número y ancho de carriles
    - Largo de carriles SOLO, de aceleración o deceleración
    - Existencia de estacionamientos paralelos y paradas de autobuses
    - Existencia de cruces de peatones
    - Pendientes (%)

- Velocidad reglamentada
- c. Control de la intersección – indicar si las intersecciones son semaforizadas o no semaforizadas. (Ver Ejemplo 3 en el Apéndice I)
  - Semaforizada – deben ilustrarse en forma gráfica o escrita el sistema de fases, los tiempos de verde de cada fase, el largo de ciclo y si el sistema de semáforos es actuado, semiactuado o de tiempo fijo. Para la condición existente los tiempos analizados deberán ser similares a los utilizados en el campo.
  - No semaforizada – debe ilustrarse en forma gráfica o escrita la localización de los rótulos de control (PARE o CEDA).
- d. Análisis de capacidad – presentar en forma escrita y tabulada los resultados de los análisis operacionales. (Ver Ejemplo 4 en el Apéndice I)
  - Por carril o grupo de carriles – incluir resultados de nivel de servicio, de demora promedio y de largo de cola promedio.
  - Por acceso – incluir resultados de nivel de servicio, de demora promedio y de largo de cola promedio.
  - Por intersección – incluir resultado de nivel de servicio y de demora promedio.
- 5. Análisis de condición con proyecto al año estimado de apertura y ocupación completa
  - a. Volúmenes tabulados – deben ser presentados en forma gráfica o tabulada por hora pico y por movimiento incluyendo:
    - Viajes generados por el desarrollo propuesto
    - Proyección del flujo vehicular no asociado al desarrollo (el % de crecimiento anual en diferentes carreteras puede ser obtenido en la Oficina de Recopilación y Análisis de Tránsito de la Autoridad)
    - Viajes generados por otros proyectos en el área de estudio que se encuentren en la fase de construcción o que cuenten con el permiso de construcción (si aplica)

- b. Geometría de las intersecciones con el diseño del acceso o de los accesos propuestos incluyendo los parámetros mencionados en el punto 4b.
  - c. Control de la intersección – ver como referencia el punto 4c.
  - d. Análisis de capacidad – ver como referencia el punto 4d.
6. Análisis de alternativas viables si los resultados de la condición con proyecto no cumplen con los valores presentados en las Tablas III y IV – escenarios que consisten de cambios en el sistema de fases del semáforo, instalación de sistema de semáforos, cambios geométricos o reducción en el número de unidades o pies cuadrados del desarrollo, entre otros, para incrementar la operación de la intersección analizada. Deben proveerse en forma escrita y/o gráfica la descripción de los cambios sugeridos y los resultados del análisis de capacidad.
  7. Discusión de los resultados – presentar en forma escrita un resumen, comparación e interpretación de los resultados obtenidos.
  8. Conclusiones y recomendaciones
  9. Certificación de la validez de los datos – el estudio debe ser certificado con el número de licencia y la firma del profesional encargado de la preparación del estudio.
  10. Apéndices
    - a. Material crudo de los conteos vehiculares realizados cada quince (15) minutos por un período de doce (12) horas.
    - b. Impresión y copia digital de las corridas del programa para cada escenario estudiado.
    - c. Fotos de las intersecciones analizadas.

## **V. ESTUDIO DE TRÁNSITO**

Un estudio de tránsito es aquel que se deberá preparar si la cantidad de unidades o el área en pies cuadrados es igual o mayor a los establecidos en la Tabla II. Este tipo de estudio incluirá el análisis operacional de las intersecciones formadas por los accesos propuestos y las intersecciones más importantes en el área. De ser necesario, análisis de entrecruce podrían formar parte de un estudio de tránsito.

