

Pérez Berenguer y Asociados

Ingeniería, Agrimensura, Planificación

Apartado 6512, Marina Station, Mayagüez, Puerto Rico, 00681-6512

Urb. Colinas de Santa Cecilia, Calle F #40 (bajos), Cabo Rojo, Puerto Rico

Teléfono y Facsímil (787) 254-8321

**Estudio de Tránsito Analizando el Impacto de la urbanización Monte Verde
en las Vías del Área, Carretera PR-108, Km. 6.5, barrios Río Cañas Abajo y
Leguísamo, Mayagüez, Puerto Rico**

Febrero 2007

Tabla de Contenido

Sección	Página
Introducción y Objetivo	1
Antecedentes	2
Alcance del estudio	6
Metodología utilizada	7
Datos recopilados	10
Análisis realizados	11
Hallazgos Obtenidos	16
Conclusiones	31
Recomendaciones	33
Certificación	35
Referencias	36
Apéndices	38
Apéndice 1. Figuras	38
Apéndice 2. Guías utilizadas en el análisis operacional	53
Apéndice 3. Datos de Flujo Vehicular Tomados Durante los Conteos	74
Apéndice 4. Matriz del Estudio	78
Apéndice 5. Cómputos para el análisis operacional	79
Apéndice 6. Determinación del Factor de Crecimiento del Tránsito Promedio Diario	103
Apéndice 7. Generación, Asignación y Proyección de Viajes	104
Apéndice 8. Curriculum Vitæ del consultor	112

Lista de Figuras

Figura	Página
1. Mapa de carreteras del área analizada	38
2. Cuadrángulo del área del estudio	39
3. Intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina, vista desde el suroeste	40
4. Intersección de la carretera PR-108 y el camino Leguisamo, vista desde el este	41
5. Planta del Proyecto Propuesto	42
6. Esquema de la red vial analizada	43
7. Flujo Vehicular y Factor de la Hora Pico actual, por movimiento y total, durante las horas críticas de un día laborable típico, en la red vial analizada	44
8. Patrón actual del flujo vehicular, por movimiento y total, en la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina, durante un día laborable típico	45
9. Patrón actual del flujo vehicular, por movimiento y total, en la intersección de la carretera PR-108 y el camino Leguisamo, durante un día laborable típico	46
10. Nivel de Servicio al que opera actualmente, durante las horas pico de un día laborable típico, por movimiento y total, la red vial analizada	47
11. Flujo Vehicular y Factor de la Hora Pico, por movimiento y total, durante las horas críticas de un día laborable típico, en la red vial analizada en este estudio, para el momento en el que se inaugure el proyecto propuesto	48
12. Nivel de Servicio al que operará la red vial analizada en este estudio, durante las horas pico de un día laborable típico, por movimiento y total, al año en el que se ocupe el proyecto propuesto	49
13. Flujo Vehicular y Factor de la Hora Pico, por movimiento y total, durante las horas críticas de un día laborable típico, en la red vial analizada en este estudio, para cinco años después de que se ocupe el proyecto propuesto	50

Lista de Figuras (Continuación)

Figura	Página
14. Nivel de Servicio al que operará la red vial analizada en este estudio, durante las horas pico de un día laborable típico, por movimiento y total, cinco años después de que se ocupe el proyecto propuesto	51
15. Esquema ilustrando las mejoras propuestas para el control de tránsito en la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina	52
A7-1 Viajes que generarán las urbanizaciones Monte Verde y Villa Aida durante las horas pico de un día laborable típico, distribuidos por la red vial analizada en este estudio	110
A7-2 Viajes que actualmente utilizan la red vial analizada en este estudio proyectados al año 2010	111

Lista de Tablas

Tabla	Página
1. Nivel de Servicio al que operan las intersecciones analizadas durante las horas pico de un día laborable típico	20
2. Nivel de Servicio al que operarán las intersecciones analizadas durante las horas pico de un día laborable típico en el año 2010	27
3. Nivel de Servicio al que operarán las intersecciones analizadas durante las horas pico de un día laborable típico en el año 2015	29
A7-1 Viajes que generarán los proyectos que impactarán a la red vial analizada	104

Resumen ejecutivo

Este informe resume los resultados de un estudio de tránsito realizado en las intersecciones de la carretera PR-108 con los caminos Adelina y Leguisamo, ubicados en los barrios Río Cañas y Leguisamo, Mayagüez, Puerto Rico. El estudio fue realizado por la firma Pérez Berenguer y Asociados por encomienda del ingeniero José N. Vélez Matías. El objetivo del estudio es conocer el impacto en la operación de este sistema vial una vez se construya la urbanización Monte Verde en el kilómetro 6.5 de la carretera PR-108, en el mismo sector donde se hizo el análisis.

La geometría actual de la carretera PR-108 en el sector consta de un carril en cada dirección con ancho que varía entre 2.40 hasta 7.00 metros de ancho cada uno, sin paseos, franjas de siembra ni aceras. El camino Adelina se compone de un carril en cada dirección, de 2.40 metros de ancho cada uno, sin paseos, con encintados y aceras a ambos lados de 1.25 metros de ancho. El camino Leguisamo tiene un carril de 2.75 metros de ancho en cada dirección, con encintados de 0.90 metros de ancho y aceras de 1.20 metros de ancho a cada lado. Al lado sur del camino existe una franja de siembra de 0.90 metros de ancho. Todas las carreteras aquí analizadas tienen pavimento flexible.

Luego del análisis operacional se obtuvo que al presente las intersecciones analizadas funcionan adecuadamente. Debido a la cantidad considerable de viajes que generará la urbanización Monte

Verde, sumado a los que generará la urbanización Villa Aida, propuesta para el mismo sector, para el momento en el que se ocupe la primera, hay que hacer un ajuste en el control del tránsito de la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina. En esta se deben instalar rótulos de "Pare" que controlen todos los accesos. A esta misma intersección llegará el acceso principal de la urbanización Monte Verde, al lado opuesto del camino Adelina. Este acceso a la intersección también deberá estar controlado por un rótulo de "Pare". En la otra intersección no será necesario hacer ajuste alguno ya que continuará funcionando de forma adecuada. De acuerdo a los análisis operacionales realizados como parte de este estudio, si se siguen las recomendaciones presentadas en este informe, el sistema vial analizado tendrá suficiente capacidad para manejar el tránsito que lo utilizará a corto, mediano y largo plazo.

Introducción y Objetivo

Este estudio de tránsito se condujo para conocer el impacto que tendrá la urbanización Monte Verde en las vías adyacentes. El proyecto se construirá en la carretera PR-108, Km. 6.5, barrios Río Cañas Abajo y Leguísamo, Mayagüez, Puerto Rico (figuras 1 y 2). El ingeniero José N. Vélez Matías encomendó a Pérez Berenguer y Asociados la realización de este estudio. Se analizó la condición existente y futura en las intersecciones de la carretera PR-108 con los caminos Adelina y Leguísamo (figuras 3 y 4) ya que, dada su cercanía al proyecto, se verán impactadas por el mismo.

Como parte del estudio se obtuvieron las horas pico en los lugares indicados y el flujo vehicular durante estas horas para un día laborable típico. Con estos datos se realizaron análisis operacionales para conocer como las facilidades viales indicadas le sirven a los conductores actualmente. Se proyectó el flujo vehicular al año 2010, suponiendo que para ese año el proyecto esté recién ocupado, para tener una idea de su efecto en las facilidades viales cercanas. Con los resultados se formularon recomendaciones sobre las medidas que se deben implantar en las facilidades viales para que las mismas operen satisfactoriamente a corto, mediano y largo plazo. Este informe tiene el formato de un estudio de tránsito, según solicitado por la Autoridad de Carreteras y Transportación en su carta del 6 de abril de 2006.

Antecedentes

Este estudio se realizó debido a la necesidad de conocer el impacto de la urbanización Monte Verde en las vías adyacentes. Así se pudieron recomendar las medidas a tomar para que las facilidades viales analizadas se mantengan operando de forma adecuada a corto, mediano y largo plazo. El proyecto propuesto estará ubicado en la carretera PR-108, en su kilómetro 6.5. El proyecto constará de 658 unidades de vivienda unifamiliar de interés social, en solares con una cabida promedio de 308 metros cuadrados. También se construirá un centro comercial vecinal en un predio con cabida de unos 4930 metros cuadrados. El proyecto tendrá su acceso principal por la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina. También tendrá otro acceso por el camino Leguisamo. En la figura 5 se puede observar la planta del proyecto propuesto. Actualmente la Junta de Planificación de Puerto Rico está evaluando la solicitud de la Consulta de Ubicación bajo el número de caso 2006-29-0001-JPU-ISV-M. Dada su magnitud, el proyecto producirá un incremento en el tránsito existente en el área. Por esto es importante conocer como operarán en el futuro las carreteras que le ofrecerán acceso.

Se realizaron conteos vehiculares en todos los carriles de las intersecciones de la carretera PR-108 con los caminos Adelina y Leguisamo. El tránsito en ambas intersecciones se controla mediante rótulos de "Pare" ubicados en los accesos menores. Los

conteos se realizaron para determinar cuales son las horas pico en un día laborable típico y cuantos vehículos utilizan la intersección durante esas horas, así como durante todo el día. Con los datos obtenidos en los conteos, una vez reducidos, se realizó el análisis operacional para la condición actual. Estos datos se proyectaron al momento en el que se espera que el proyecto propuesto esté inaugurado y ocupado, se sumaron a los que generarán los proyectos propuestos para el área y se efectuó el respectivo análisis operacional. Estos datos, ya sumados, se proyectaron a cinco años más tarde del momento en el que se supuso que el proyecto esté recién ocupado y se efectuó el respectivo análisis operacional. De esta manera se tiene una idea de como operarán estas facilidades a corto, mediano y largo plazo.

La carretera PR-108 comienza en el puente de París, al norte de la zona urbana de Mayagüez, cruza los barrios Mayagüez Arriba, Miradero, Río Cañas Abajo y Leguisamo del municipio de Mayagüez, Anones del municipio de Las Marías y Corcovada del municipio de Añasco. La carretera termina en este barrio, en su intersección con la carretera PR-109. En el área del análisis la carretera PR-108 se utiliza por las personas que residen en la parte norte del municipio de Mayagüez, norte del municipio de Las Marías y este del municipio de Añasco así como en San Sebastián para moverse hacia la zona urbana de Mayagüez y viceversa. La clasificación funcional de la carretera PR-108 en este sector es colectora. En el área

analizada la geometría de esta carretera se compone de un carril en cada dirección con un ancho que varía desde 2.40 hasta 7.00 metros cada uno, sin paseos, franjas de siembra ni aceras.

El camino Adelina comienza en la intersección aquí analizada y termina en su intersección con la carretera PR-352, al oeste de la carretera PR-108, atravesando el barrio Leguisamo de oeste a este. La función principal de esta vía es brindarle acceso a los residentes del barrio Leguisamo aunque es muy utilizada por conductores de provienen de lugares más distantes en la carretera PR-108 y que utilizan al camino como una ruta más corta ya que es más directo el recorrido por la misma que por la carretera principal. Por ese motivo esta vía puede clasificarse como una colectoras. En el lugar aquí analizado la carretera consta de un carril en cada dirección, de unos 2.40 metros de ancho cada uno, con encintados a cada lado de 1.25 metros de ancho cada uno y aceras a cada lado de 1.25 metros de ancho cada una.

Al norte del proyecto propuesto llega a la carretera PR-108, por el oeste, el camino Leguisamo. Este camino recorre parte del barrio Río Cañas de Añasco y tiene como función proveer acceso a los predios ubicados a lo largo de la mencionada vía, por lo que se clasifica como una calle local. El camino tiene una geometría compuesta por un carril en cada dirección de 2.75 metros de ancho con encintados de 0.90 metros de ancho a cada lado, franja de siembra al lado sur de 0.90 metros de ancho y aceras de 1.20 metros

de ancho a ambos lados. El pavimento de todas las vías aquí analizadas es flexible. El esquema de la geometría de las intersecciones analizadas aparece en la figura 6 de este informe.

El desarrollo en área no sigue un patrón definido, aunque existe una cantidad considerable de residencias. Aun así los peatones que utilizan las aceras existentes son pocos. Esto se debe principalmente a la distancia existente entre el sector y los lugares a donde rutinariamente acuden los residentes del lugar a trabajar, estudiar y a realizar sus gestiones. También influye en esto la falta de un sistema de transportación pública que sirva al área.

Alcance del estudio

Con este estudio se pretende principalmente conocer el impacto del proyecto propuesto en el tránsito y operación de las intersecciones de la carretera PR-108 con los caminos Adelina y Leguisamo. Estas facilidades, por su cercanía al proyecto propuesto y por componer la ruta para entrar y salir de éste, se verán directamente impactadas. Como resultado del análisis se obtuvieron las horas pico en un día laborable típico, el volumen y el Nivel de Servicio al que operan y operarán las facilidades viales evaluadas, durante esas horas. También se calculó el tránsito promedio diario en el lugar indicado. Se realizaron conteos por períodos 24 horas consecutivas los martes, miércoles y jueves entre el 12 al 20 de diciembre de 2006. El día del conteo así como el previo y el posterior tenían que ser laborables para tomar en cuenta la información obtenida. Este tipo de estudio permite conocer si la red vial existente y futura es adecuada para manejar el volumen vehicular al que se verá sujeta o si hay que modificarla. Todo el volumen vehicular fue captado por equipos electrónicos de conteo de alta precisión ("Countcard" y "NC-97"), lo que permite obtener datos de buena calidad. Esto, junto con la constante supervisión del consultor encargado del estudio permitió tener resultados confiables.

Métodología utilizada

El método utilizado para obtener los datos fue el conteo y clasificación de vehículos según el movimiento que estos efectuaron. Se instalaron detectores electrónicos ("Countcard" y "NC-97") en el pavimento de cada carril de las intersecciones analizadas. Estos detectores se programan de antemano para que realicen las lecturas durante el período y en los intervalos deseados. Por medio de ondas magnéticas, el detector capta cuando un vehículo pasa sobre él, lo registra y lo clasifica según sus dimensiones. Luego, esa información se pasa directamente a la computadora, utilizando el programa CDM 20/30 (**Nu-Metrics, 1994**) o el programa HDM (**Nu-Metrics, 2002**), dependiendo del detector utilizado, de donde se obtienen los informes relacionados. Estos equipos ofrecen buenos resultados y asegura que se utilizaron datos reales para efectuar los análisis pertinentes.

El conteo de flujo vehicular se efectuó por periodos de 24 horas desde la medianoche de martes, miércoles o jueves hasta la medianoche de miércoles, jueves o viernes. Para asegurar la validez de los datos tanto el día del conteo como las 24 horas previas y posteriores fueron laborables. Al hacer los conteos de esta forma se obtiene un flujo vehicular más estable y se consiguen datos de mejor calidad. Cuando el objetivo del estudio de tránsito es captar el comportamiento del flujo vehicular en cierto lugar en un día laborable típico y la instalación propuesta no altera el

comportamiento de los conductores, de forma que días no laborables se conviertan en días críticos, se recomienda realizar el trabajo de campo en los días martes, miércoles o jueves laborables (**Robertson et. al., 1994**) (**Homburger et. al., 1992**). Los conteos se dividieron en intervalos de 15 minutos durante todo el día, para tener una idea más exacta de las variaciones del tránsito a través de los períodos estudiados.

Se utilizó la hoja de cálculo electrónica *Quattro Pro* versión 9.0.0.588 (**Corel Corporation Limited, 1999a**) para reducir los datos de flujo vehicular y hacer un análisis matemático de los mismos. Para hacer el análisis operacional de las facilidades viales se utilizaron las guías que aparecen en la referencia *Highway Capacity Manual* (**TRB, 2000**), parte de las que se ilustran en el Apéndice 2. Esta referencia describe las guías para el análisis operacional de facilidades de transportación que actualmente utilizan las agencias encargadas de la operación y mantenimiento de las carreteras en Puerto Rico y Estados Unidos. Para facilitar este análisis se utilizó el programa de computadora *Highway Capacity Software* (*HCS+*), versión 5.21 (**University of Florida, 2005**) el cual resume electrónicamente los procedimientos para el análisis sugeridos en el *Highway Capacity Manual*. Con la referencia *Trip Generation* (**ITE, 2003a,b**) se estimó cuantos viajes adicionales se espera que genere el proyecto, los cuales fueron ajustados con la referencia *Trip Generation Handbook* (**ITE, 2001**). El informe se redactó

utilizando el procesador de palabras *WordPerfect* versión 9.0.0.588 (**Corel Corporation Limited, 1999b**). Algunas de las ilustraciones que aparecen en el informe se realizaron con el programa AutoCad 2000 (**Autodesk, 1999**). Utilizando estas referencias y herramientas se realizó el estudio de impacto en el tránsito resumido en este informe.

Datos recopilados

Los datos recopilados durante los conteos fueron el flujo vehicular y el porcentaje de este flujo compuesto por camiones, en todos los movimientos, en las intersecciones de la carretera PR-108 con los caminos Adelina y Leguísamo. Para poder analizar los datos de forma tal que se pueda conocer el flujo vehicular que realiza los movimientos en y fuera de las horas pico, estos se identificaron utilizando una nomenclatura de dos letras donde la primera indica desde donde transita el vehículo y la segunda indica hacia donde va. Por ejemplo, N-E se refiere al movimiento que hacen los vehículos que transitan de norte a este. Un esquema describiendo los movimientos contabilizados se puede apreciar en la figura 6. Una vez se recopilaron y redujeron los datos se procedió a realizar el análisis de los mismos. Los datos recopilados aparecen en el Apéndice 3 mientras que los datos reducidos se resumen en la figura 7.

Análisis realizados

Con los datos de flujo vehicular recopilados se produjeron unas gráficas que permiten visualizar el patrón del flujo vehicular en el lugar durante un día laborable típico (figuras 8 y 9). Estas gráficas también permiten efectuar comparaciones entre el flujo vehicular para cada movimiento para los diferentes periodos del día. Con la información obtenida se calcularon parámetros que describen el comportamiento del flujo vehicular en una facilidad vial tales como:

- Identificación de las horas pico del día
- Flujo vehicular durante las horas pico
- Factor de la hora pico (PHF, por sus siglas en inglés)
- Proporción del flujo vehicular compuesto por camiones, durante las horas pico
- Nivel de servicio (LOS, por sus siglas en inglés) al que operan y operarán las facilidades analizadas durante las horas críticas del día
- Estimado del tránsito promedio diario en las intersecciones donde se efectuó el conteo.

Estos valores se calcularon para la situación al momento del conteo, se proyectaron para cuando se ocupe el proyecto y para cinco años después. Para calcular estos parámetros se utilizaron procedimientos y fórmulas aceptados (TRB, 2000) (University of Florida, 2005) (Khisty, 1990) (Robertson et. al., 1994).