### *Requisitos*

1. Si el espaciamiento entre dos intersecciones es mayor de ochocientos (800) metros, los análisis operacionales pueden ser realizados con programas de computadora que estén basados en los procedimientos descritos en el Manual de Capacidad de Carreteras (“Highway Capacity Manual” – HCM), edición más reciente. De lo contrario, si el espaciamiento entre las intersecciones es igual o menor de ochocientos (800) metros, los análisis operacionales deben ser realizados por medio de programas que permitan coordinación y optimización de sistemas de semáforos o modelos de microsimulación.
2. El largo de ciclo para una intersección semaforizada no puede ser menor de sesenta (60) segundos para el área rural y de noventa (90) segundos para el área urbana.
3. Los análisis de una intersección que forme parte de un sistema coordinado deberán ser realizado con el largo de ciclo y tiempos de verde de las fases, similares al utilizado por el Departamento de Obras Públicas y Transportación. Esta información puede ser obtenida manualmente en el campo o solicitándola en el Departamento.
4. Los conteos vehiculares no pueden ser más viejos de un (1) año, previo a la fecha que el reporte es recibido en la Oficina de Control de Accesos de la Autoridad.
5. Los conteos vehiculares serán realizados solamente en días típicos de la semana, según se explica en la sección de definiciones de este documento. Conteos realizados en días no típicos, especialmente en verano, que sean modificados con factores de ADT (obtenidos de la Oficina de Análisis y Recopilación de Tránsito) serán verificados y validados por personal de la Autoridad. La fuente de información de los factores de ADT debe ser presentada en el estudio.
6. El factor de hora pico (“Peak Hour Factor” – PHF) en los análisis de la condición existente deberá ser calculado por movimiento para los diferentes accesos con la información recopilada de los volúmenes.
7. El impacto en la operación de una carretera a causa de la generación de viajes del proyecto no debe ser mayor a las establecidas en las Tablas VI y VII. De lo contrario, deberán proveerse alternativas viables para el área de estudio a ser

evaluadas por personal de la Autoridad. Por ejemplo, una intersección semaforizada con nivel de servicio A en la condición existente debe ser evaluada con alternativas viables si la diferencia entre la demora promedio de ambos escenarios (condición con proyecto menos condición existente) sobrepasa el límite presentado en la Tabla VI, 20 seg/veh.

Tabla VI. Impacto en la demora promedio para una intersección semaforizada.

Nivel de Servicio condición existente	Demora promedio permitida condición con proyecto
A	20 seg/veh adicional
B	20 seg/veh adicional
C	15 seg/veh adicional
D	15 seg/veh adicional
E	La demora promedio no debe ser $\geq 80$ seg/veh
F	Proveer alternativas viables automáticamente

Tabla VII. Impacto en la demora promedio para una intersección no semaforizada.

Nivel de Servicio condición existente	Demora promedio permitida condición con proyecto
A	15 seg/veh adicional
B	15 seg/veh adicional
C	10 seg/veh adicional
D	10 seg/veh adicional
E	La demora promedio no debe ser $\geq 50$ seg/veh
F	Proveer alternativas viables automáticamente

*Contenido mínimo* – formato a seguir en la preparación de un estudio de tránsito

1. Descripción del desarrollo – presentar en forma escrita y gráfica (mapa topográfico y/o foto aérea) la localización del desarrollo junto a una breve explicación del uso y tamaño.
2. Parámetros del análisis – presentar los siguientes parámetros:
  - a. Área de estudio – a ser seleccionada por el profesional que prepare el estudio. Sugerimos que se incluyan las

intersecciones formadas por los accesos propuestos junto a las intersecciones más importantes en la zona.

- b. Escenarios a evaluarse – se evaluarán la condición existente (presente) y los identificados por uso y tamaño del desarrollo en las Tablas VIII-XII. Nota: Para los desarrollos en la zona isla, pero que colinden o utilicen como corredor principal las carreteras PR-1, PR-2, PR-3, PR-22, PR-52, PR-30 y PR-53, les aplicarán los valores mínimos y máximos de la zona metro y no los de la zona isla.
- c. Días típicos
- d. Horas pico

Tabla VIII. Escenarios de estudio para uso residencial.

<b>VIVIENDA UNIFAMILIAR / "TOWNHOUSE"</b>			
<i>Tamaño del Desarrollo</i>	<i>Zona Metro (# unidades)</i>	<i>Zona Isla (# unidades)</i>	<i>Escenario(s) de Estudio</i>
Pequeño	≥ 100 - < 300	≥ 150 - < 450	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa.
Moderado	≥ 300 - < 800	≥ 450 - < 1,200	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Cinco (5) años después de la apertura.
Grande	≥ 800	≥ 1,200	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Diez (10) años después de la apertura.
<b>APARTAMENTO / CONDOMINIO / "WALK-UP"</b>			
<i>Tamaño del Desarrollo</i>	<i>Zona Metro (# unidades)</i>	<i>Zona Isla (# unidades)</i>	<i>Escenario(s) de Estudio</i>
Pequeño	≥ 150 - < 475	≥ 200 - < 675	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa.
Moderado	≥ 475 - < 1,275	≥ 675 - < 1,850	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Cinco (5) años después de la apertura.
Grande	≥ 1,275	≥ 1,850	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Diez (10) años después de la apertura.