El método utilizado en este estudio para conocer el funcionamiento de las facilidades viales es el que se sugiere en la referencia *Highway Capacity Manual (TRB, 2000)*. El mismo describe las condiciones en una facilidad de transportación utilizando el concepto de Nivel de Servicio. Este concepto es una medida cualitativa que describe las condiciones operacionales dentro de una corriente de tránsito basado en medidas de servicio tales como velocidad, tiempo de viaje, libertad de manejo, interrupciones del tránsito, comodidad y conveniencia.

Se han definido seis LOS para cada tipo de facilidad donde existe un procedimiento de análisis establecido. Estos se designan con las letras desde la A a la F, siendo A la que representa las mejores condiciones operacionales y F las peores. Cada LOS representa un rango de condiciones operacionales. Las agencias encargadas del mantenimiento y operación de las carreteras generalmente buscan que las facilidades de transportación operen a un LOS D o mejor.

En intersecciones sin semáforo con dispositivos para el control del tránsito en los accesos menores el Nivel de Servicio no se define para la intersección completa. El LOS se determina basado en la demora por control medida o calculada para cada movimiento, relacionado a la calle menor, en conflicto con otro. En los accesos a intersecciones regulados por señales de "Pare" el tiempo de detención no tiene sentido porque en vez de haber colas

más o menos estables existen filas de vehículos avanzando y deteniéndose intermitentemente. En ellas se ha utilizado más bien la "demora por control". Las demoras por control son calculadas en segundos por vehículo y representan el tiempo desde que el conductor llega al final de la cola hasta que sale de la línea de "Pare" de la intersección (**Radelat, 2003**). Este parámetro mide la dificultad que tiene el conductor que llega a la intersección por la calle menor para determinar la brecha entre vehículos de la calle mayor que le permita hacer el movimiento para salir. Mientras más altos sean los valores de densidad, menos brechas adecuadas existirán, incrementándose la dificultad para que los conductores de la calle menor puedan salir de la intersección.

En intersecciones sin semáforo con dispositivos para el control del tránsito en todos los accesos se espera un nivel de rendimiento diferente al de las intersecciones semaforizadas, las cuales se diseñan para manejar un volumen vehicular mayor. Por esa razón, un nivel mayor de demora por control es aceptable en una intersección semaforizada para un mismo Nivel de Servicio, al compararla con una intersección sin semáforo con dispositivos para el control del tránsito en todos sus accesos. La metodología para determinar el LOS analiza cada acceso a la intersección de forma independiente, tomando en consideración que los otros accesos crean conflictos con los vehículos que están en la que se analiza. En estas intersecciones se requiere que los conductores se detengan

cuando lleguen a cualquier acceso, antes de entrar a la facilidad. Aquí se desarrolla un consenso del derecho de paso que se alterna entre los conductores en los accesos a la intersección, consenso que depende principalmente de la geometría de la intersección y los patrones de llegada a la línea de "Pare". Basado en esto, estas intersecciones operan en un patrón de dos fases (dos accesos se mueven a la vez) o cuatro fases (cada acceso se mueve de forma independiente, según los conductores lleguen a la intersección). El espaciamiento entre los vehículos que salen, de forma consecutiva, del acceso que se analiza depende del grado de conflicto que surge entre estos vehículos y los que llegan a la intersección por otros accesos. El grado de conflicto depende del número de vehículos que se encuentran los que salen del acceso analizado, del número de carriles en los accesos a la intersección, del tipo de vehículo y de su maniobra de viraje.

Otro concepto que se utilizó en el análisis de los datos fue el Factor de la Hora Pico. Este factor es el resultado de la división del flujo vehicular total durante la hora pico por cuatro veces el flujo del período pico de 15 minutos durante esta hora. El valor de este factor tiene que estar entre 0.25 y 1.00, donde el primer valor corresponde a que todo el flujo vehicular de la hora pico pasó durante uno de los períodos de 15 minutos que lo componen. El segundo valor representa cuando el flujo vehicular en los cuatro períodos de 15 minutos que componen la hora pico es

igual. El rango normal de valores está entre 0.70 y 0.98. Valores menores de 0.70 representan un mayor grado de variación en el flujo durante la hora pico. El PHF es una medida descriptiva de las características de generación de viajes (**McShane, et.al., 1998**). Una descripción más detallada de estas guías y conceptos aparece en el Apéndice 2.

Hallazgos Obtenidos

En la figura 8 se puede apreciar el patrón del flujo vehicular en un día laborable típico en la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina. Se observa que el volumen en la facilidad comienza a aumentar a eso de las 2:15 de la madrugada hasta las 7:15 de la mañana, cuando se registra un pico. Desde ese momento el flujo vehicular disminuye. Desde las 10:15 de la mañana el flujo vehicular en la intersección aumenta hasta las 5:45 de la tarde, habiéndose registrado un pico a las 3:15 de la tarde. Desde las 5:45 el flujo vehicular disminuye a una razón menor que la del aumento durante las primeras horas de la mañana, hasta llegar a un mínimo durante la madrugada. Como se observó, se registra un pico en la mañana, antes de la hora de entrada a los trabajos, centros de estudios y lugares de gestiones y otro en la tarde, al cierre de estos lugares. Durante la mañana el tránsito principal se mueve hacia Mayagüez, que es donde se encuentran la mayor cantidad de centros de trabajo, estudios o gestiones en la región. Durante la tarde el movimiento más cargado es a la inversa, o sea, desde los lugares a donde las personas acudieron en la mañana hacia sus residencias. Durante el resto del día el flujo vehicular en todas las direcciones es bastante similar. Se debe recordar que aunque la carretera PR-108 en este lugar es la principal vía de comunicación, el camino Adelina se utiliza intensamente como una

vía alterna a la carretera principal debido a que los conductores reducen en algo el tiempo de viaje.

En la figura 9 se puede apreciar el patrón del flujo vehicular en un día laborable típico en la intersección de la carretera PR-108 con el camino Leguisamo. Se observa que el volumen en la facilidad comienza a aumentar a eso de las 2:30 de la madrugada hasta las 6:45 de la mañana, cuando se registra un pico. Desde las 8:00 de la mañana el flujo vehicular disminuye hasta llegar a un mínimo a las 10:15 de la mañana. Desde ese momento el flujo vehicular en la intersección aumenta hasta las 4:45 de la tarde, cuando se registra un pico. Desde ese momento el flujo vehicular disminuye a una razón bastante constante aunque menor que la del aumento durante las primeras horas de la mañana, hasta llegar a un mínimo durante la madrugada. Aquí también se registra un pico en la mañana, antes de la hora de entrada a los trabajos, centros de estudios y lugares de gestiones y otro en la tarde, después del cierre de estos lugares. Durante la mañana el tránsito principal se mueve desde el este hacia el sur, o sea, viajando desde las residencias hacia Mayagüez. Durante la tarde el movimiento más cargado es en dirección contraria, o sea, desde los lugares a donde las personas acudieron en la mañana hacia sus residencias. Como era de esperarse, estos dos movimientos, todo el tiempo por la carretera PR-108, son los más cargados, debido a que el camino Leguisamo se utiliza principalmente para el tránsito local. Los

otros movimientos no tienen un flujo vehicular significativo, si se comparan con el de los movimientos E-S y S-E.

Se pudo observar que en el sistema vial aquí analizado se registran dos horas pico. La hora pico de la mañana se registra de **6:30 a 7:30** mientras que la hora pico de la tarde se registra de **4:45 a 5:45**. Estas son las horas pico de la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina así como la de la mañana en la otra intersección analizada. En esta última intersección, durante la tarde, la hora aquí indicada está muy cerca de ser la más cargada. Predominan en el sistema vial las horas pico de la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina debido a que esta intersección es la principal del área y la que determina el comportamiento del flujo vehicular en el sector. La hora pico de la mañana se debe principalmente a personas viajando de sus residencias a sus trabajos, centros de estudio o a realizar gestiones, por lo que se produce antes de la hora de entrada a estos lugares. Por estar este lugar algo distante de la ubicación de los destinos de los usuarios, esta hora pico se produce relativamente temprano, al compararla con otros lugares similares en el país. La hora pico de la tarde se produce después de la hora de salida de estos lugares, porque la producen principalmente las personas en los viajes de regreso a sus hogares.

El flujo vehicular que utiliza la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina durante la hora pico de la mañana llega

a **556** vehículos y durante la hora crítica de la tarde alcanza los **571** vehículos. En la intersección de la carretera PR-108 y el camino Leguisamo transitan **254** vehículos durante ambas horas pico. Los volúmenes están cónsonos con las características de las intersecciones y se deben a su función, descrita anteriormente. Estos volúmenes junto con el PHF, el porcentaje del flujo vehicular compuesto por camiones y la longitud de cola para cada movimiento, durante las horas pico, aparecen en la figura 7.

Luego de estudiar el patrón del flujo vehicular que se registra en el sistema vial aquí analizado, se puede decir que el mismo es utilizado principalmente por los llamados "conmuters". Estas son las personas que realizan prácticamente el mismo viaje todos los días desde su casa al trabajo, a centros de estudios o a realizar alguna gestión y regresan a la casa. El hecho se verifica al observar el momento en el que se registran los picos así como las horas en las que aumenta o disminuye drásticamente el flujo vehicular en las facilidades viales analizadas.

En la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina el PHF para la hora crítica de la mañana es **0.93** mientras que durante la hora pico de la tarde es **0.98**. Mientras, en la intersección de la carretera PR-108 con el camino Leguisamo el PHF para la hora crítica de la mañana es **0.89** y **0.92** para la hora pico de la tarde. Los valores registrados son altos, lo que indica que el flujo vehicular durante las horas pico es uniforme y continuo,

por lo tanto, las intersecciones analizadas tienen demanda continua en esos periodos de tiempo. Valores de PHF sobre 0.95 son indicativos de altos volúmenes de tránsito, trayendo algunas veces restricciones de capacidad en el flujo durante la hora pico (TRB, 2000).

Tabla 1. Nivel de Servicio al que operan las intersecciones analizadas durante las horas pico de un día laborable típico

Hora Pico	Acceso por el Oeste	Acceso por el Este	Acceso por el Sur	Acceso por el Norte
Intersección Carretera PR-108 y Camino Adelina				
6:30 - 7:30 AM		D(29.5)		A(7.7)
4:45 - 5:45 PM		B(12.3)		A(8.1)
Intersección Carretera PR-108 y Camino Leguísamo				
6:30 - 7:30 AM	A(9.7)		A(7.7)	
4:45 - 5:45 PM	A(9.9)		A(7.6)	

Notas:

- 1) Las demoras por control se ilustran entre paréntesis, en segundos por vehículo.
- 2) Según el procedimiento utilizado, en las intersecciones sin semáforo, con dispositivos para el control del tránsito en los accesos menores, no se determina el LOS para la intersección completa.

Basado en los datos para las horas pico se realizaron análisis operacionales del sistema vial descrito, ya que se verá directamente impactado por el proyecto propuesto. Se utilizó el programa de computadora HCS+, versión 5.21 (University of Florida, 2005), que se basa en el método del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM, por sus siglas en inglés) (TRB, 2000). Por medio de este procedimiento se determina a que Nivel de Servicio (LOS,

por sus siglas en inglés) operan los componentes del sistema analizado. Los resultados obtenidos indican que ambas intersecciones operan de forma satisfactoria, registrándose demoras bajas para los usuarios. En la salida del camino Adelina a la carretera PR-108 se registran demoras un poco más altas, debido a la utilización intensa de ese camino. Aún así, estas demoras son más que tolerables por los usuarios. Estos resultados se resumen en la tabla 1. El detalle de los resultados del análisis operacional para la situación actual se resume en la figura 10. La matriz del estudio, donde se resumen los archivos que guardan los cómputos realizados para el análisis operacional se ilustra en el Apéndice 4. El detalle de los cómputos realizados aparece en el Apéndice 5 y se incluyen en un discompacto que acompaña el informe.

Basado en el análisis de los datos obtenidos en el conteo realizado se estimó la cantidad promedio de vehículos que utilizan las intersecciones estudiadas durante un período de 24 horas. Se estimó que unos **6522** vehículos transitan por la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina durante un día laborable típico. Para este mismo período se estimó que **3472** vehículos utilizan la intersección de la carretera PR-108 y el camino Leguisamo. Estas cantidades responden a la función de las intersecciones.

Se calculó la razón a la que el tránsito que utiliza el sistema vial analizado ha crecido a través de los años, utilizando

datos históricos del tránsito promedio diario para la carretera PR-108 y los obtenidos en este estudio. Este factor de crecimiento se utilizó para proyectar al futuro los datos actuales de flujo vehicular. Los datos históricos de flujo vehicular se obtuvieron de informes de la Autoridad de Carreteras y Transportación (ELA, 2005). Con los datos históricos y actuales se desarrolló una ecuación de regresión lineal para el acceso por el sur a la intersección de la carretera PR-108 y el camino Leguisamo. Con esta ecuación se proyectó el TPD, en el acceso indicado, al año 2010 y se determinó el factor de crecimiento (i) correspondiente. Se determinó el valor de i utilizando la *ley de interés compuesto*¹ (Sepúlveda, et.al., 1984), tal y como se hace en la Ingeniería de Tránsito. Se obtuvo que el valor de i es **-0.6%** anual y se utilizó para proyectar los datos de flujo vehicular actuales al año 2010, cuando se espera que el proyecto propuesto esté recién ocupado, y al año 2015, tal y como lo requiere la Autoridad de Carreteras y Transportación. El análisis de los datos para obtener el factor de crecimiento aparece en el Apéndice 6. El factor de crecimiento obtenido indica que el tránsito promedio diario en el área analizada se ha mantenido básicamente constante en los últimos

$${}^1 F = P(1+i)^n$$

donde:

- F = valor futuro
- P = valor presente
- i = factor de crecimiento
- n = número de períodos (años)

años. Esto se debe a que apenas se ha experimentado algún tipo de desarrollo en el sector recientemente.

Al realizar la proyección indicada se estimaron los vehículos que utilizarán el sistema vial analizado en el futuro. Los datos futuros de flujo vehicular se ajustaron de acuerdo a la cantidad adicional de viajes que se espera que genere la urbanización Monte Verde y otros proyectos propuestos para el área. Se supuso que las horas pico del día y los valores del Factor de la Hora Pico se mantendrán iguales porque no se esperan cambios en las características del sector. Los supuestos se basan en el análisis del patrón del flujo vehicular resumido anteriormente y en que el uso de los proyectos propuestos existen y son predominantes en el área. Para la futura entrada y salida del proyecto propuesto se supuso que el PHF de los movimientos nuevos es similar al valor que tiene la corriente vehicular de donde proviene (en el caso de la entrada) o la corriente del tránsito a la que el flujo vehicular se va a unir (para los movimientos de salida).

El estimado del volumen que producirá el proyecto propuesto se realizó utilizando el procedimiento sugerido por el Instituto de Ingenieros de Transportación (ITE, por sus siglas en inglés). El procedimiento aparece en la séptima edición de la publicación *Trip Generation* (ITE, 2003a,b). Los datos utilizados para esta publicación fueron tomados desde los años sesenta hasta la primer década del 2000 a través de los Estados Unidos y Canadá. La

publicación divide los terrenos según su uso. Para este caso se utilizaron los usos codificados como 210 (*Single-Family Detached Housing*) y 820 (*Shopping Center*) por esta referencia. Este uso se basa en lo propuesto para la urbanización Monte Verde. Un esquema de los usos propuestos en el proyecto se ilustra en la figura 5.

Según *Trip Generation* el uso de terreno 210 incluye todas las unidades sencillas de vivienda unifamiliares, en lotes separados. Un ejemplo típico de este uso de terreno es una subdivisión suburbana o una urbanización. Este uso de terreno incluye información para una amplia variedad de unidades con diferentes tamaños, rangos de precios, localizaciones y edades. Como se espera, las unidades más grandes, más costosas o más lejos de los centros urbanos tienen una razón de generación de viajes más alta que las más pequeñas, menos costosas o más cercanas al centro urbano. Otros factores como, por ejemplo, la localización geográfica y el tipo de desarrollo adyacente y colindante, pueden tener un efecto en la generación de viajes del lugar. Este uso de terreno se utilizó para estimar los viajes que generará la parte residencial del proyecto Monte Verde.

Este uso de terreno tiene la razón de generación de viajes mayor por unidad de vivienda entre todos los usos residenciales porque son las unidades más grandes en tamaño y tienen más residentes y vehículos por unidad que otros usos de terreno residenciales. Las unidades residenciales de este uso de terreno

generalmente están localizadas más lejos de centros comerciales, áreas de empleo y de otras instalaciones que atraen viajes al compararlas con otros usos residenciales. Generalmente, este uso de terreno tiene menos modos de transportación alternos disponibles porque típicamente no es tan denso como otros usos de terreno residenciales. Las horas pico de este generador típicamente coinciden con las horas pico del tránsito de las calles adyacentes.

Trip Generation define el uso de terreno 820 como un grupo integrado de establecimientos comerciales que es de un solo dueño, se planificó, desarrolló y se administra como una unidad. La composición del centro comercial depende de su área de mercado en términos de tamaño, localización y tipo de tienda. Un centro comercial también provee suficientes facilidades de estacionamiento en el lugar para servir su propia demanda. También pueden existir facilidades en los que no se vendan bienes, si no que se presten servicios. Este uso de terreno se utilizó para determinar cuantos viajes generará el predio comercial de la urbanización Monte Verde.

Como se puede apreciar, las descripciones y supuestos con los que se desarrolló la información que provee la referencia *Trip Generation* coinciden con las características que tendrá el proyecto aquí evaluado. Por este motivo es adecuado aplicar la información que provee la referencia a los análisis realizados y resumidos en este informe. Los cálculos para determinar la cantidad de viajes

que generará el proyecto propuesto y como se distribuirán por el sistema vial analizado se resumen en el Apéndice 7.

Además de este proyecto se ha propuesto la urbanización Villa Aida a unos 400 metros al norte del proyecto aquí analizado. Por el patrón de flujo vehicular que se experimenta en la red vial analizada, este proyecto tendrá efecto en la misma. Por ese motivo también se determinaron los viajes que generará este proyecto y se tomó en consideración en el análisis ilustrado en este informe. Para generar estos viajes se utilizó el uso de terreno 210 (*Single-Family Detached Housing*), según definido por *Trip Generation*.

Utilizando los procedimientos y supuestos descritos en los párrafos anteriores se generaron datos acerca de la cantidad de vehículos que utilizarán las intersecciones analizadas durante las horas pico en el año 2010. Estos datos se resumen en la figura 11. Para obtener estos datos se sumaron los volúmenes actuales proyectados al año 2010 a los que generará el proyecto propuesto aquí analizado y el otro propuesto para el área cercana. También, se supuso que el patrón de viajes en las horas pico será similar al actual. Los detalles sobre la proyección de los viajes actuales aparecen en el Apéndice 7 del informe.

Debido a que el tránsito en el lugar aumentará considerablemente y a que la urbanización Monte Verde tendrá su acceso principal por el lugar, se hizo el análisis operacional para el año 2010 en la intersección de la carretera PR-108 con el camino

Adelina suponiendo un cambio en el control del tránsito. Se supuso que se instalarán rótulos de "Pare" en cada uno de los cuatro accesos que tendrá la mencionada intersección. Esta medida aumentará la capacidad de la intersección, en especial la de los accesos por el este y el oeste. También brindará mayor seguridad a los usuarios, ya que se ha observado que muchos conductores conducen a exceso de velocidad por el lugar.

Tabla 2. Nivel de Servicio al que operarán las intersecciones analizadas durante las horas pico de un día laborable típico en el año 2010

Hora Pico	Acceso por el Oeste	Acceso por el Este	Acceso por el Sur	Acceso por el Norte	Total
Intersección Carretera PR-108 y Camino Adelina/Entrada a Urb. Monte Verde					
AM	B(14.16)	C(16.63)	B(10.89)	C(15.06)	B(14.87)
PM	B(11.77)	C(15.75)	C(21.85)	B(11.48)	C(17.30)
Intersección Carretera PR-108 y Camino Leguísamo					
AM	B(11.7)		A(8.1)		
PM	C(15.3)		A(8.3)		

Notas:

- 1) Las demoras por control se ilustran entre paréntesis, en segundos por vehículo.
- 2) Según el procedimiento utilizado, en las intersecciones sin semáforo, con dispositivos para el control del tránsito en los accesos menores, no se determina el LOS para la intersección completa.

En la tabla 2 se resumen los resultados del análisis operacional del sistema vial para las horas pico, durante un día laborable típico, para el año 2010. El detalle de estos resultados se resume en la figura 12. El nombre de los archivos donde se almacenan los cómputos del análisis operacional se resume en el

Apéndice 4. Los cómputos aparecen en el Apéndice 5 y en el discompacto que se incluye con el informe.

Se obtuvo que, al momento en el que el proyecto propuesto se ocupe, el sistema vial analizado deberá operar de forma satisfactoria. Las demoras que experimentarán los usuarios de ambas intersecciones serán bajas, incluyendo en la intersección por donde será el acceso principal a la urbanización Monte Verde.

Utilizando la ley de interés compuesto se proyectaron los valores de flujo vehicular utilizados para el análisis operacional durante ambas horas pico de un día laborable típico en el año 2010 y se determinó el escenario a analizar para el año 2015. Estos datos se resumen en la figura 13. Con esa información se realizó el análisis operacional correspondiente a las horas pico de un día laborable típico en el horizonte fijado por la Autoridad de Carreteras y Transportación para un proyecto con el número de unidades como el aquí evaluado. Se continuó suponiendo que el patrón de viajes en las horas pico será similar al actual. Los detalles sobre la proyección de los viajes actuales aparecen en el Apéndice 7 del informe.

En la tabla 3 se resumen los resultados del análisis operacional del sistema vial para las horas pico, durante un día laborable típico, para el año 2015. El detalle de estos resultados se resume en la figura 14. El nombre de los archivos donde se almacenan los cómputos del análisis operacional se resume en el

Apéndice 4. Los cómputos aparecen en el Apéndice 5 y en el discompacto que se incluye con el informe.

Tabla 3. Nivel de Servicio al que operarán las intersecciones analizadas durante las horas pico de un día laborable típico en el año 2015

Hora Pico	Acceso por el Oeste	Acceso por el Este	Acceso por el Sur	Acceso por el Norte	Total
Intersección Carretera PR-108 y Camino Adelina/Entrada a Urb. Monte Verde					
AM	B (13.39)	C (15.63)	B (10.60)	B (14.37)	B (14.09)
PM	B (11.43)	B (14.88)	C (19.79)	B (11.18)	C (16.06)
Intersección Carretera PR-108 y Camino Leguísamo					
AM	B (11.6)		A (8.1)		
PM	B (14.8)		A (8.2)		

Notas:

- 1) Las demoras por control se ilustran entre paréntesis, en segundos por vehículo.
- 2) Según el procedimiento utilizado, en las intersecciones sin semáforo, con dispositivos para el control del tránsito en los accesos menores, no se determina el LOS para la intersección completa.

Se obtuvo que, cinco años después del momento en el que el proyecto propuesto se ocupe, el sistema vial analizado continuará operando de forma satisfactoria. Las demoras que experimentarán los usuarios de ambas intersecciones serán similares a las del momento en el que se inaugure el proyecto. Esto se debe a que el flujo vehicular se mantiene constante en el lugar y luego de que se le añada a la red vial analizada el tránsito que producirán los proyectos aquí considerados, no se espera que el tránsito vehicular continúe aumentando ya que no se contempla la construcción de desarrollos adicionales en el área.

Según los resultados obtenidos para el momento en el que se ocupe la urbanización Monte Verde y para cinco años después de ese momento, el sistema vial analizado operará de forma satisfactoria si se hace un ajuste al control de tránsito de la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina. Ese ajuste incrementará la capacidad y la seguridad en el sector, aun con la construcción del proyecto propuesto.

Conclusiones

La urbanización Monte Verde proveerá 658 nuevas unidades de vivienda de interés social, aumentando la oferta por este tipo de residencia en la región, produciendo beneficios para la economía de Mayagüez. El proyecto se construirá en un lugar donde existe este uso, por lo que el impacto que tendrá en la infraestructura del lugar será menor si se compara con un proyecto similar a construirse en un lugar donde no existan dichas facilidades. Actualmente no existen problemas de capacidad en las intersecciones de la carretera PR-108 próximas a la urbanización propuesta. Para procurar que estas intersecciones continúen manejando adecuadamente al tránsito en el sector, se deben realizar unos pequeños ajustes a los dispositivos de control del tránsito existentes en la intersección por donde se accederá al proyecto. Al realizar estos ajustes, la intersección no tendría problemas de capacidad a mediano ni a largo plazo y, además, se incrementaría la seguridad al conductor en el lugar.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que las vías analizadas registran un patrón de flujo vehicular durante un día laborable típico de acuerdo a su función y al lugar donde se encuentran. La urbanización Monte Verde es cónsona con uno de los usos principales del área, el residencial. Por estos motivos la ocupación del proyecto propuesto no debe cambiar los patrones vehiculares que se registran. Esta consistencia en el

comportamiento del tránsito será en beneficio de la operación de las carreteras analizadas ya que los niveles del flujo vehicular se mantendrán dentro de los niveles aceptables, permitiendo que operen de forma satisfactoria por los próximos años.

Recomendaciones

La urbanización Monte Verde traerá una cantidad adicional de vehículos al área analizada que será manejada adecuadamente por la carretera PR-108, en las inmediaciones del proyecto, si se hacen unos ajustes en los dispositivos de control del tránsito de la intersección con el camino Adelina. Se tienen que instalar rótulos de "Pare" en los cuatro accesos a la intersección, de manera que todos los conductores que lleguen a la misma tengan que detenerse y tomar las debidas precauciones antes de proseguir su marcha. Actualmente, debido al relativamente bajo volumen vehicular que utiliza estas facilidades, muchos conductores transitan por el lugar a exceso de velocidad. La recomendación ayudará a controlar esta situación, haciendo de la intersección una más segura. Este cambio en los controles de tránsito permitirá que las demoras que experimentan actualmente los usuarios de la facilidad se mantengan bajas, resultando en una operación aceptable en el futuro. No será necesario modificar a la otra intersección aquí analizada. En la figura 15 se ilustran, de forma esquemática, los cambios recomendados.

Los ajustes mencionados en el pasado párrafo serán responsabilidad del desarrollador del proyecto propuesto. Los criterios que se deben tomar en consideración al efectuar el diseño recomendado aparecen en las guías vigentes (**AATSA/ITE/AASHTO, 2003**) (**ACT, 1996**). Con las recomendaciones aquí resumidas, el sistema

vial analizado deberá operar bien a corto, mediano y largo plazo, tomando en consideración la construcción de la urbanización Monte Verde.

Certificación

Este informe fue preparado basado en las condiciones existentes al momento del trabajo de campo y otras condiciones citadas en las referencias aquí indicadas e información provista por el proponente. Los diseñadores del proyecto deben verificar que ninguna condición haya sido pasada por alto, requiriéndose mayor clarificación y/o comentarios adicionales. Este documento fue preparado por Pérez Berenguer y Asociados y aplica únicamente a la urbanización Monte Verde (Caso 2006-29-0001-JPU-ISV-M en la Junta de Planificación de Puerto Rico), propuesto por el ingeniero José N. Vélez Matías, para la carretera PR-108, Km. 6.5, barrios Río Cañas y Leguisamo, Mayagüez, Puerto Rico. Los datos, análisis, discusiones, conclusiones y recomendaciones aquí formuladas no aplican a ningún otro proyecto.

Certifico Correcto


José L. Pérez Berenguer, MSCE, PE, PTOE, SIT

Referencias

- AASHTO (2004) *A policy on geometric design of highways and streets*. Fifth Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- AATSA/ITE/AASHTO (2003) *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. 2003 Edition, American Traffic Safety Services Association, Institute of Transportation Engineers, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC
- ACT (1996) *Standard Drawings*. Puerto Rico Department of Transportation and Public Works, Puerto Rico Highway and Transportation Authority, San Juan, Puerto Rico
- Autodesk (1999) *AutoCad 2000*. Version 15.0.02, San Rafael, CA
- Corel Corporation Limited (1999) *Corel Quattro Pro*. Version 9.0.0.588, Farmingdale, NY
- Corel Corporation Limited (1999) *WordPerfect*. Version 9.0.0.588, Farmingdale, NY
- ELA (2005) http://www.dtop.gov.pr/transito/search_transit_data.asp
Departamento de Transportación y Obras Públicas, Autoridad de Carreteras y Transportación, Programa de Datos de Tránsito, San Juan, Puerto Rico
- ELA (2005) *Reglamento de Lotificación y Urbanización Revisado*. (Reglamento de Planificación Número 3), vigencia: 30 de junio de 2005, Oficina del Gobernador, Junta de Planificación y Administración de Reglamentos y Permisos, San Juan, Puerto Rico
- ELA (2004) *Guías para la Preparación de Estudios Operacionales de Accesos y de Tránsito para Puerto Rico*. Departamento de Transportación y Obras Públicas, Autoridad de Carreteras y Transportación, San Juan, Puerto Rico
- ELA (2000) *Reglamento de Zonificación de Puerto Rico*. (Reglamento de Planificación Número 4), vigencia: 5 de noviembre de 2000, Oficina del Gobernador, Junta de Planificación, San Juan, Puerto Rico
- Edwards, J. D. (1994) *Transportation Planning Handbook*. Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

- Homburger, W. S., Kell, J. H. and Perkins, D. D. (1992) *Fundamentals of Traffic Engineering*. 13th edition, course notes, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley, Berkeley, California.
- ITE (2003) *Trip Generation*. Seventh edition, Volume 2 of 3, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC.
- ITE (2003) *Trip Generation*. Seventh edition, Volume 3 of 3, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC.
- ITE (2001) *Trip Generation Handbook - An ITE Recommended Practice*. Institute of Transportation Engineers, Washington, DC.
- Khisty, C. J. (1990) *Transportation Engineering - an introduction*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- McShane, W. R., Roess, R. P. and Prassas, E. S. (1998) *Traffic Engineering*. Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Nu-Metrics (2002) *Highway Data Management (HDM) Software*. Versión 8.0, Build 8017, Uniontown, PA
- Nu-Metrics (1994) *CDM 20/30*. Versión 2.3, Nu-Metrics Instrumentation, Uniontown, PA
- Radelat, G. (2003) *Principios de Ingeniería de Tránsito*. Institute of Transportation Engineers, Washington, DC
- Robertson, D. H., Hummer, J. E. and Nelson, D. C. (1994) *Manual of Transportation Engineering Studies*. Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Sepúlveda, J. A., Souder, W. E. and Gottfried, B. S. (1984) *Theory and Problems of Engineering Economics*. Schaum's Outline Series, Mc Graw-Hill, Inc., NY.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual*. Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
- University of Florida (2005) *Highway Capacity Software*. Version 5.21, Gainesville, FL.

Apéndices

Apéndice 1. Figuras



Figura 1. Mapa de carreteras del área analizada. El proyecto se ilustra en azul mientras que las intersecciones analizadas se circulan en rojo

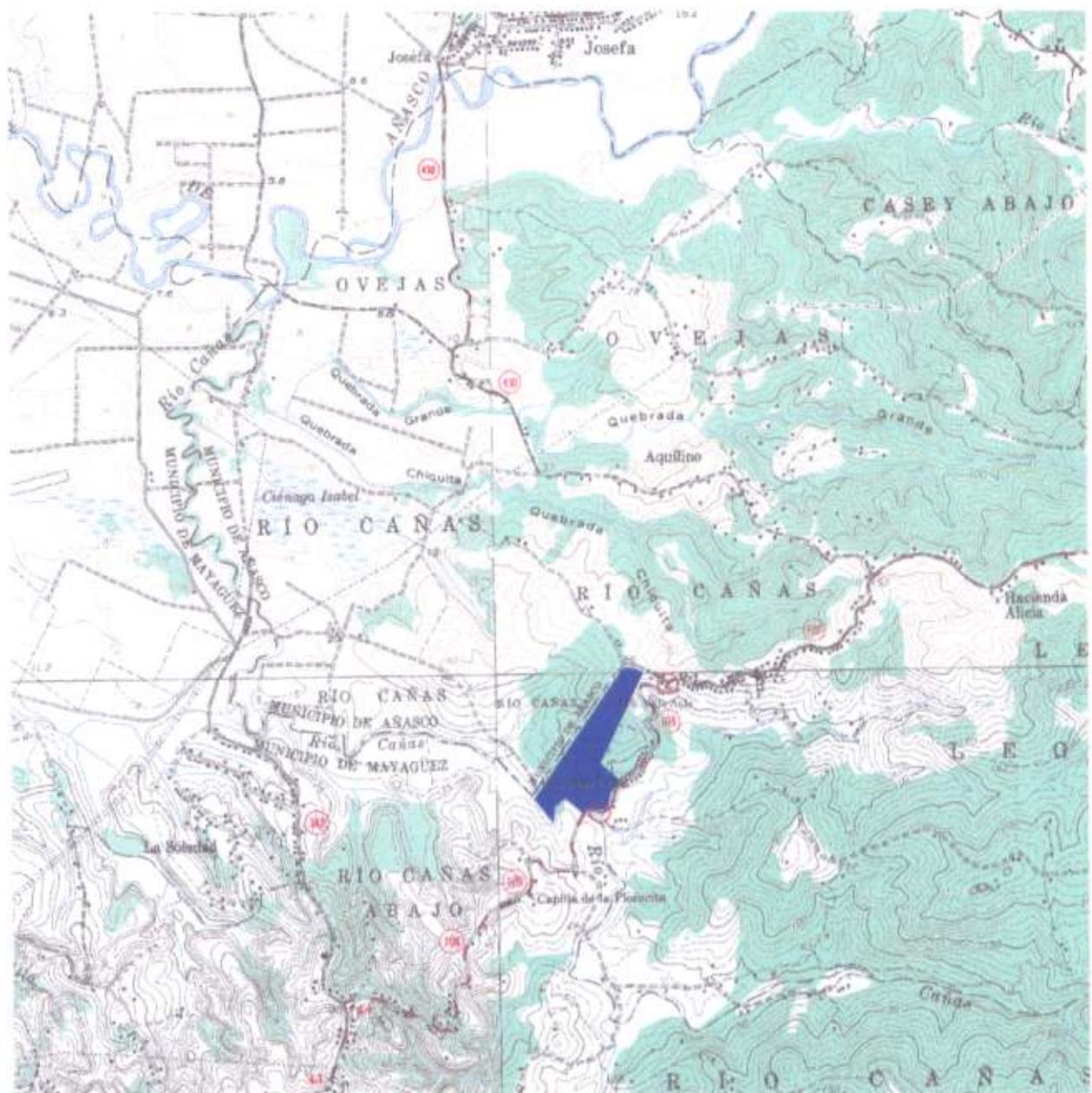


Figura 2. Cuadrángulo del área del estudio. El proyecto se ilustra en azul mientras que las intersecciones analizadas se circulan en rojo. Figura no está a escala



Figura 3. Intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina, vista desde el suroeste



Figura 4. Intersección de la carretera PR-108 y el camino Leguísamo, vista desde el este.