Tabla IX. Escenarios de estudio para uso de hospederías.

<b>HOTEL / "RESORT"</b>			
<i>Tamaño del Desarrollo</i>	<i>Zona Metro (# habitaciones)</i>	<i>Zona Isla (# habitaciones)</i>	<i>Escenario(s) de Estudio</i>
Pequeño	≥ 140 - < 400	≥ 200 - < 750	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa.
Moderado	≥ 400 - < 1,125	≥ 750 - < 2,050	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Cinco (5) años después de la apertura.
Grande	≥ 1,125	≥ 2,050	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Diez (10) años después de la apertura.

Tabla X. Escenarios de estudio para uso comercial.

<b>CENTRO COMERCIAL</b>			
<i>Tamaño del Desarrollo</i>	<i>Zona Metro (pies<sup>2</sup>)</i>	<i>Zona Isla (pies<sup>2</sup>)</i>	<i>Escenario(s) de Estudio</i>
Pequeño	≥ 25,000 - < 75,000	≥ 50,000 – < 150,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa.
Moderado	≥ 75,000 - < 200,000	≥ 150,000 – < 400,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Cinco (5) años después de la apertura.
Grande	≥ 200,000	≥ 400,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Diez (10) años después de la apertura.



Tabla XI. Escenarios de estudio para uso de oficinas.

<b>EDIFICIO DE OFICINAS</b>			
<i>Tamaño del Desarrollo</i>	<i>Zona Metro (pies<sup>2</sup>)</i>	<i>Zona Isla (pies<sup>2</sup>)</i>	<i>Escenario(s) de Estudio</i>
Pequeño	≥ 50,000 - < 175,000	≥ 70,000 - < 200,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa.
Moderado	≥ 175,000 - < 500,000	≥ 200,000 - < 575,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Cinco (5) años después de la apertura.
Grande	≥ 500,000	≥ 575,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Diez (10) años después de la apertura.

Tabla XII. Escenarios de estudio para uso industrial.

<b>PARQUE INDUSTRIAL / FARMACÉUTICA</b>			
<i>Tamaño del Desarrollo</i>	<i>Zona Metro (pies<sup>2</sup>)</i>	<i>Zona Isla (pies<sup>2</sup>)</i>	<i>Escenario(s) de Estudio</i>
Pequeño	≥ 100,000 - < 325,000	≥ 125,000 - < 400,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa.
Grande	≥ 325,000	≥ 400,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Cinco (5) años después de la apertura.
<b>MANUFACTURERA</b>			
<i>Tamaño del Desarrollo</i>	<i>Zona Metro (pies<sup>2</sup>)</i>	<i>Zona Isla (pies<sup>2</sup>)</i>	<i>Escenario(s) de Estudio</i>
Pequeño	≥ 125,000 - < 400,000	≥ 160,000 - < 525,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa.
Grande	≥ 400,000	≥ 525,000	1. Año esperado de apertura; presumiendo operación y ocupación completa. 2. Cinco (5) años después de la apertura.

3. Matriz del estudio – presentar en forma tabulada el nombre del archivo del programa utilizado para cada escenario evaluado.

Tabla XIII. Ejemplo de matriz del estudio.