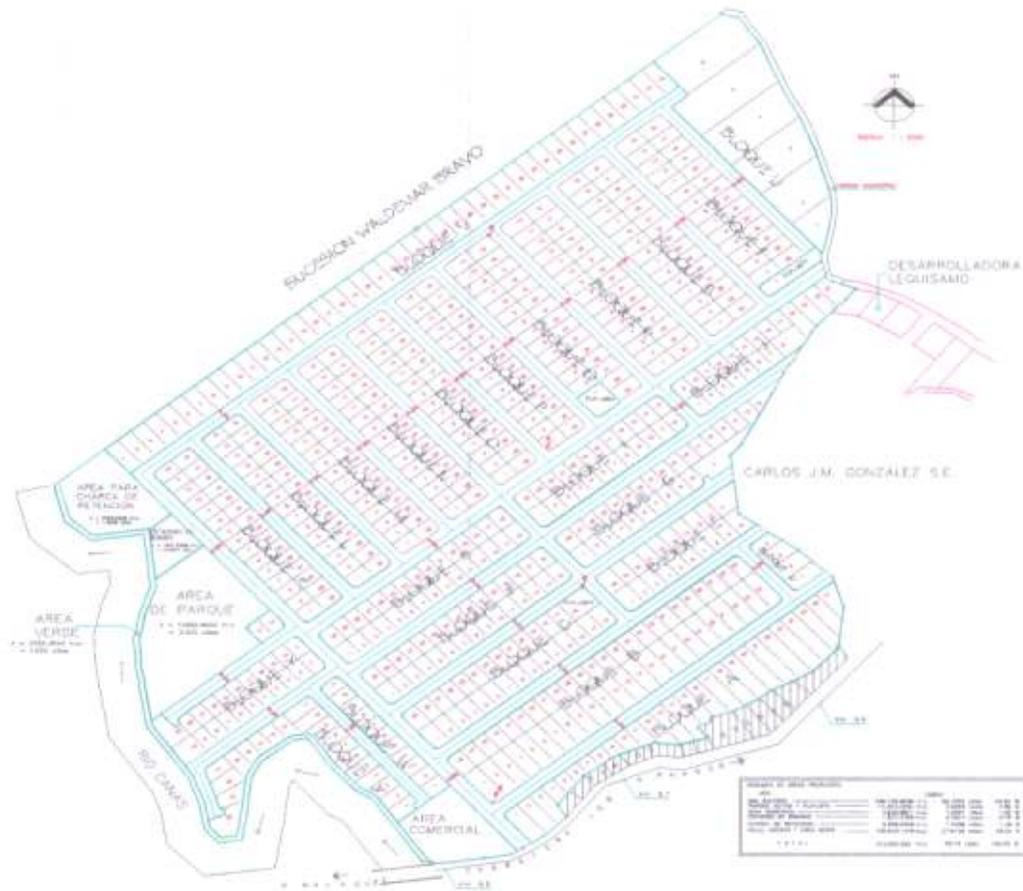


Figura 5. Planta del Proyecto Propuesto. Dibujo no está a escala

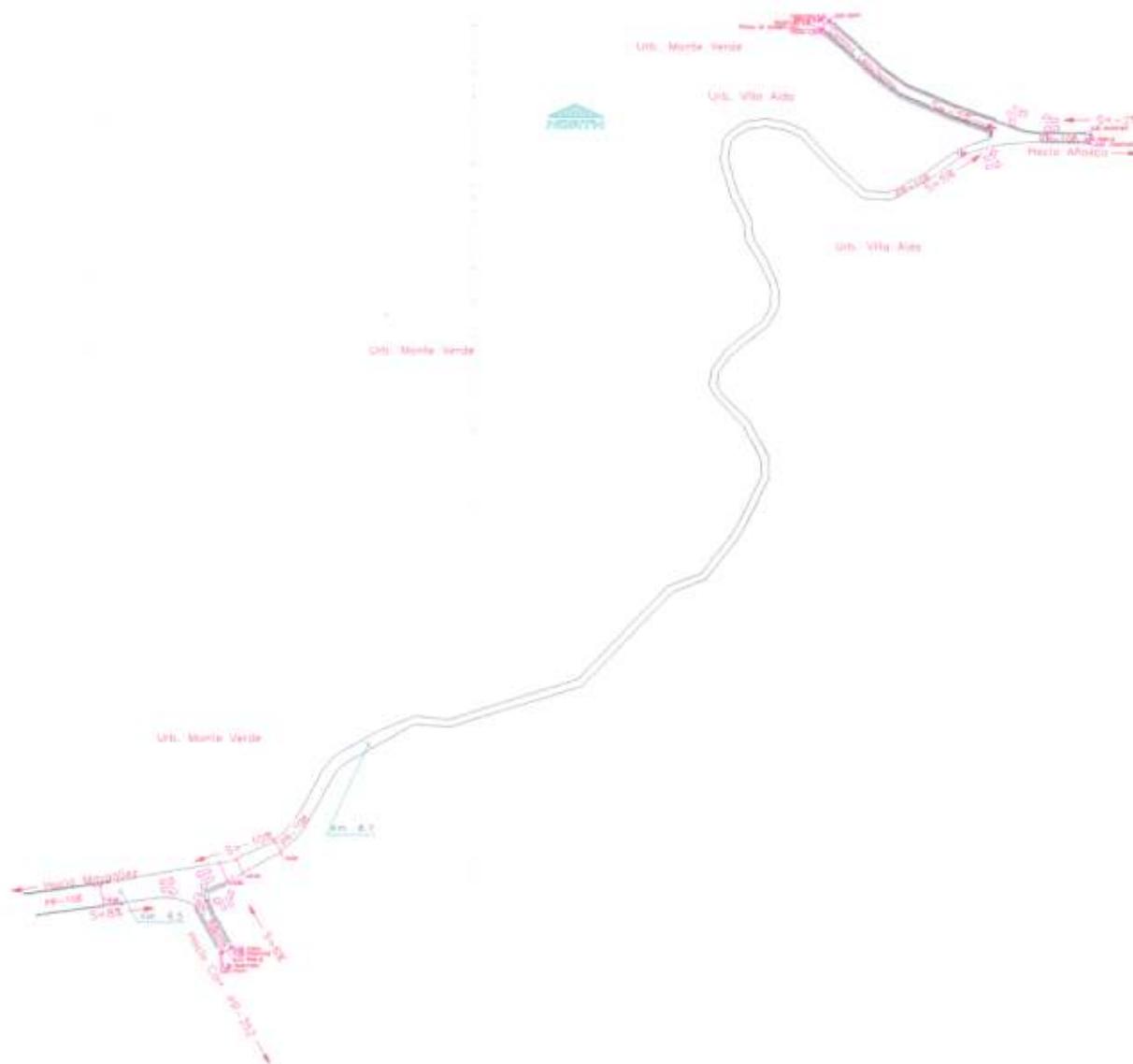


Figura 6. Esquema de la red vial analizada. La velocidad máxima permitida en la carretera PR-108 es 40 mph mientras que en las otras vías es 25 mph. No existen paradas de autobuses ni se permite el estacionamiento en el área. Los movimientos analizados se ilustran con flechas magenta. La pendiente se indica con una "S". Las dimensiones se expresan en metros. Dibujo no está a escala



Figura 7. Flujo vehicular y Factor de la Hora Pico actual, por movimiento y total, durante las horas críticas de un día laborable típico, en la red vial analizada. También se ilustra el porcentaje del volumen vehicular compuesto por camiones y la longitud de cola, por movimiento, para los mismos períodos. El flujo vehicular se expresa en vehículos por hora. El Factor de la Hora Pico se ilustra entre paréntesis. La longitud de cola se expresa en vehículos y se ilustra entre corchetes. En los movimientos donde no se indica el valor de alguna variable, esta tiene un valor de cero

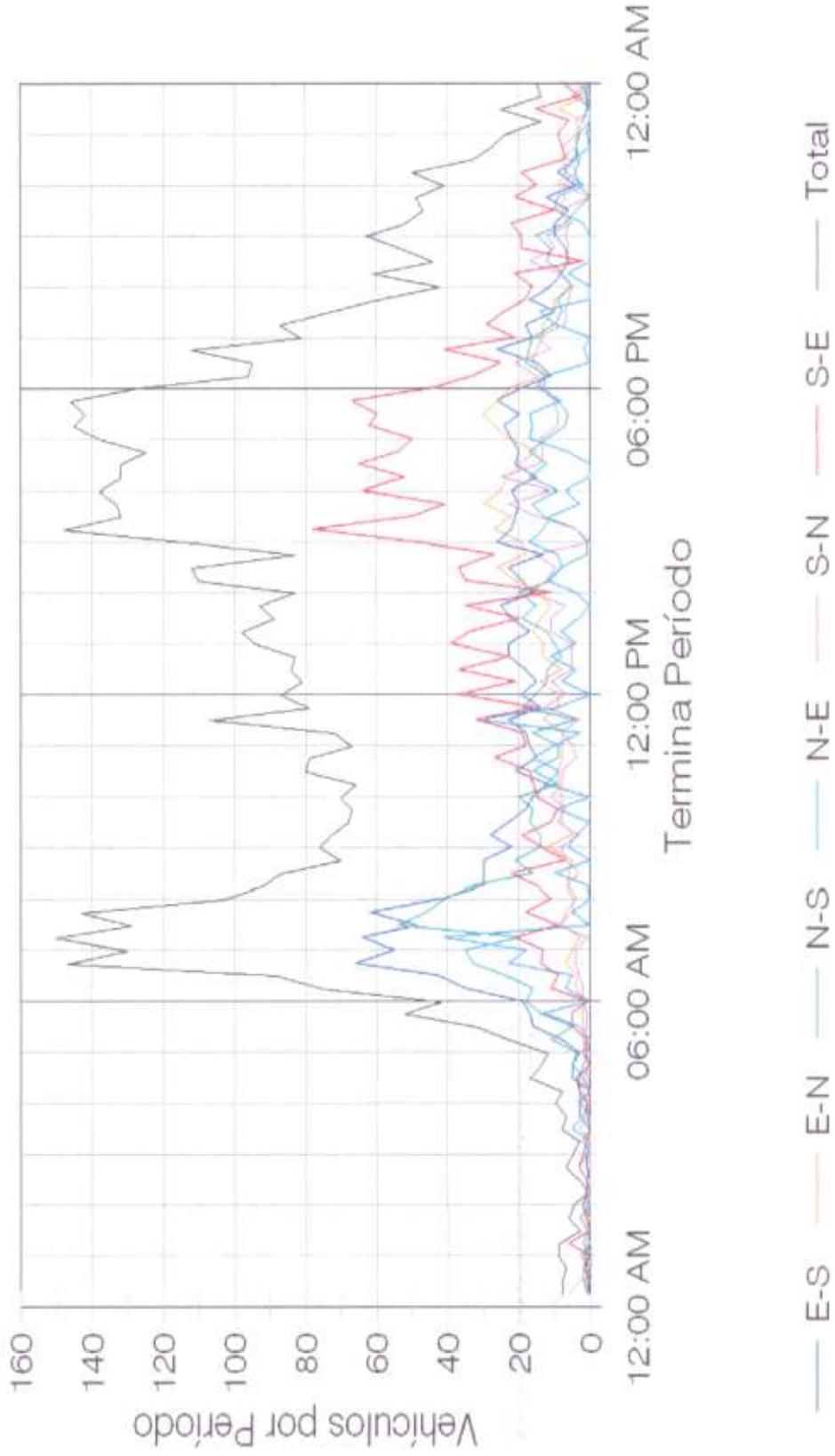


Figura 8. Patrón actual del flujo vehicular, por movimiento y total, en la intersección de la carretera PR-108 y el camino Adelina, durante un día laborable típico

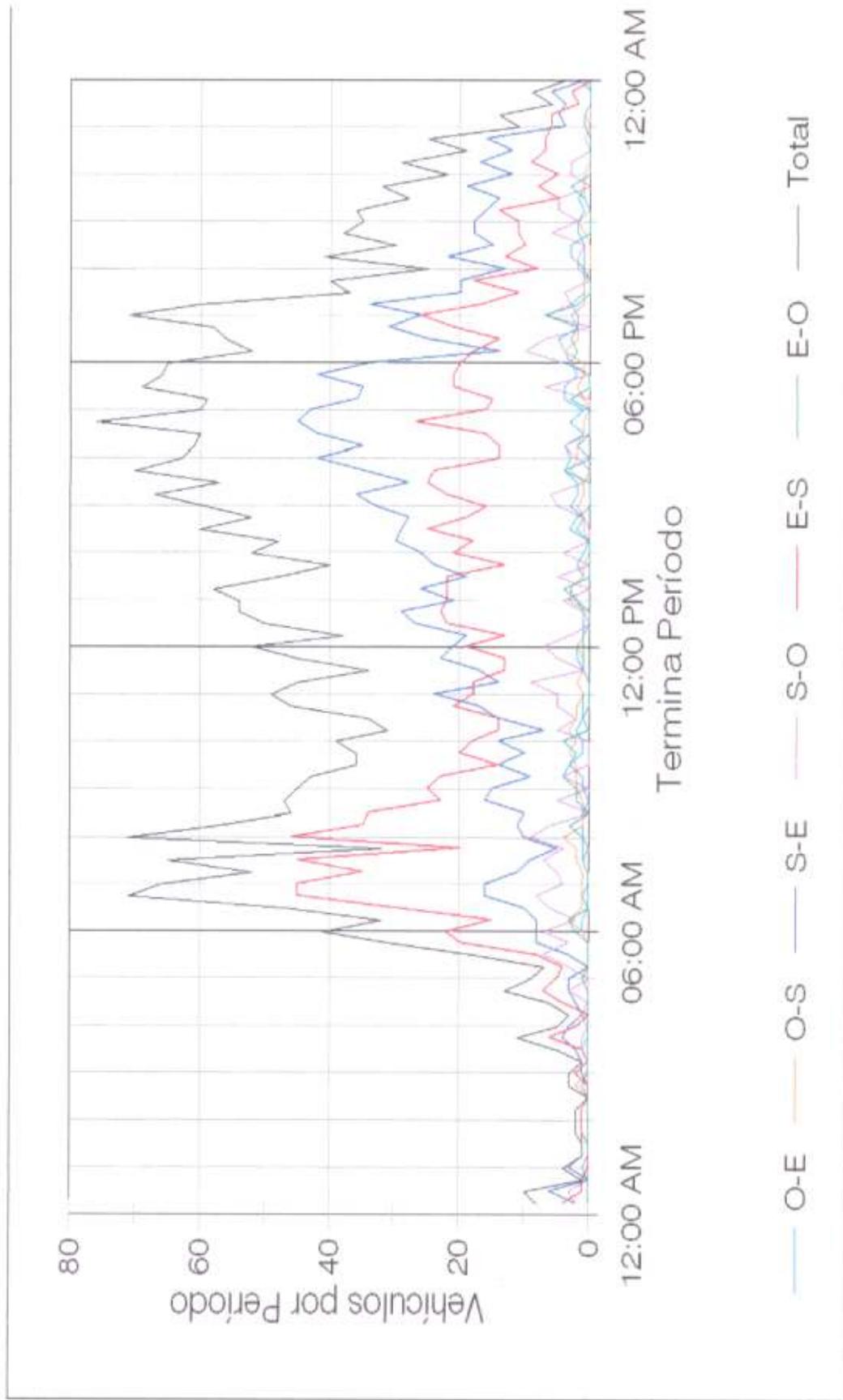


Figura 9. Patrón actual del flujo vehicular, por movimiento y total, en la intersección de la carretera PR-108 y el camino Leguisamo, durante un día laborable típico

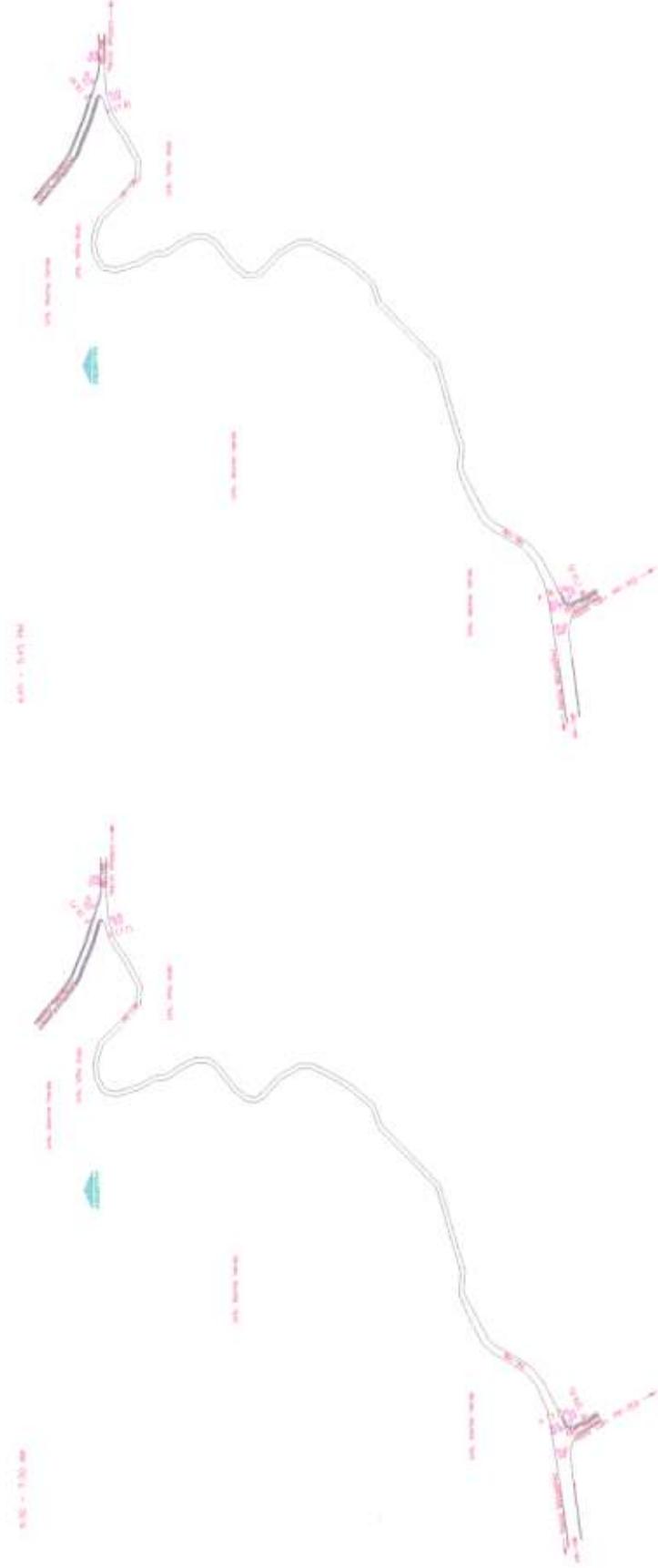


Figura 10. Nivel de Servicio al que opera actualmente, durante las horas pico de un día laborable típico, por movimiento y total, la red vial analizada. Las demoras por control aparecen entre paréntesis, en segundos por vehículo

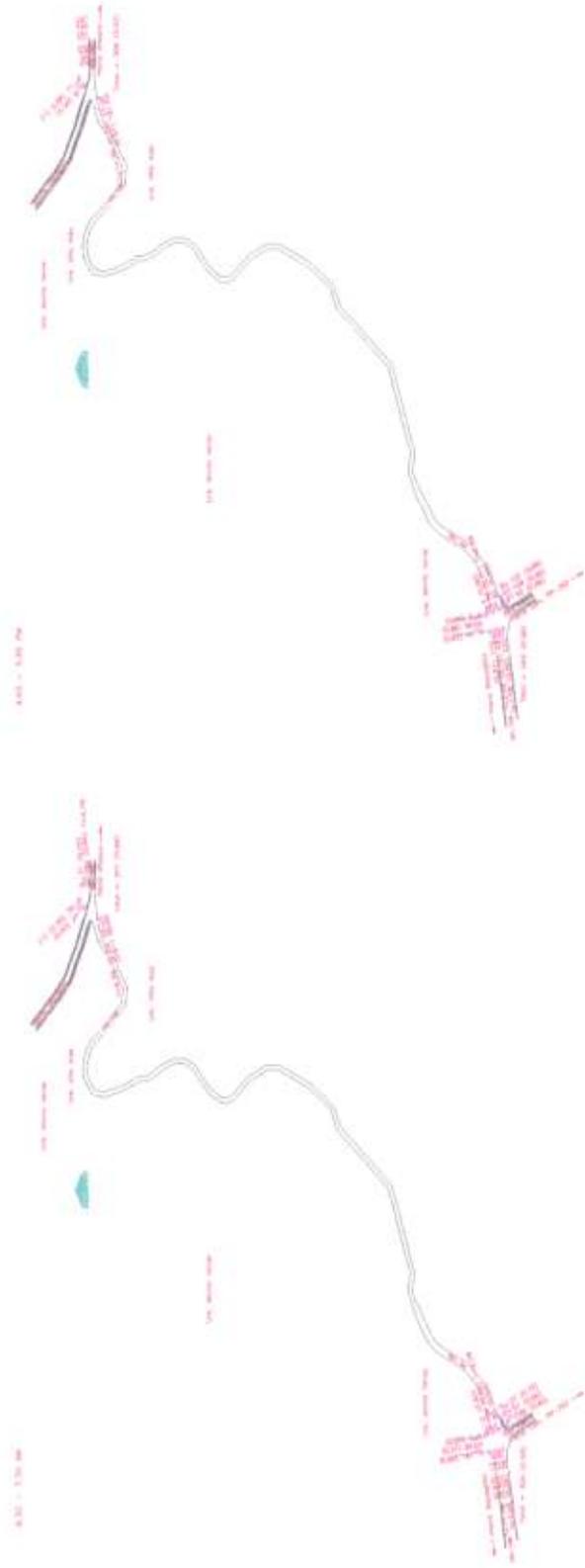


Figura 11. Flujo vehicular y Factor de la Hora Pico, por movimiento y total, durante las horas críticas de un día laborable típico, en la red vial analizada en este estudio, para el momento en el que se ocupe el proyecto propuesto. También se ilustra el porcentaje del volumen vehicular compuesto por camiones y la longitud de cola, por movimiento, para los mismos períodos. El flujo vehicular se expresa en vehículos por hora. El Factor de la Hora Pico se ilustra entre paréntesis. La longitud de cola se expresa en vehículos y se ilustra entre corchetes. En los movimientos donde no se indica el valor de alguna variable, esta tiene un valor de cero

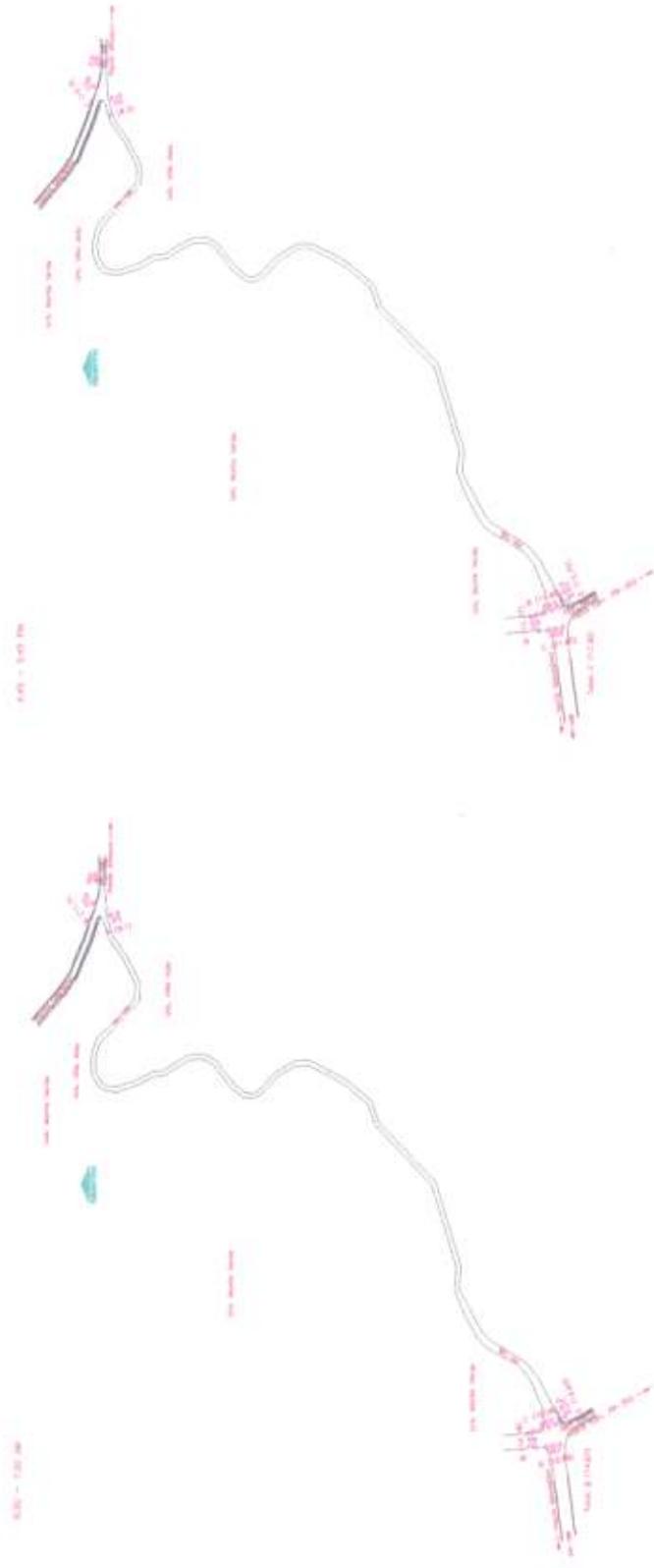


Figura 12. Nivel de Servicio al que operará la red vial analizada en este estudio, durante las horas pico de un día laborable típico, por movimiento y total, al año en el que se ocupe el proyecto propuesto. La demora por control aparece entre paréntesis, en segundos por vehículo



Figura 13. Flujo vehicular y Factor de la Hora Pico, por movimiento y total, durante las horas críticas de un día laborable típico, en la red vial analizada en este estudio, para cinco años después de que se ocupe el proyecto propuesto. También se ilustra el porcentaje del volumen vehicular compuesto por camiones y la longitud de cola, por movimiento, para los mismos períodos. El flujo vehicular se expresa en vehículos por hora. El Factor de la Hora Pico se ilustra entre paréntesis. La longitud de cola se expresa en vehículos y se ilustra entre corchetes. En los movimientos donde no se indica el valor de alguna variable, esta tiene un valor de cero

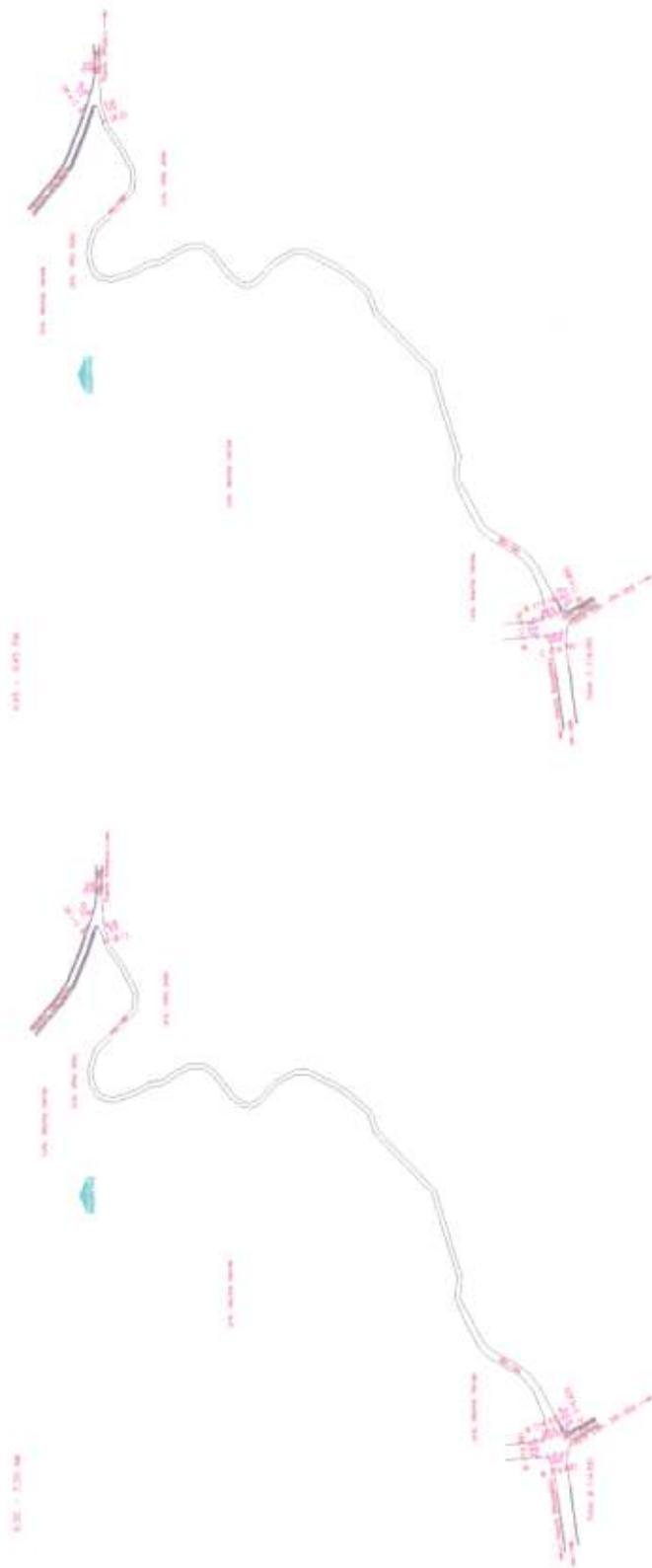


Figura 14. Nivel de Servicio al que operará la red vial analizada en este estudio, durante las horas pico de un día laborable típico, por movimiento y total, para cinco años después de que se ocupe el proyecto propuesto. La demora por control aparece entre paréntesis, en segundos por vehículo

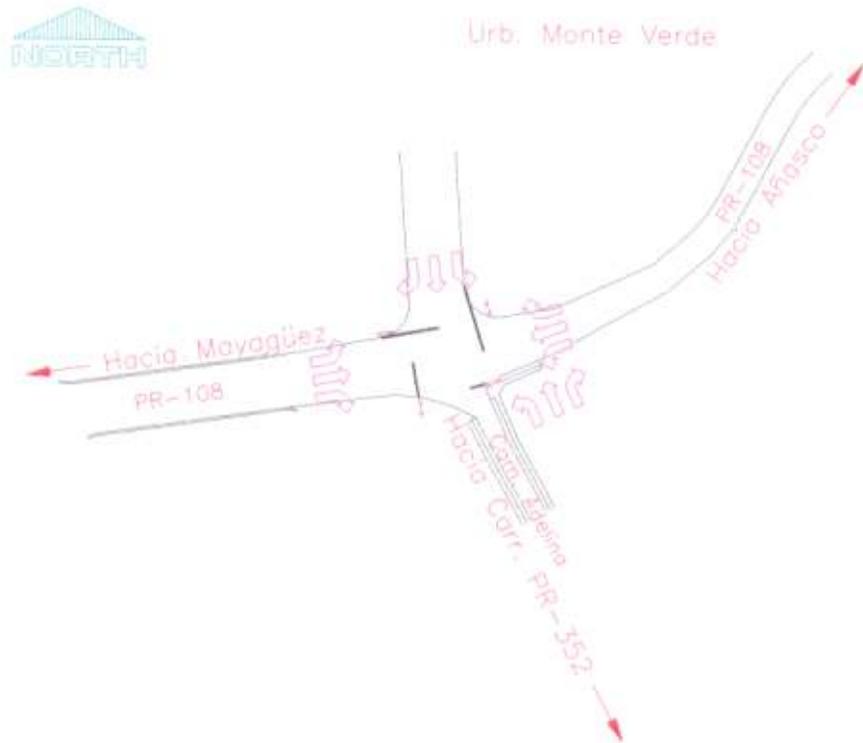


Figura 15. Esquema ilustrando las mejoras propuestas para el control de tránsito en la intersección de la carretera PR-108 con el camino Adalina y la entrada al proyecto propuesto. Las recomendaciones aparecen en magenta. Las dimensiones se expresan en metros. La intersección de la carretera PR-108 y el camino Leguísamo no se ilustra debido a que no se proponen modificaciones a la misma

Apéndice 2. Guías utilizadas en el análisis operacional (TRB, 2000)

TRB 2000, Appendix 2, A1, Table 1-10

EXHIBIT 10-24. EXAMPLE SERVICE VOLUMES FOR SIGNALLED INTERSECTION
(SEE FOOTNOTE FOR ASSUMED VALUES)

Through lanes	LOS				
	A	B	C	D	E
	Service volumes (veh/h)				
1	N/A	150	150	150	150
2	N/A	200	860	1090	1270
3	N/A	N/A	1750	1510	1580

Note:

N/A = not achievable given assumptions noted below.

This table is derived from the following assumptions:

- Urban site with hourly volumes for subject approach including turns.
- All approaches at intersection have the same demand in the subject approach.
- Left turns equal to 10% of approach demand, right turns equal to 10% of approach demand.
- Phasing = protected left with exclusive left turn lane in addition to through lanes.
- All approaches are two-way streets.
- Peak hour factor = 0.92.
- Saturation flow for each approach is computed assuming the following defaults: lane width = 12.0 m, percent heavy vehicles = 7%, grades = 0%, parking = 0%, bus = 2%, pedestrian = 50%, mix type = CBD, lane utilization = 1.0, 0.2 lane, 1.0 for 2 lanes, 1.0 for 3 lanes, base saturation flow rate = 1900 pcu/h. These assumptions result in adjusted saturation flow rates of 1720 for the left turn lanes and 1760 vehicles for the through lanes.
- Lost time = 16 s.
- Maximum signal $\lambda = 1.0$.
- Preferred signal $\lambda = 0.90$.
- Actual type = 1.
- Average period $P = 32.5$ s.
- Control point = 0.
- Signal timing set to maximize service volumes subject to pedestrian clearance time requirements, minimum phase length, and maximum signal length of 160 s.
- Cycle lengths are as follows:

Through lanes	LOS A	LOS B	LOS C	LOS D	LOS E
1	N/A	60 s	60 s	70 s	70 s
2	N/A	20 s	80 s	110 s	120 s
3	N/A	N/A	80 s	100 s	100 s

Note: The minimum cycle lengths to serve pedestrian are 60 s for single-lane approach intersection, 70 s for two-lane approach intersection, and 80 s for a three-lane approach intersection. Minimum pedestrian clearance times are 1 s per through lane plus 1 s for left turn lane plus 6 s walk delay. Minimum left-turn phase amount is 6 s plus phase change and clearance interval of 1 s.

IV. UNSIGNALIZED INTERSECTIONS

Three types of unsignalized intersections are addressed in this manual: two-way stop-controlled (TWSC), all-way stop-controlled (AWSC), and roundabout.

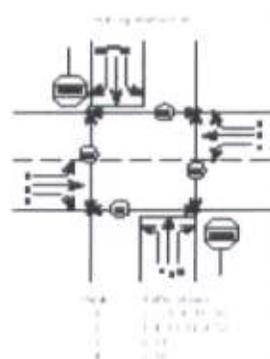
CHARACTERISTICS OF TWSC INTERSECTIONS

TWSC intersections are common in the United States and abroad. Stop signs are used to control vehicle movements at such intersections. At TWSC intersections, the stop-controlled approaches are referred to as the minor street approaches; they can be either public streets or private driveways. The intersection approaches that are not controlled by stop signs are referred to as the major street approaches.

A three-way intersection is considered to be a standard type of TWSC intersection if the major street approach (or, the sum of the 2 combinations) is controlled by a stop sign. Three-way intersections where two of the three approaches are controlled by stop signs are a special form of unsignalized intersection control.

FLOW AT TWSC INTERSECTIONS

TWSC intersections assist the right-of-way giving conflicting traffic streams according to the following hierarchy:



- Rank 1** All conflicting movements yield the right-of-way to any through and right-turning vehicles on the major street approaches. The major street through and right-turning movements are the highest-priority movements at a TWSI intersection.
- Rank 2** Vehicles turning left from the major street onto the minor street yield only to conflicting major street through and right-turning vehicles. All other conflicting movements at a TWSI intersection yield to these major street left-turning movements. Vehicles turning right from the major street onto the minor street yield only to conflicting major street through movements.
- Rank 3** Minor street through vehicles yield to all conflicting major street through, right-turning, and left-turning movements.
- Rank 4** Minor street left-turning vehicles yield to all conflicting major street through, right-turning, and left-turning vehicles and to all conflicting minor street through and right-turning vehicles.

Even though the hierarchy described above suggests that the highest-priority movements experience no delay as they travel through a TWSI intersection, experience shows that their right-of-way is sometimes preempted by other conflicting movements. Such preemptions most often occur during periods of congestion when vehicles in the conflicting movements are experiencing long delays and queues (or when separate left-turn bays are not provided on the major street).

GAP ACCEPTANCE MODELS

Gap acceptance models begin with the recognition that TWSI intersections give no positive indication or control to the driver on the minor street as to when it is safe to leave the stop line and enter the major traffic stream. The driver must determine both when a gap in the major stream is large enough to permit safe entry and when it is the driver's turn to enter on the basis of the relative priority of the competing traffic streams. This decision-making process has been formalized into what is commonly known as gap acceptance theory. Gap acceptance theory includes three basic elements: the size and distribution (availability) of gaps in the major traffic stream; the usefulness of these gaps to the minor stream drivers; and the relative priority of the various traffic streams at the intersection.

Availability of Gaps

The first element to consider is the proportion of gaps of a particular size in the major traffic stream offered to the driver entering from the minor stream, as well as the pattern of arrival times of vehicles. The distribution of gaps between the vehicles in the different streams has a major effect on the performance of the intersection.

Usefulness of Gaps

The second element to consider is the extent to which drivers find gaps of a particular size useful when attempting to enter the intersection. It is generally assumed in gap acceptance theory that drivers are both consistent and homogeneous. In reality, this assumption is not entirely correct. Studies have demonstrated that different drivers have different gap acceptance thresholds and even that the gap acceptance threshold of an individual driver often changes over time (9). In this manual the critical gap and follow-up times are considered representative of a statistical average of the driver population in the United States.

Relative Priority of Various Streams at the Intersection

Different streams have different ranking in a priority hierarchy. The gap acceptance process evaluates them with impedance terms through the order of departures. Especially, gap acceptance processes assume that drivers on the major road or stream are treated as

Critical gap is the minimum time between successive major street vehicles where minor street vehicles make a maneuver.

Follow-up time is the time span between the departure of one vehicle from the minor street and the departure of the next vehicle using the same gap.

by the major street drivers. If this is not the case, the gap acceptance process has to be modified.

CAPACITY OF TWSC INTERSECTIONS

At TWSC intersections, drivers on the controlled approaches are required to select gaps in the major street flow through which to execute crossing or turning maneuvers on the basis of judgment. In the presence of a queue, each driver on the controlled approach must also use some time to move into the front-of-queue position and prepare to evaluate gaps in the major street flow. Thus, the capacity of the controlled legs is based on three factors: the distribution of gaps in the major street traffic stream, driver judgment in selecting gaps through which to execute the desired maneuvers, and the follow-up time required by each driver in a queue.

The basic capacity model assumes that gaps in the conflicting stream are randomly distributed. When traffic signals on the major street are within 0.4 km of the subject intersection, flows may not be random but will likely have some platoon structure.

Pedestrians crossing an intersection impede lower-ranked minor street vehicles, but only one lane at a time. This is because vehicles performing a given through or turning movement tend to pass in front of or behind pedestrians once a driver's target lane is clear. Pedestrian flows are counted somewhat differently than are vehicle flows. If the typical pattern is for pedestrians to walk individually, each pedestrian is counted individually in the pedestrian flow. However, if pedestrians tend to cross in groups, the number of groups is counted. The important factor is to determine the number of blockages. In most cases, this will be a combination of individual pedestrians and groups of pedestrians. Thus, as defined for the purpose of determining the pedestrian impedance, the pedestrian volume is the sum of individual pedestrians crossing individually and groups of pedestrians crossing together during the analysis time period.

The existence of a raised or striped median or a two-way left-turn lane (TWLTL) on the major street often causes some degree of a gap acceptance phenomenon known as "two-stage gap acceptance." For example, the existence of a raised or striped median causes a significant proportion of the minor street drivers to first cross part of the major street approach and then pause in the middle of the road to wait for another gap in the other approach. If a TWLTL exists on the major street, the minor street left-turn vehicle usually merges into the TWLTL first, then seeks a usable gap on the other approach while slowly moving some distance along the TWLTL. Both of these behaviors can increase capacity.