Intersección	Condición existente		Condición al año de apertura		Condición a 5 ó 10 años	
	<i>Hora Pico AM</i>	<i>Hora Pico PM</i>	<i>Hora Pico AM</i>	<i>Hora Pico PM</i>	<i>Hora Pico AM</i>	<i>Hora Pico PM</i>
1	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo
2	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo	Nombre del archivo

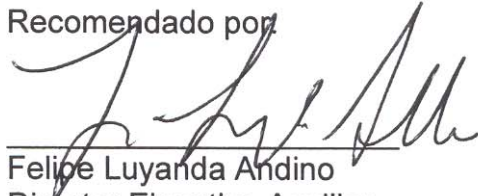
4. Análisis de condición existente (sin proyecto en el presente)
- a. Volúmenes tabulados – deben ser presentados en forma gráfica o tabulada por hora pico y por movimiento. Recomendamos que este valor sea el valor más alto entre las sumas de los cuatro (4) períodos de quince (15) minutos consecutivos. (Ver Ejemplo 1 en el Apéndice I)
  - b. Geometría de las intersecciones analizadas en forma gráfica incluyendo los siguientes parámetros: (Ver Ejemplo 2 en el Apéndice I)
    - Número y ancho de carriles
    - Largo de carriles SOLO, de aceleración o deceleración
    - Existencia de estacionamientos paralelos y paradas de autobuses
    - Existencia de cruces de peatones
    - Pendientes (%)
    - Velocidad reglamentada
  - c. Control de la intersección – indicar si las intersecciones son semaforizadas o no semaforizadas. (Ver Ejemplo 3 en el Apéndice I)
    - Semaforizada – deben ilustrarse en forma gráfica o escrita el sistema de fases, los tiempos de fases, el largo de ciclo y si el sistema de semáforos es actuado, semiactuado o de tiempo fijo. Para la condición existente los tiempos analizados deberán ser parecidos a los utilizados en el campo.

- No semaforizada – debe ilustrarse en forma gráfica o escrita la localización de los rótulos de control (PARE o CEDA).
- d. Análisis de capacidad – presentar en forma escrita y tabulada los resultados de los análisis operacionales. (Ver Ejemplo 4 en el Apéndice I)
  - Por carril o grupo de carriles – incluir resultados de nivel de servicio, de demora promedio y de largo de cola promedio.
  - Por acceso – incluir resultados de nivel de servicio, de demora promedio y de largo de cola promedio.
  - Por intersección – incluir resultado de nivel de servicio y de demora promedio.
- 5. Análisis de escenarios con proyecto recomendados por las Tablas VIII – XII.
  - a. Volúmenes tabulados – deben ser presentados en forma gráfica o tabulada por hora pico y por movimiento incluyendo:
    - Viajes generados por el desarrollo propuesto
    - Proyección del flujo vehicular no asociado al desarrollo (el % de crecimiento anual en diferentes carreteras puede ser obtenido en la Oficina de Recopilación y Análisis de Tránsito de la Autoridad)
    - Viajes generados por otros proyectos en el área de estudio que se encuentren en la fase de construcción o que cuenten con el permiso de construcción (si aplica)
  - b. Geometría de las intersecciones con el diseño del acceso o de los accesos propuestos incluyendo los parámetros mencionados en el punto 4b. En las intersecciones existentes y que no sufran cambios geométricos o en el control (semáforo) deben hacer referencia a la geometría presentada en la condición existente.
  - c. Control de la intersección – ver como referencia el punto 4c.
  - d. Análisis de capacidad – ver como referencia el punto 4d.
- 6. Análisis de alternativas viables si los resultados de la condición con proyecto no cumplen con los valores presentados en las Tablas VI

y VII – escenarios que consisten de cambios en el sistema de fases del semáforo, instalación de sistema de semáforos, cambios geométricos o reducción en el número de unidades o pies cuadrados del desarrollo, entre otros, para incrementar la operación en las intersecciones analizadas. Deben proveerse en forma escrita y/o gráfica la descripción de los cambios sugeridos y los resultados del análisis de capacidad.

7. Discusión de los resultados – presentar en forma escrita un resumen, comparación e interpretación de los resultados obtenidos.
8. Conclusiones y recomendaciones
9. Certificación de la validez de los datos – el estudio debe ser certificado con el número de licencia y la firma del profesional encargado de la preparación del estudio.
10. Apéndices
  - a. Material crudo de los conteos vehiculares realizados cada quince (15) minutos por un período de doce (12) horas.
  - b. Impresión y copia digital de las corridas del programa para cada escenario estudiado.
  - c. Fotos de las intersecciones analizadas.