The geometric elements near the stop line on the stop-controlled approaches of many intersections may result in a higher capacity than the shared-lane capacity equation may predict. This is because, at such approaches, two vehicles may occupy or depart from the stop line simultaneously as a result of a large curb radius, a tapered curb, or a parking prohibition. The magnitude of this effect will depend in part on the turning movement volumes and the resultant probability of two vehicles being simultaneously at the stop line and on the storage length available to feed the second position at the stop line.

Often, two or three movements share a single lane on the minor approach. With this lane sharing, vehicles from different movements do not have simultaneous access to gaps, nor can more than one vehicle from the sharing movements use the same gap, which reduces capacity.

The existence of nearby signalized intersections (e.g., traffic signals on the minor street within 0.4 km of the subject intersection) typically causes vehicles to arrive at the intersection in platoons. This influences the size and distribution of available gaps and may cause an increase in the minor street capacity. The greater the number of vehicles traveling in platoons, the higher the minor street capacity for a given opposing volume. This is due to the greater probability of large gaps that more than one minor street vehicle can use. If signalized intersections exist upstream of the subject intersection in both directions, the effects are much more complex.

CHARACTERISTICS OF AWSC INTERSECTIONS

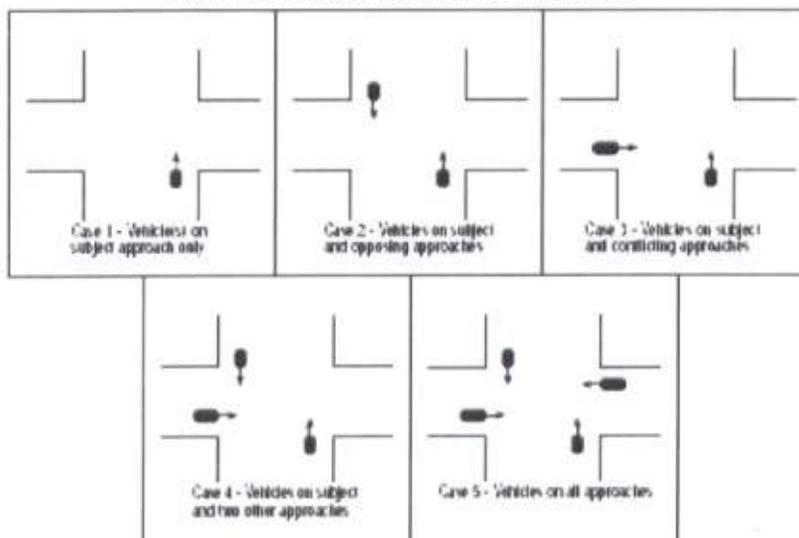
AWSC intersections require every vehicle to stop at the intersection before proceeding. Since each driver must stop, the judgment as to whether to proceed into the intersection is a function of traffic conditions on the other approaches. If no traffic is present on the other approaches, a driver can proceed immediately after the stop is made. If there is traffic on one or more of the other approaches, a driver proceeds only after determining that there are no vehicles currently in the intersection and that it is the driver's turn to proceed.

FLOW AT AWSC INTERSECTIONS

Field observations indicate that AWSC intersections operate in either a two-phase or a four-phase pattern, based primarily on the complexity of the intersection geometry. Flows are determined by a consensus of right-of-way that alternates between the north-south and east-west streams (for a single-lane approach) or proceeds in turn to each intersection approach (for a multilane approach intersection).

If traffic is present on the subject approach only, vehicles depart as rapidly as individual drivers can safely accelerate into and clear the intersection. This is illustrated as Case 1 in Exhibit 10-25.

EXHIBIT 10-25. ANALYSIS CASES FOR AWSC INTERSECTIONS



If traffic is present on the other approaches, as well as on the subject approach, the saturation headway on the subject approach will increase somewhat, depending on the degree of conflict that results between the subject approach vehicles and the vehicles on the other approaches. In Case 2, some uncertainty is introduced with a vehicle on the opposing approach, and thus, the saturation headway will be greater than for Case 1. In Case 3, vehicles on one of the conflicting approaches further restrict the departure rate of vehicles on the subject approach, and the saturation headway will be longer than for Cases 1 or 2. In Case 4, two vehicles are waiting on opposing or conflicting approaches. When all approaches have vehicles as in Case 5, saturation headways are even longer than in the other cases, since the potential for conflict between vehicles is greatest. The increasing degree of potential conflict translates directly into longer driver decision

times and duration on headways. Since no traffic signal controls the stream movement or allocate the right-of-way to each conflicting traffic stream, the rate of departure is controlled by the interaction between the traffic streams themselves.

CHARACTERISTICS OF ROUNDABOUTS

Three main features of roundabouts are illustrated in Exhibit 10-26: the central island, the circulating roadway, and the splitter island (19). A roundabout is distinguished from a traffic circle in general by the following characteristics:

- Vehicles entering a roundabout are required to yield to vehicles within the circulating roadway. Because of right-of-way constraints, some small traffic circles are unable to deflect vehicle paths properly to achieve the desired speed reduction.
- The circulating vehicles are not subjected to any other right-of-way conflict, and weaving is kept to a minimum. This provides the means by which the priority is distributed and alternated among vehicles. A vehicle entering as a subordinate vehicle immediately becomes a priority vehicle until it exits the roundabout. Some traffic circles impose control measures within the circulating roadway or are designed with weaving areas to resolve conflict between movements.
- Some small circles do not control speed because of the small central island diameter and because the radius of the vehicle path is large.
- No parking is allowed on the circulating roadway. Parking maneuvers, if allowed, would prevent the roundabout from operating in a manner consistent with its design. Some larger traffic circles permit parking within the circulating roadway.
- No pedestrian activities take place on the central island. Pedestrians are not expected to cross the circulating roadway. Some larger traffic circles provide for pedestrians crossing to, and activities on, the central island.
- All vehicles circulate counterclockwise (in countries with a drive right policy) passing to the right of the central island. In some small traffic circles (sometimes called mini-traffic circles) left-turning vehicles are expected to pass to the left of the central island.
- Roundabouts are designed to properly accommodate specified design vehicles; some smaller traffic circles are unable to accommodate large vehicles, usually because of right-of-way constraints.
- Roundabouts have raised splitter islands on all approaches. Splitter islands are an essential safety feature, required to separate traffic moving in opposite directions and to provide refuge for pedestrians. Some smaller traffic circles do not provide raised splitter islands.
- When pedestrian crossings are provided for on the approach roads, they are placed approximately one car length back from the entry point. Some traffic circles accommodate pedestrians in other places, such as the yield point.
- Vehicle speed into and through roundabouts is controlled by the physical features of a roundabout and not by signs or pavement markings.

PERFORMANCE MEASURES

Four measures are used to describe the performance of TWSC intersections: control delay, delay to major street through vehicles, queue length, and v/c ratio. The primary measure that is used to provide an estimate of LOS is control delay. This measure can be estimated for any movement on the minor (i.e., the stop-controlled) street. By summing delay estimates for individual movements, a delay estimate for each minor street movement and minor street approach can be achieved.

For AWSC intersections, the average control delay (in seconds per vehicle) is used as the primary measure of performance. Control delay is the increased time of travel for a vehicle approaching and passing through an AWSC intersection compared with a free-flow vehicle if it were not required to slow or stop at the intersection.

PREFACE

OVERVIEW

The procedures in this chapter can be used to analyze the capacity and level of service, lane requirements, and effects of traffic and design features of two-way stop-controlled (TWSC) and all-way stop-controlled (AWSC) intersections. In addition, a procedure for estimating capacity of roundabouts is presented.

Each type of unsignalized intersection (TWSC, AWSC), and roundabout is addressed in a separate part of this chapter. TWSC intersections are covered in Part A, AWSC intersections are covered in Part B, and information on roundabouts is provided in Part C. References for all parts are found in Part D. Example problems that demonstrate the calculations and results achieved by applying the procedures are also found in Part D.

LIMITATIONS OF THE METHODOLOGY

This chapter does not include a detailed method for estimating delay for yield sign controlled intersections. However, with appropriate changes in the values of key parameters, the analyst could apply the TWSC method to yield-controlled intersections.

All of the methods are for steady-state conditions (i.e., the demand and capacity conditions are constant during the analysis period); the methods are not designed to evaluate how fast or how often the facility transitions from one demand/capacity state to another. Analysts interested in that kind of information should consider applying simulation models.

PART A. TWO-WAY STOP-CONTROLLED INTERSECTIONS

I. INTRODUCTION - PART A

In this section a methodology for analyzing capacity and level of service of two-way stop-controlled (TWSC) intersections is presented.

II. METHODOLOGY - PART A

Capacity analysis at TWSC intersections depends on a clear description and understanding of the interaction of drivers on the minor or stop-controlled approach with drivers on the major street. Both gap acceptance and empirical models have been developed to describe this interaction. Procedures described in this chapter rely on a gap acceptance model developed and refined in Germany (2). The concepts from this model are described in Chapter 10. Exhibit 17-1 illustrates input to and the basic computation order of the method described in this chapter.

LEVEL-OF-SERVICE CRITERIA

Level of service (LOS) for a TWSC intersection is determined by the computed or measured control delay and is defined for each minor movement. LOS is not defined for the intersection as a whole. LOS criteria are given in Exhibit 17-2.

Background and concepts for TWSC intersections are in Chapter 10.

Details of the use and range of approaches for determining level of service.

LOS is not defined for the signal intersection.

EXHIBIT 17-1. TWSC UNSIGNALIZED INTERSECTION METHODOLOGY

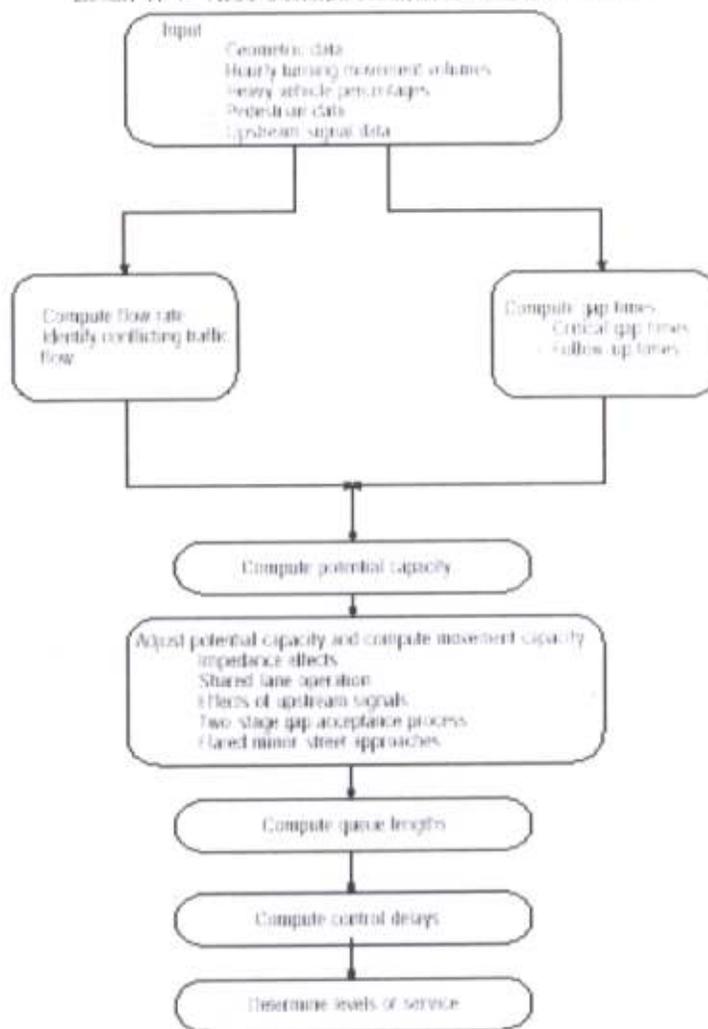


EXHIBIT 17-2. LEVEL-OF-SERVICE CRITERIA FOR TWSC INTERSECTIONS

Level of Service	Average Control Delay (s/veh)
A	0-10
B	10-15
C	15-25
D	25-35
E	35-50
F	50

The LOS criteria for TWSI intersections are somewhat different from the criteria used in Chapter 16 for signalized intersections primarily because different transportation facilities create different driver perceptions. The expectation is that a signalized intersection is designed to carry higher traffic volumes and experience greater delay than an unsignalized intersection.

INPUT DATA REQUIREMENTS

Data requirements for the TWSI intersection methodology are similar to those for other capacity analysis techniques. Detailed descriptions of the geometry, control, and volumes at the intersection are needed.

Key geometric factors include number and use of lanes, channelization, two-way left-turn lane (TWLTL) or raised or striped median storage for both, approach grade, and existence of flared approaches on the minor street.

The number and use of lanes are critical factors. Vehicles in adjacent lanes can use the same gap in the traffic stream simultaneously unless impeded by a conflicting user of the gap. When movements share lanes, only one vehicle from those movements can use each gap. A TWLTL or a raised or striped median for both allows a minor-stream vehicle to cross one major traffic stream at a time. The grade of the approach has a direct and measurable effect on the capacity of each minor movement. Compared with a level approach, downgrades increase capacity and upgrades decrease capacity. A flared approach on the minor street increases the capacity by allowing more vehicles to be served simultaneously.

Volumes must be specified by movement. For the analysis to reflect conditions during the peak 15 min, the analyst must divide the full-hour volumes by the peak-hour factor (PHF) before beginning computations. If the analyst has peak 15-min flow rates, they can be entered directly with the PHF set to 1.0. The adjusted flow rate for movement x is designated as v_x in this chapter.

By convention, subscripts 1 to 6 define vehicle movements on the major street, and subscripts 7 to 12 define movements on the minor street. Pedestrian flows impede all minor-street movements. Pedestrian volumes must be specified by movement. Subscripts 13 to 16 define the pedestrian movements.

The presence of traffic signals upstream from the intersection on the major street will produce nonrandom flows and affect the capacity of the minor-street approaches if the signal is within 0.4 km of the intersection. The basic capacity model assumes that the headways on the major street are exponentially distributed. To assess the effect on capacity, a separate analysis is provided that requires the signalized intersection data (cycle length, green time), the saturation flow rate, and information on platoon flow.

PRIORITY OF STREAMS

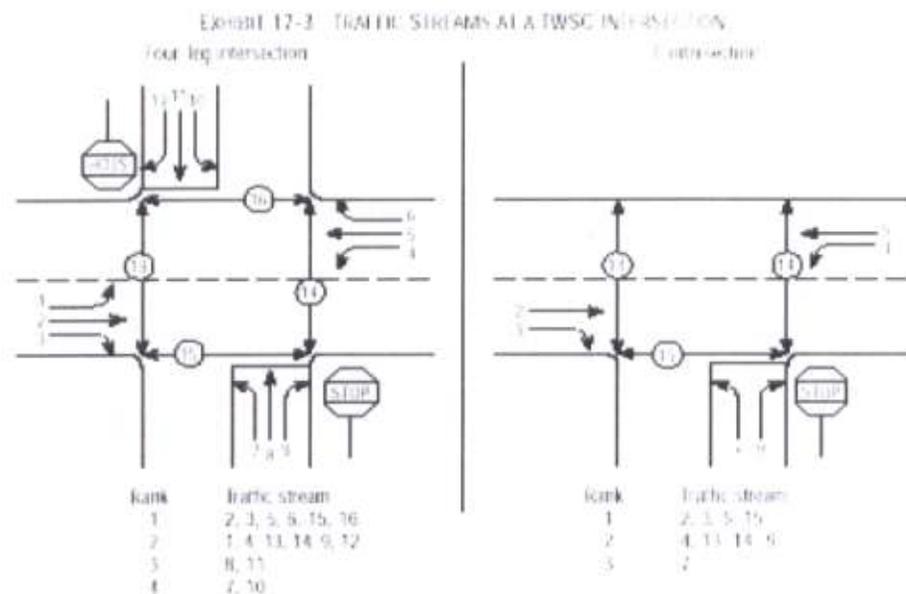
In using the methodology, the priority of right-of-way given to each traffic stream must be identified. Some streams have absolute priority, whereas others have to give way or yield to higher-order streams. Exhibit 17-5 shows the relative priority of streams at both T- and four-leg intersections.

Movements of Rank 1 (denoted by the subscript 1) include through traffic on the major street and right-turning traffic from the major street. Movements of Rank 2 (subordinate to 1 and denoted by the subscript 2) include left-turning traffic from the major street and right-turning traffic onto the major street.

Movements of Rank 3 (subordinate to 1 and 2 and denoted by the subscript 3) include through traffic on the minor street on the case of a four-leg intersection and left-turning traffic from the minor street on the case of a T-intersection. Movements of Rank 4 (subordinate to all others and denoted by the subscript 4) include left-turning traffic from the minor street. Rank 4 movements only occur at four-leg intersections.

17-5 illustrates different priorities for signalized intersections to reflect different driver expectations.

Rank	Subscript
1	1
2	2
3	3
4	4



For example, if a left-turning vehicle on the minor street and a through vehicle from the minor street are waiting to cross the major traffic stream, the first available gap of acceptable size would be taken by the left-turning vehicle. The minor-street through vehicle must wait for the second available gap. In aggregate terms, a large number of such left-turning vehicles could use up so many of the available gaps that minor-street through vehicles would be severely impeded or unable to make side-crossing movements.

Because right-turning vehicles from the minor street merely merge into gaps in the right-hand lane of the stream into which they turn, they require only a gap in that lane, not in the entire major-street traffic flow (this may not be true for some trucks and vans with long wheelbases that encroach on more than one lane in making their turn). Furthermore, a gap in the overall major-street traffic could be used simultaneously by another vehicle. For this reason, the method assumes that right turns from the minor street do not impede any of the other flows using major-street gaps.

Pedestrian movements also have priorities with respect to vehicular movements. While this may be a policy issue varying by jurisdiction, both the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2) and the *Manual on Uniform Traffic Control Devices* (MUTCD) (3) infer that pedestrians must use acceptable gaps in major-street (Rank 1) traffic streams and that pedestrians have priority over all minor-street traffic at a TWSO intersection. Specific rankings are shown in Exhibit 17-3.

CONFLICTING TRAFFIC

Each movement at a TWSO intersection takes a different set of conflicts that are directly related to the nature of the movement. These conflicts are shown in Exhibit 17-4, which illustrates the computation of the parameter $v_{c,s}$, the conflicting flow rate for movement s , that is, the total flow rate that conflicts with movement s on each

The right-turn movement from the minor street, for example, is in conflict with only the major-street through movement in the right-hand lane into which right turns will merge. Exhibit 17-4 includes one-half of the right-turn movement from the major street, because only some of these turns tend to inhibit the subject movement.

Pedestrians are treated as a priority.