Recomendado por:



Felipe Luyanda Andino  
Director Ejecutivo Auxiliar  
para Tránsito y Autopistas

Aprobado por:



Jack T. Allison Fincher  
Director Ejecutivo  
Autoridad de Carreteras y  
Transportación



Fernando E. Fagundo Fagundo  
Secretario  
Departamento de Transportación  
y Obras Públicas

**LISTA DE FIGURAS**

1. Estudio de Accesos	4
2. Estudio de Tránsito	4

**LISTA DE TABLAS**

1. Valores mínimos y máximos por uso y por zona para la preparación de un estudio de accesos	5
2. Valores mínimos por uso y por zona para la preparación de un estudio de tránsito	5
3. Impacto en la demora promedio para una intersección semaforizada en estudio de accesos	7
4. Impacto en la demora promedio para una intersección no semaforizada en estudio de accesos	7
5. Ejemplo de matriz del estudio de accesos	8
6. Impacto en la demora promedio para una intersección semaforizada en estudio de tránsito	12
7. Impacto en la demora promedio para una intersección no semaforizada en estudio de tránsito	12
8. Escenarios de estudio para uso residencial	13
9. Escenarios de estudio para uso de hospederías	14
10. Escenarios de estudio para uso comercial	14
11. Escenarios de estudio para uso de oficinas	15
12. Escenarios de estudio para uso industrial	15
13. Ejemplo de matriz del estudio de tránsito	16

**APÉNDICE I: EJEMPLOS DE TABLAS Y FIGURAS.**

**EJEMPLO 1:**

Tabla. Volúmenes para la Hora Pico AM (6:00 - 7:00).

Acceso	Movimiento	Volumen (vph)
PR – 3 Oeste	Izquierda	125
	Recto	250
	Derecha	125
PR-9999 Sur	Izquierda	70
	Recto	100
	Derecha	70
PR – 3 Este	Izquierda	120
	Recto	250
	Derecha	120
PR-9999 Norte	Izquierda	50
	Recto	100
	Derecha	50

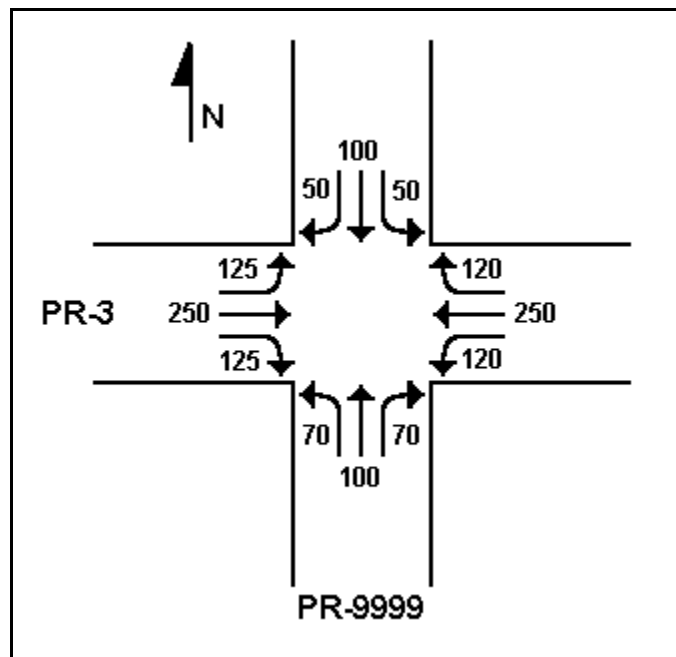


Figura. Volúmenes para la Hora Pico AM (6:00 - 7:00).

**EJEMPLO 2:**

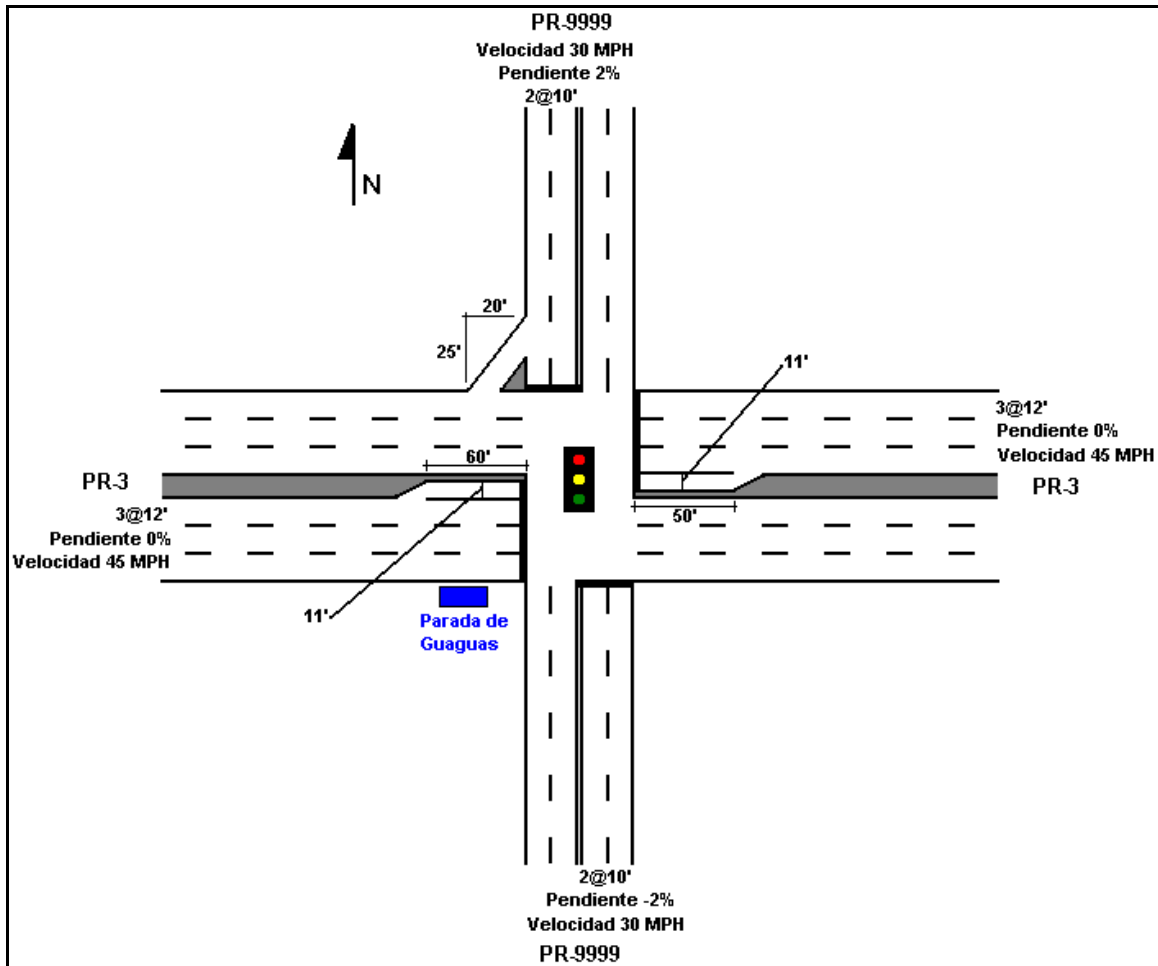
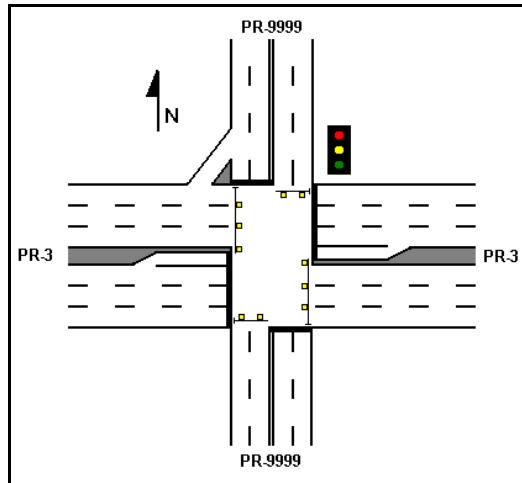

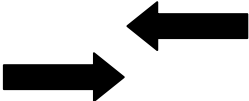
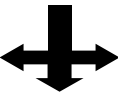
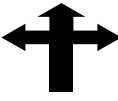


Figura. Geometría de la Intersección PR-3 con PR-999, Condición Existente.