Left turns from the minor street are in conflict with the total opposing through and right-turn flows, because they must cross the through flow and merge with the right-turn flow. The method does not differentiate between crossing and merging conflicts. Left turns from the major street and the opposing right turns from the major street are considered to merge, regardless of the number of lanes provided in the exit roadway.

Minor-street through movements have a direct crossing or merging conflict with all movements on the major street, as indicated in Exhibit 17-4, except the right turn into the subject approach. Only one-half of this movement is included in the computation, for the reasons discussed above. In addition, field research (9) has shown that the effect of left-turn vehicles is twice their actual number. This effect is reflected in Exhibit 17-4.

The left turn from the minor street is the most difficult maneuver to execute at a TWSI intersection, and it faces the most complex set of conflicting flows, which include all minor-street flows, in addition to the opposing right-turn and through movements on the major street. Only one-half of the opposing right-turn and through movement flow rate is included as conflicting flow rate because both movements are stop-controlled and their effect on left turns is diminished. The additional capacity impedance effects of the opposing right-turn and through movement flow rates are taken into account elsewhere in the procedure.

Pedestrians may also conflict with vehicular traffic streams. Pedestrian flow rates, also defined as $v_{p,i}$, with i denoting the leg of the intersection being crossed, should be included as part of the conflicting flow rates, since they, like vehicular flows, define the beginning or ending of a gap that may be used by a minor-street vehicle. Although it recognizes some peculiarities associated with pedestrian flows, this method takes a uniform approach to vehicular and pedestrian movements.

While regulations or practices may vary between jurisdictions, this methodology assumes that pedestrians crossing the subject or opposing approaches have Rank 1 status and that pedestrians crossing the two conflicting approaches to the left or right of the subject minor-street approach have Rank 2 status. The conflicting pedestrian flow rates are identified in Exhibit 17-4.

Exhibit 17-4 also identifies the conflicting flow rates for each stage of a two-stage gap acceptance process that takes place at some intersections where vehicles store in the median area. If a two-stage gap acceptance process is not present, the conflicting flow rates shown in the rows labeled Stage I and Stage II should be added together and considered as one conflicting flow rate for the movement in question.

CRITICAL GAP AND FOLLOW-UP TIME

The critical gap, $t_{c,i}$, is defined as the minimum time interval in the major-street traffic stream that allows intersection entry for one minor-street vehicle (5). Thus, the driver's critical gap is the minimum gap that would be acceptable. A particular driver would reject any gaps less than the critical gap and would accept gaps greater than or equal to the critical gap. Estimates of critical gap can be made on the basis of observations of the largest rejected and smallest accepted gap for a given intersection.

The time between the departure of one vehicle from the minor street and the departure of the next vehicle using the same major-street gap, under a condition of continuous queuing on the minor street, is called the follow-up time, t_f . Thus, t_f is the headway that defines the saturation flow rate for the approach if there were no conflicting vehicles or movements of higher rank.

When using Exhibit 17-4 to compute conflicting flow rates, the analyst should carefully consider the footnotes, which allow modifications to the movements in several cases.

Critical gap defined

Follow-up time defined

Background and concepts for AWSC intersections are given in Chapter 12.

LOS thresholds for AWSC intersections differ from those for signalized intersections to reflect different driver expectations.

- Worksheet 5 is used to compute shared-lane capacities, if more than one movement shares the same minor-street approach.
 - Worksheet 9 is not used, since the effect of flared minor-street approaches is generally not included.
 - Worksheet 10 is not used, since the impedance and delay for the major through movements are not accounted for in a planning analysis.
 - Worksheet 11 is used to compute capacity, delay, and LOS.
- The detailed analysis procedure described earlier in this chapter is normally not used for design purposes. However, through iteration, the analyst can use a given set of traffic flow data to determine the number of lanes that would be required to produce a given level of service.

PART B. ALL-WAY STOP-CONTROLLED INTERSECTIONS

I. INTRODUCTION - PART B

This section of Chapter 17 presents procedures for analyzing all-way stop-controlled (AWSC) intersections (I). A glossary of symbols, including those used for AWSC intersections, is found in Chapter 6.

II. METHODOLOGY - PART B

LEVEL-OF-SERVICE CRITERIA

The level-of-service criteria are given in Exhibit 17-22. The criteria for AWSC intersections have different threshold values than do those for signalized intersections, primarily because drivers expect different levels of performance from distinct types of transportation facilities. The expectation is that a signalized intersection is designed to carry higher traffic volumes than an AWSC intersection. Thus a higher level of control delay is acceptable at a signalized intersection for the same LOS.

EXHIBIT 17-22. LEVEL-OF-SERVICE CRITERIA FOR AWSC INTERSECTIONS

Level of Service	Control Delay (s/veh)
A	0-10
B	> 10-15
C	> 15-25
D	> 25-35
E	> 35-50
F	> 50

OVERVIEW OF METHODOLOGY

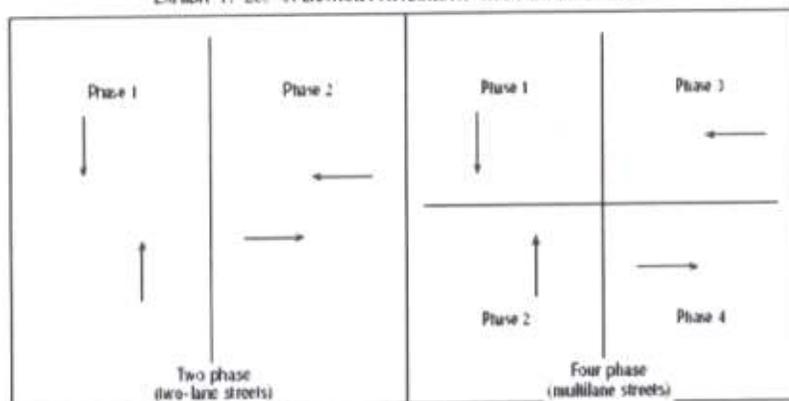
The methodology analyzes each intersection approach independently. The approach under study is called the subject approach. The opposing approach and the conflicting approaches create conflict with vehicles on the subject approach.

AWSC intersections require drivers on all approaches to stop before proceeding into the intersection. While giving priority to the driver on the right is a recognized rule in

some areas, it is not a good descriptor of actual intersection operations. What in fact happens is the development of a consensus of right-of-way that alternates between the drivers on the intersection approaches, a consensus that depends primarily on the intersection geometry and the arrival patterns at the stop line.

A two-phase pattern (Exhibit 17-23) is observed at a standard four-leg AWSC intersection (one approach lane on each leg) where drivers from opposing approaches enter the intersection at roughly the same time. Some interruptions of this pattern occur when there are conflicts between certain turning maneuvers (such as a northbound left-turning vehicle and a southbound through vehicle), but in general the north-south stream alternates right-of-way with the east-west stream. A four-phase pattern (Exhibit 17-23) emerges at multilane four-leg intersections, where the development of the right-of-way consensus is more difficult. Here drivers from each approach enter the intersection together at right-of-way passes from one approach to the next and each is served in turn.

EXHIBIT 17-23. OPERATION PATTERNS AT AWSC INTERSECTIONS



The headways of vehicles departing from the subject approach fall into one of two cases. If there are no vehicles on any of the other approaches, subject approach vehicles can enter the intersection immediately after stopping. However, if there are vehicles waiting on a conflicting approach, a vehicle from the subject approach must wait for consensus with the next conflicting vehicle. The headways between consecutively departing subject approach vehicles will be shorter for the first case than for the second. Thus, the headway for a departing subject approach vehicle depends on the degree of conflict experienced with vehicles on the other intersection approaches. The degree of conflict increases with two factors: the number of vehicles on the other approaches and the complexity of the intersection geometry.

Two other factors affect the departure headway of a subject approach vehicle: vehicle type and turning movement. The headway for a heavy vehicle will be longer than for a passenger car. Furthermore, the headway for a left-turning vehicle will be longer than for a through vehicle, which in turn will be longer than for a right-turning vehicle.

In summary:

1. AWSC intersections operate in either two-phase or four-phase patterns, based primarily on the complexity of the intersection geometry. Flows are determined by a consensus of right-of-way that alternates between the north-south and east-west streams (for a single-lane approach) or proceeds in turn to each intersection approach (for a multilane approach).

2. The headways between consecutively departing subject approach vehicles depend on the degree of conflict between these vehicles and the vehicles on the other

Two cases for departure headways

Capacity defined

intersection approaches. The degree of conflict is a function of the number of vehicles faced by the subject approach vehicle and of the number of lanes on the intersection approaches.

3. The headway of a subject approach vehicle also depends on its vehicle type and its turning maneuver.

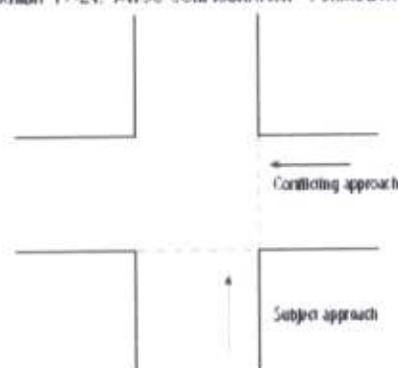
CAPACITY MODEL

Capacity is defined as the maximum throughput on an approach given the flow rates on the other intersection approaches. The capacity model described here is an expansion of earlier work (2). The model is described for four increasingly complex cases: the intersection of two one-way streets, the intersection of two two-way streets, a generalized model for single-lane sites, and a generalized model for multilane sites.

Intersection of Two One-Way Streets

The first formulation of the model is based on the intersection of two one-way streets, each stop-controlled. Vehicles on either approach travel only straight through the intersection. See Exhibit 17-24.

EXHIBIT 17-24. AWSC CONFIGURATION - FORMULATION 1



The service time for a vehicle assumes one of two values: t_1 is the service time if no vehicle is waiting on the conflicting approach and t_2 is the service time if a vehicle is waiting on the conflicting approach. The mean service time for vehicles on an approach is the expected value of this bivalued distribution. For the northbound approach, the mean service time is computed by Equation 17-42:

$$s_N = s_1 (1 - p_W) + s_2 p_W \quad (17-42)$$

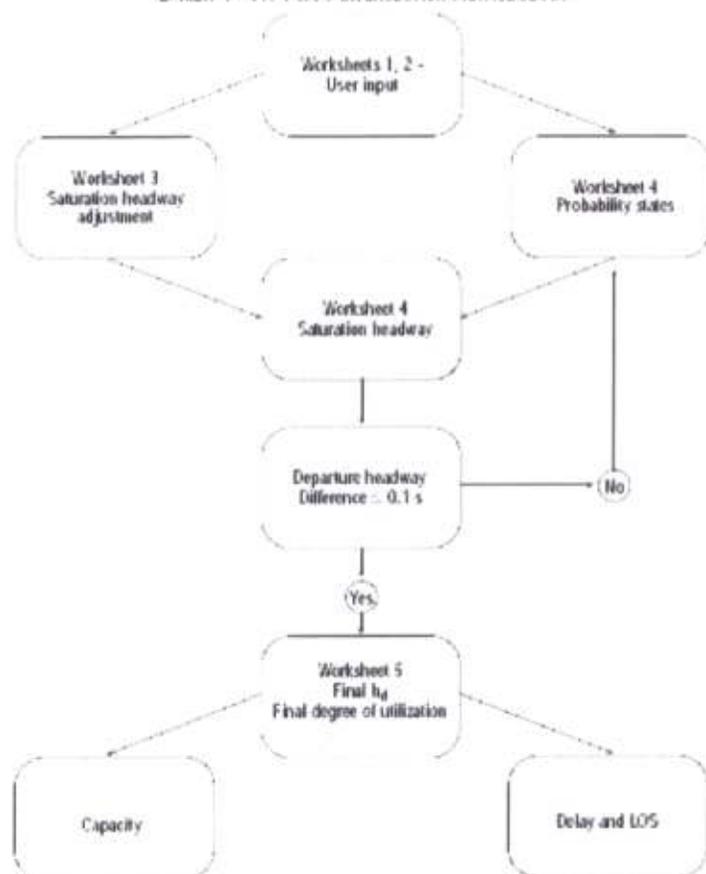
where p_W is the degree of utilization of the westbound approach and is equal to the probability of finding at least one vehicle on that approach. Thus $1 - p_W$ is the probability of finding no vehicle on the westbound approach.

By symmetry, the mean service time for the westbound approach is given by Equation 17-43:

$$s_W = s_1 (1 - p_N) + s_2 p_N \quad (17-43)$$

Since the degree of utilization x is the product of the arrival rate λ and the mean service time s , the service times for each approach can be expressed in terms of the bivalued service times and the arrival rates on each approach, as in Equation 17-44 and 17-45:

EXHIBIT 17-31. AWSC INTERSECTION METHODOLOGY



COMPUTATIONAL STEPS

Geometrics and Movements (Worksheet 1)

Worksheet 1 shows the basic features of the intersection and the movements of interest. The intersection name, the analyst's name, the count date, and the time period are entered on this form. The north orientation arrow is also entered.

Volume Adjustments and Lane Assignments (Worksheet 2)

Movement volumes are entered into the upper part of Worksheet 2 and adjusted for peaking by dividing volume by PHF to obtain hourly flow rates. The percentage of heavy vehicles is used to compute the headway adjustment factor in Worksheet 3. Flow rates for each lane by movement are entered into the lower part of Worksheet 2. If more than one lane is available to a certain movement and its traffic volume distribution per lane is unknown, an equal distribution of volume among the lanes can be assumed. Exhibit 17-32 is consulted to determine the geometry group for each approach.

The geometry group is needed to look up base saturation headways and headway adjustment factors.

EXHIBIT 17-32. GEOMETRY GROUPS

Geometry Group	Intersection Configuration	Number of Lanes		
		Subject Approach	Opposing Approach	Conflicting Approaches
1	4 leg or T	1	1	1
2	4 leg or T	1	1	2
3a/4a	4 leg or T	1	2	1
3b	T	1	2	2
4b	4 leg	1	2	2
5	4 leg or T	2	1 or 2	1 or 2
5	4 leg or T	3	P	P
6	4 leg or T	3	3	3

Note:

- a. If the number of lanes on the subject approach is 2 and the number of lanes on either the opposing or conflicting approaches is 1, the geometry group is 5. Otherwise, if the number of lanes on the subject approach is 1 the geometry group is 6.

Saturation Headways (Worksheet 3)

Saturation headway adjustments for left turns, right turns, and heavy vehicles are given in Exhibit 17-33. The headway adjustment for each lane is computed by Equation 17-56.

$$n_{aQ} = n_{LT-aQ} P_{LT} + n_{RT-aQ} P_{RT} + n_{HV-aQ} P_{HV} \quad (17-56)$$

where

- n_{aQ} = headway adjustment
- n_{LT-aQ} = headway adjustment for left turns
- n_{RT-aQ} = headway adjustment for right turns (either -0.6 or -0.7)
- n_{HV-aQ} = headway adjustment for heavy vehicles
- P_{LT} = proportion of left-turning vehicles on the approach
- P_{RT} = proportion of right-turning vehicles on the approach and
- P_{HV} = proportion of heavy vehicles on the approach

EXHIBIT 17-33. SATURATION HEADWAY ADJUSTMENTS BY GEOMETRY GROUP

Factors	Saturation Headway Adjustment (s)							
	Group 1	Group 2	Group 3a	Group 3b	Group 4a	Group 4b	Group 5	Group 6
LT	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5
RT	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7
HV	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7

Departure Headway and Service Time (Worksheet 4)

Worksheet 4a

With the lane flow rates from Worksheet 2 and the initial departure headway of 1.1 s, the initial degree of utilization, x , is computed using Equation 17-57.

$$x = \frac{v/h_0}{3600} \quad (17-57)$$

Calculations of h_0 with the assistance of Worksheet 4b, are repeated until the values of departure headway for each lane change by less than 0.1 s from the previous iteration. Computation of h_0 for each lane and each iteration utilizes Worksheet 4b and follows the four steps described below.

Worksheet 4b

Step 1. Computation of probability states. The probability state of each combination is determined using Equation 17-55.

Note that if it is not the final iteration and the degree of utilization exceeds 1, then the degree of utilization is reset to 1.

$$P_{ij} = f(P_{ij}^0) \quad (17-59)$$

where

- i, j = O1 (opposing approach, Lane 1), O2 (opposing approach, Lane 2), CL1 (conflicting left approach, Lane 1), CL2 (conflicting left, Lane 2), CR1 (conflicting right, Lane 1), and CR2 (conflicting right, Lane 2) for a two-lane two-way AWSC intersection.
- a_j = 1 (indicating a vehicle present) or 0 (indicating no vehicle present in the lane) (values of a_j for each lane in each combination i are listed in Exhibit 17-30) and
- P_{ij}^0 = probability of a_j , computed on the basis of Exhibit 17-34, in which V_j is the lane flow rate.

EXHIBIT 17-34. PROBABILITY OF a_j

a_j	V_j	P_{ij}^0
1	0	0
0	0	1
1	-0	$\frac{V_j^0}{1}$
0	-0	$1 - \frac{V_j^0}{1}$

Note:

α is the degree of utilization defined in Equation 17-57.

Step 2. Probability adjustment factor. The probability adjustment is computed using Equations 17-59 through 17-63, to account for the serial correlation in the previous probability computation. First, the probability of each degree-of-conflict case must be determined.

$$P(C_1) = P(1) \quad (17-60)$$

$$P(C_2) = \frac{4}{1+3} P(1) \quad (17-61)$$

$$P(C_3) = \frac{0}{1+3} P(1) \quad (17-62)$$

$$P(C_4) = \frac{17}{1+3} P(1) \quad (17-63)$$

$$P(C_5) = \frac{34}{1+3} P(1) \quad (17-64)$$

The probability adjustment factors are then computed using Equations 17-64 through 17-68.

$$AdjP(1) = \alpha [P(C_2) + 2P(C_3) + 3P(C_4) + 4P(C_5)]/7 \quad (17-65)$$

$$AdjP(2) \text{ through } AdjP(4) = \alpha [P(C_3) + 2P(C_4) + 3P(C_5) - P(C_2)]/3 \quad (17-66)$$

$$AdjP(5) \text{ through } AdjP(10) = \alpha [P(C_4) + 2P(C_5) - 3P(C_3)]/6 \quad (17-67)$$

$$AdjP(11) \text{ through } AdjP(27) = \alpha [P(C_5) - 6P(C_4)]/27 \quad (17-68)$$

$$AdjP(28) \text{ through } AdjP(64) = -\alpha [10P(C_5)]/27 \quad (17-69)$$

where α equals 0.01 (or 0.00 if correlation among saturation headways is not taken into account).

The adjusted probability $P'(i)$ for each combination is simply the sum of $P(i)$ and $AdjP(i)$, as given by Equation 17-69.

$$P_{11} = P_{12} + AgP_{11}$$

(17-35)

Step 3. Saturation headway: The saturation headway h_{s0} is the sum of the base saturation headway as given in Exhibit 17-35 and the saturation headway adjustment factor from Worksheet 3. Note that all values in the h_{s0} column should be the same because one Worksheet 4b is used for each lane.