**EJEMPLO 3:**



			
<b>TIEMPO DE VERDE 10 SEG.</b>	<b>TIEMPO DE VERDE 30 SEG.</b>	<b>TIEMPO DE VERDE 15 SEG.</b>	<b>TIEMPO DE VERDE 15 SEG.</b>

**TIEMPO DE AMARILLO = 3 SEGUNDOS, TODO ROJO = 1 SEGUNDO  
CICLO = 86 SEGUNDOS**

Figura. Intersección Semaforizada PR-3 con PR-9999 y Fases del Sistema de Semáforos, Condición Existente.

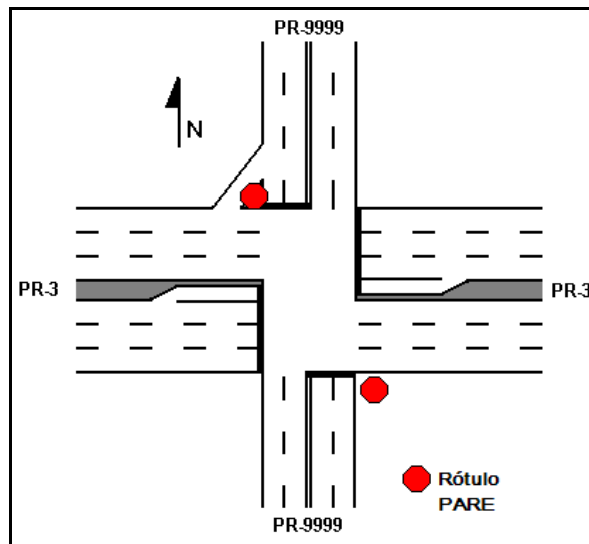


Figura. Localización de Señales de Tránsito en Intersección No Semaforizada.

**EJEMPLO 4:**

Tabla. Resultados Intersección PR-3 con PR-9999 por Carril o Grupo de Carriles.

Acceso	Carril o Grupo de Carriles	Nivel de Servicio (LOS)	Demora Promedio (seg/veh.)	Largo de cola (vehículos)
PR – 3 Oeste	L			
	TR			
PR-9999 Sur	LT			
	TR			
PR – 3 Este	L			
	TR			
PR-9999 Norte	LT			
	TR			

Tabla. Resultados Intersección PR-3 con PR-9999 por Acceso.

Acceso	Nivel de Servicio (LOS)	Demora Promedio (seg/veh.)	Largo de cola (vehículos)
PR – 3 Oeste			
PR-9999 Sur			
PR – 3 Este			
PR-9999 Norte			
Intersección			

**APÉNDICE II: COMPARACIÓN ENTRE ESTUDIO DE ACCESOS  
Y ESTUDIO DE TRÁNSITO.**

<b>Tareas</b>	<b>Estudio de Accesos</b>	<b>Estudio de Tránsito</b>
Análisis de condición existente en el desarrollo	✓	✓
Análisis de condición existente en las intersecciones cercanas		✓
Generación de viajes	✓	✓
Distribución de viajes	✓	✓
Análisis de condición con proyecto en los accesos del desarrollo	✓	✓
Análisis de condición con proyecto en las intersecciones cercanas		✓
Análisis de condición futura (5 ó 10 años luego de apertura y ocupación completa en el desarrollo)		✓
Análisis y evaluación de alternativas	✓	✓

**APÉNDICE III: PROGRAMAS****EJEMPLOS DE PROGRAMAS BASADOS EN MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS**

1. aaSidra (“Signalized and Unsignalized Intersection Design and Research Aid”)
2. HCS 2000 (“Highway Capacity Software”)
3. HiCAP (“Highway Capacity Analysis Package”)
4. SYNCHRO
5. TEAPac/Signal 2000 (“Traffic Engineering Applications Package”)

**EJEMPLOS DE PROGRAMAS BASADOS EN COORDINACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE SEMÁFOROS**

1. PASSER I, III Y IV (“Progression Analysis and Signal System Evaluation Routine”)
2. SYNCHRO
3. TEAPac/Signal 2000
4. TRANSYT-7F

**EJEMPLOS DE PROGRAMAS BASADOS EN MODELOS DE MICROSIMULACIÓN**

1. CORSIM/TSIS (“Traffic Software Integrated System”)
2. PARAMICS
3. Sim Traffic

## **APÉNDICE IV: MICROSIMULACIÓN**

### *Modelos de Microsimulación*

Los procedimientos del Manual de Capacidad de Carreteras producen una contestación para un grupo de datos de geometría y volúmenes. Los modelos de microsimulación producen varias soluciones para un grupo de datos, donde cada solución considera un patrón diferente de formas de conducir.

Estas guías sugieren que se utilicen modelos de microsimulación en todos los estudios que evalúen una serie de intersecciones espaciadas a una distancia igual o menor de ochocientos (800) metros. La preparación de una microsimulación envuelve las siguientes tareas:

1. Recolección de datos – obtener información detallada de la geometría de las intersecciones (distancias, número de carriles, curvatura de los accesos), control de las intersecciones (sistema de semáforos, rótulos de PARE o CEDA), volúmenes durante días típicos, datos de calibración (tiempos de viaje, flujo de saturación, largos de cola), entre otros.
2. Codificación de la red a evaluarse – construir la red con los datos obtenidos en el campo. Una planta en AutoCad o una foto aérea del área de estudio puede facilitar esta tarea, dependiendo el modelo utilizado.
3. Calibración del modelo – cada microsimulación tiene una serie de parámetros que pueden ser cambiados para que el modelo simule las condiciones reales del área de estudio. Datos como tiempos de viaje, flujo de saturación, largos de cola y comportamiento de los conductores; son útiles en la comparación de los valores obtenidos en el campo con los obtenidos en el modelo.
4. Resultados – microsimulación, en la mayoría de los casos, produce dos (2) tipos de resultados: numéricos y animación. Entre los resultados numéricos se encuentran los valores de demora, velocidad, tiempos de viaje y largos de cola que nos ayudan a obtener el nivel de servicio de las intersecciones o segmentos analizados. Una animación presenta el movimiento individual de vehículos a través de la red codificada por un período de tiempo para que puedan observarse posibles problemas en el diseño de las intersecciones o en la coordinación de los sistemas de semáforos.

Dependiendo el área de estudio de un desarrollo propuesto, la Autoridad puede requerir la preparación de una microsimulación para determinar el impacto en el flujo vehicular en las intersecciones y segmentos de carreteras cercanos al proyecto.

---

## BIBLIOGRAFÍA

1. Federal Highway Administration. 2003. "Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools". US Department of Transportation, Washington DC.
2. Federal Highway Administration. 2003. "Traffic Analysis Tools Primer". US Department of Transportation, Washington DC.
3. Institute of Transportation Engineers. 1997. "Traffic Access and Impact Studies for Site Development". Institute of Transportation Engineers, Washington DC.
4. Institute of Transportation Engineers. 1997. "Trip Generation, 6<sup>th</sup> edition". Institute of Transportation Engineers, Washington DC.
5. Michigan Department of Transportation. 1994. "Evaluating Traffic Impact Studies". Michigan Department of Transportation, Michigan.
6. Transportation Research Board. 2000. "Highway Capacity Manual". National Research Council, Washington DC.

## RECONOCIMIENTO

La preparación de las Guías de Estudios Operacionales se realizó gracias a la dedicación y el esfuerzo de los miembros del Comité de Estudios de Tránsito:

Ing. Lissette Lugo, Oficina de Ingeniería de Tránsito

Ing. Cristina Torres, Oficina de Ingeniería de Tránsito

Ing. Mayra Padró, Oficina de Ingeniería de Tránsito

Ing. Yaser Abder, Oficina de Ingeniería de Tránsito

Ing. Vivian Bou, Oficina de Control de Accesos

Ing. Juan C. Rivera, Oficina de Reglamentación de Tránsito

Ing. Miguel Pellot, Oficina de Planificación Estratégica

Estos profesionales se dieron a la tarea de recopilar la información necesaria y de impartirle uniformidad al proceso de elaboración de los estudios operacionales, mediante la creación de este instrumento de trabajo para los profesionales de la transportación, que solicitan endosos para sus proyectos y desarrollos a la Oficina de Control de Accesos de la Autoridad de Carreteras y Transportación.

El documento estará disponible en la División de Estudios de Tránsito localizada en el piso 8 del Edificio Sur en el Centro Gubernamental Minillas. Para más información pueden comunicarse al (787) 721-8787, extensión 2838.