Step 4. Departure headway: Departure headway is computed using Equation 17-54.

EXHIBIT 17-35. SATURATION HEADWAY VALUES BY CASE AND GEOMETRY GROUP

Case	No. of Veh.	Base Saturation Headway (s)							
		Group 1	Group 2	Group 3a	Group 3b	Group 4a	Group 4b	Group 5	Group 6
1	0	3.0	3.0	4.0	4.3	4.0	4.5	4.5	4.5
2	1	4.7	4.7	4.8	5.1	4.8	5.3	5.0	6.0
	2							6.2	6.8
	≥ 3							7.4	7.4
3	1	5.8	5.8	5.9	6.2	5.9	6.4	6.4	6.6
	2							7.2	7.3
	≥ 3							7.8	7.8
4	2	7.0	7.0	7.1	7.4	7.1	7.6	7.6	8.1
	3							7.8	8.7
	4							9.0	9.6
	≥ 5							12.3	12.3
5	3	9.6	9.6	9.7	10.0	9.7	10.2	9.7	10.0
	4							9.7	11.1
	5							10.0	11.4
	≥ 6							11.5	11.3

Capacity and Level of Service (Worksheet 5)

Worksheet 5 is used to determine delay and LOS. Control delay per vehicle is computed for each lane and each approach using Equation 17-55. The approach delay is the weighted average of the delay on each lane, and the intersection delay is the weighted average of the delay on each of the approaches. The LOS for each approach and for the intersection is determined using Exhibit 17-21 and the computed values of control delay.

The capacity of each approach is computed under the assumption that the flow on the opposing and conflicting approaches are constant. The given flow rate on the subject lane is increased and the departure headways are computed for each approach using Worksheet 4a and 4b until the degree of utilization for the subject lane reaches 1. When this occurs, the final value of the subject approach flow rate is the maximum possible throughput or capacity of this lane. Note that the move-up time for the lane is either 2.0 s (for Geometry Groups 1 through 4) or 2.3 s (for Geometry Groups 5 and 6).

PLANNING AND DESIGN APPLICATIONS

The operational analysis method described earlier in this chapter provides a detailed procedure for evaluating the performance of an AWSC intersection. To estimate LOS for a future time horizon, a planning analysis based on the operational method is used. The planning method uses all the geometric and traffic flow data required for an operational analysis, and the computations are identical. However, many input variables are estimated (or default used) when planning applications are performed.

The operational analysis described earlier in this chapter is not normally used for design purposes. However, through iteration the analyst can use a given set of traffic flow data and determine the number of lanes that would be required to produce a given level of service.

Capacity is estimated for a stated set of opposing and conflicting volumes.

I. INTRODUCTION

Three basic variables—volume, flow rate, speed, and density—can be used to describe traffic on any roadway. In this manual, volume or traffic flow is a parameter common to both uninterrupted and interrupted-flow facilities, but speed and density apply primarily to uninterrupted flow. Some parameters related to flow rate, such as spacing and headway, also are used for both types of facilities; other parameters, such as saturation flow or gap, are specific to interrupted flow.

II. UNINTERRUPTED FLOW

VOLUME AND FLOW RATE

Volume and flow rate are two measures that quantify the amount of traffic passing a point on a lane or roadway during a given time interval. These terms are defined as follows:

- **Volume**—the total number of vehicles that pass over a given point or section of a lane or roadway during a given time interval; volumes can be expressed in terms of annual, daily, hourly, or subhourly periods.
- **Flow rate**—the equivalent hourly rate at which vehicles pass over a given point or section of a lane or roadway during a given time interval of less than 1 h, usually 15 min. Volume and flow are variables that quantify demand, that is, the number of vehicle occupants or drivers (usually expressed as the number of vehicles) who desire to use a given facility during a specific time period. Congestion can influence demand, and observed volumes sometimes reflect capacity constraints rather than true demand.

The distinction between volume and flow rate is important. Volume is the number of vehicles observed or predicted to pass a point during a time interval. Flow rate represents the number of vehicles passing a point during a time interval less than 1 h, but expressed as an equivalent hourly rate. A flow rate is the number of vehicles observed in a subhourly period, divided by the time (in hours) of the observation. For example, a volume of 100 vehicles observed in a 15-min period implies a flow rate of 100 veh/0.25 h or 400 veh/h.

Volume and flow rate can be illustrated by the volumes observed for four consecutive 15-min periods. The four counts are 1,000, 1,200, 1,100, and 1,000. The total volume for the hour is the sum of these counts, or 4,300 veh. The flow rate, however, varies for each 15-min period. During the 15-min period of maximum flow, the flow rate is 1,200 veh/0.25 h or 4,800 veh/h. Note that 4,800 vehicles do not pass the observation point during the study hour, but they do pass at that rate for 15 min.

Consideration of peak flow rates is important in capacity analysis. If the capacity of the segment of highway studied is 4,500 veh/h, capacity would be exceeded during the peak 15-min period of flow, when vehicles arrive at a rate of 4,800 veh/h, even though volume is less than capacity during the full hour. This is a serious problem, because dissipating a breakdown of capacity can extend congestion for up to several hours.

Peak flow rates and hourly volumes produce the peak-hour factor (PHF), the ratio of total hourly volume to the peak flow rate within the hour, computed by Equation 7-1:

$$PHF = \frac{\text{Hourly volume}}{\text{Peak flow rate (within the hour)}} \quad (7-1)$$

If 15-min periods are used, the PHF may be computed by Equation 7-2:

$$PHF = \frac{V}{4 \times V_{15}} \quad (7-2)$$

Basic concepts for uninterrupted flow facilities: volume, flow rate, speed, density, headway, and spacing.

Calculating a peak-hour factor

where

- PHF = peak-hour factor,
- V = hourly volume (vehicle), and
- V_{15} = volume during the peak 15-min of the peak hour (veh/15 min).

When the PHF is known, it can be used to convert a peak-hour volume to a peak flow rate, as in Equation 7-3:

$$v = \frac{V}{PHF} \quad (7-3)$$

where

- v = flow rate for a peak 15-min period (veh/min),
- V = peak-hour volume (vehicle), and
- PHF = peak-hour factor.

Equation 7-3 does not need to be used to estimate peak flow rates if traffic counts are available; however, the chosen count interval must identify the maximum 15-min flow period. The rate then can be computed directly as 4 times the maximum 15-min count. When flow rates in terms of vehicles are known, a conversion to a flow rate in terms of passenger car equivalents (pc/e) can be computed using the PHF and the heavy-vehicle factor.

SPEED

Although traffic volumes provide a method of quantifying capacity values, speed (or its reciprocal of travel time) is an important measure of the quality of the traffic service provided to the motorist. It is an important measure of effectiveness/detriment levels of service for many types of facilities, such as rural two-lane freeways, urban streets, freeway weaving segments, and others.

Speed is defined as a rate of motion expressed as distance per unit of time, generally as kilometers per hour (km/h). In characterizing the speed of a traffic stream, a representative value must be used, because a broad distribution of individual speeds is observable in the traffic stream. In this manual, average travel speed is used as the speed measure because it is easily computed from observation of individual vehicles within the traffic stream and is the most statistically relevant measure in relationships with other variables. Average travel speed is computed by dividing the length of the highway/street section or segment under consideration by the average travel time of the vehicles traversing it. If travel times ($t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, in hours) are measured for n vehicles traversing a segment of length l , the average travel speed is computed from

Equation 7-4:

$$S = \frac{nl}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{l}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{l}{t_a} \quad (7-4)$$

where

- S = average travel speed (km/h),
- l = length of the highway segment (km),
- t_i = travel time of the i th vehicle to traverse the section (hr),
- n = number of travel times observed, and
- $t_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$ = average travel time over l (hr).

The travel times in this computation include stopped delays due to fixed interruptions or traffic congestion. They are total travel times to traverse the defined roadway length.

Several different speed parameters can be applied to a traffic stream. These include the following:

Speed parameters

vehicles on the roadway that has the right-of-way at an unsignalized intersection. Gap acceptance describes the completion of a vehicle's movement into a gap.

The capacity of a minor-street approach depends on two factors:

- The distribution of available gaps in the major-street traffic stream, and
- The gap sizes required by minor-street drivers to execute their desired movements.

The distribution of available gaps in the major-street traffic stream depends on the total volume on the street, its directional distribution, the number of lanes on the major street, and the degree and type of platooning in the traffic stream. The gap sizes required by the minor-street drivers depend on the type of maneuver (left, through, right), the number of lanes on the major street, the speed of major-street traffic, sight distances, the length of time the minor-street vehicle has been waiting, and driver characteristics (eyesight, reaction time, age, etc.). The critical gap is the minimum time interval between the front bumpers of two successive vehicles in the major traffic stream that will allow the entry of one minor-street vehicle. When more than one minor-street vehicle uses one major-street gap, the time headway between the two minor-street vehicles is called follow-up time. In general, the follow-up time is shorter than the critical gap.

Roundabouts operate similarly to two-way stop-controlled intersections. In roundabouts, however, entering drivers can only one stream of traffic—the circulating stream—for an acceptable gap. At an all-way stop-controlled intersection, all drivers must come to a complete stop. The decision to proceed is based in part on the rules of the road, which suggest that the driver on the right has the right-of-way, it also is a function of the traffic condition on the other approaches. The departure headway for the subject approach is defined as the time between the departure of one vehicle and that of the next behind it. A departure headway is considered a saturation headway if the second vehicle stops behind the first at the stop line. If there is traffic on one approach only, vehicles can depart as rapidly as the drivers can safely accelerate into and clear the intersection. If traffic is present on other approaches, the saturation headway on the subject approach will increase, depending on the degree of conflict between vehicles.

As at signalized intersections, the front axles of two consecutive vehicles are the reference points for determining the saturation headways of the vehicles departing from the stop line of two-way and all-way stop-controlled intersection approaches. In measuring the unobstructed flow of vehicles on the major roadway at a two-way stop-controlled intersection, the reference points normally are the front bumpers.

SPEED

For interrupted-flow conditions, delay rather than speed is the primary measure of operations. However, speed measures similar to those for uninterrupted flow are helpful in determining the added travel time due to deceleration, movement in queues, and acceleration of vehicles passing through an intersection.

DELAY

Delay is a critical performance measure on interrupted-flow facilities. There are several types of delay, but in this manual, control delay is the principal service measure for evaluating LOS at signalized and unsignalized intersections. Although the definition of control delay is the same for signalized and unsignalized intersections, its application, including LOS threshold values, differs.

Control delay involves movements of driver speeds and stops on intersection approaches, as vehicles move up in the queue or slow down upstream of an intersection. Drivers frequently reduce speed when a downstream signal is red or there is a queue at the downstream intersection approach. Control delay requires the determination of a realistic average speed for each roadway segment. Any estimate of the average travel speed for a roadway segment implies the effects of control delay.

Calculating and reporting delay

control delay

Computing saturation flow rate and lost time

At two-way stop-controlled and all-way stop-controlled intersections, control delay is the total elapsed time from a vehicle joining the queue until its departure from the stopped position at the head of the queue. The control delay also includes the time required to decelerate to a stop and to accelerate to the free-flow speed.

SATURATION FLOW RATE AND LOST TIME

Saturation flow rate is defined as the flow rate per lane at which vehicles can pass through a signalized intersection. By definition, it is computed by Equation 7-9:

$$s = \frac{3600}{h} \quad (7-9)$$

where

- s = saturation flow rate (veh/h), and
- h = saturation headway (s).

The saturation flow rate represents the number of vehicles per hour per lane that can pass through a signalized intersection if the green signal was available for the full hour, the flow of vehicles was never halted, and there were no large headways.

Each time a flow is stopped, it must start again, with the first four vehicles experiencing the start-up reaction and acceleration headways shown in Exhibit 7-8. In this exhibit, the first four vehicles in the queue encounter headways longer than the saturation headway, h . The increments, t_i , are called start-up lost times. The total start-up lost time for the vehicles is the sum of the increments, computed from Equation 7-10:

$$t_s = \sum_{i=1}^N t_i \quad (7-10)$$

where

- t_s = total start-up lost time (s),
- t_i = lost time for i th vehicle in queue (s), and
- N = last vehicle in queue.

Each stop of a stream of vehicles is another source of lost time. When one stream of vehicles stops, safety requires some clearance time before a conflicting stream of traffic is allowed to enter the intersection. This interval when no vehicles use the intersection is called clearance lost time, t_c .

In practice, signal cycles provide for this clearance through change intervals, which can include yellow or all-red indications or both. Drivers generally cannot observe this entire interval but can use the intersection during some portion of it. The clearance lost time, t_c , is the portion of this change interval not used by drivers.

The relationship between saturation flow rate and lost times is a critical one. For any given lane or movement, vehicles use the intersection at the saturation flow rate for a period equal to the available green time plus the change interval minus the start-up and clearance lost times. Because lost time is experienced with each start and stop of a movement, the total amount of time lost over an hour is related to the signal timing. For instance, if a signal has a 60-s cycle length, it will start and stop each movement 60 times per hour, and the total lost time per movement will be $60(t_s + t_c)$.

Lost time affects capacity and delay. It might appear that the capacity of an intersection would increase with increased cycle length. But this is offset somewhat by the observation that the saturation headway, h , can increase if the length of a continuous green indication increases. Other intersection features, such as turning lanes, also can offset the reduction in capacity due to short cycles. Longer cycle lengths increase the number of vehicles in the queues and can cause the left-turn lane to overflow, reducing capacity by blocking the through lanes.

Apéndice 3. Datos de Flujo Vehicular Tomados Durante los Conteos
Intersección Carretera PR-108 y camino Adelina

Termina Período	E-S	E-N	N-S	N-E	S-N	S-E	Total
12:15 AM	0	0	1	1	6	0	8
12:30 AM	1	2	2	0	3	0	8
12:45 AM	1	0	2	1	1	2	7
01:00 AM	2	2	1	1	3	0	9
01:15 AM	0	1	0	2	0	6	9
01:30 AM	1	0	0	1	1	0	3
01:45 AM	0	2	0	3	0	1	6
02:00 AM	0	0	2	0	1	2	5
02:15 AM	0	0	1	0	0	0	1
02:30 AM	0	0	1	1	0	1	3
02:45 AM	1	0	3	0	0	3	7
03:00 AM	1	1	1	0	0	2	5
03:15 AM	0	0	0	2	0	1	3
03:30 AM	0	0	5	0	3	0	8
03:45 AM	3	0	2	0	1	1	7
04:00 AM	3	1	1	3	1	1	10
04:15 AM	0	2	0	3	0	3	8
04:30 AM	5	2	2	3	1	4	17
04:45 AM	5	1	5	2	1	0	14
05:00 AM	3	1	4	1	1	2	12
05:15 AM	8	1	11	0	2	1	23
05:30 AM	16	2	5	3	1	5	32
05:45 AM	17	2	14	13	1	5	52
06:00 AM	19	2	18	0	2	1	42
06:15 AM	35	4	16	7	2	11	75
06:30 AM	43	4	24	5	3	9	88
06:45 AM	66	7	33	23	4	14	147
07:00 AM	55	5	35	18	4	13	130
07:15 AM	64	3	20	41	1	21	150
07:30 AM	49	8	54	0	9	9	129
07:45 AM	62	7	46	5	5	18	143
08:00 AM	42	4	41	0	5	11	103
08:15 AM	30	6	33	1	7	15	92
08:30 AM	30	6	16	10	3	22	87
08:45 AM	30	5	21	0	7	7	70
09:00 AM	22	12	14	6	8	14	76
09:15 AM	28	5	14	4	3	19	73
09:30 AM	23	8	17	0	9	11	68
09:45 AM	18	8	16	9	7	9	67
10:00 AM	16	8	20	0	11	15	70
10:15 AM	12	9	9	12	8	16	66
10:30 AM	21	9	16	9	8	17	80
10:45 AM	15	8	9	16	4	27	79
11:00 AM	17	8	9	10	5	18	67
11:15 AM	18	8	16	3	8	19	72
11:30 AM	23	13	4	32	3	32	107
11:45 AM	14	9	19	9	13	15	79

12:00 PM	19	9	15	0	7	37	87
12:15 PM	15	14	12	8	11	21	81
12:30 PM	18	8	12	4	5	37	84
12:45 PM	23	13	8	11	5	23	83
01:00 PM	23	13	10	4	5	39	94
01:15 PM	17	16	12	8	11	34	98
01:30 PM	22	14	19	3	11	20	89
01:45 PM	25	11	15	0	7	35	93
02:00 PM	16	15	20	4	17	11	83
02:15 PM	19	21	11	12	12	35	110
02:30 PM	23	26	8	8	10	37	112
02:45 PM	13	18	1	9	15	27	83
03:00 PM	26	19	1	17	0	48	111
03:15 PM	22	27	4	13	4	78	148
03:30 PM	21	22	13	11	15	50	132
03:45 PM	20	30	16	3	23	41	133
04:00 PM	22	25	9	7	11	64	138
04:15 PM	15	23	17	0	25	52	132
04:30 PM	21	20	12	0	14	65	132
04:45 PM	20	15	17	6	13	54	125
05:00 PM	22	23	12	17	14	50	138
05:15 PM	24	27	7	16	9	62	145
05:30 PM	20	30	6	17	9	60	142
05:45 PM	26	26	9	8	10	67	146
06:00 PM	19	22	13	15	14	44	127
06:15 PM	11	13	12	12	15	33	96
06:30 PM	15	16	18	0	21	25	95
06:45 PM	26	15	17	2	11	41	112
07:00 PM	16	13	16	0	15	21	81
07:15 PM	18	13	10	10	7	29	87
07:30 PM	10	10	8	14	7	24	73
07:45 PM	17	10	9	0	6	18	60
08:00 PM	11	5	5	0	5	16	42
08:15 PM	8	9	8	6	9	21	61
08:30 PM	6	7	12	0	17	2	44
08:45 PM	7	6	11	0	10	19	53
09:00 PM	10	7	15	0	12	19	63
09:15 PM	10	6	7	2	5	22	52
09:30 PM	6	9	4	10	8	10	47
09:45 PM	12	7	0	9	0	21	49
10:00 PM	4	9	3	2	8	15	41
10:15 PM	9	7	4	7	4	19	50
10:30 PM	4	8	3	5	6	7	33
10:45 PM	4	4	4	0	8	8	28
11:00 PM	4	4	3	1	3	9	24
11:15 PM	2	2	0	0	4	6	14
11:30 PM	1	9	0	0	0	15	25
11:45 PM	1	1	3	1	5	3	14
12:00 PM	2	4	0	0	1	8	15
Total	1544	867	1034	542	630	1905	6522

Intersección Carretera PR-108 y camino Legúisamo

Termina Período	O-E	O-S	S-E	S-O	E-S	E-O	Total
12:15 AM	0	0	2	2	4	0	8
12:30 AM	0	0	6	3	1	0	10
12:45 AM	0	0	0	0	1	0	1
01:00 AM	0	0	3	0	0	1	4
01:15 AM	0	0	1	0	0	0	1
01:30 AM	0	0	1	0	0	0	1
01:45 AM	0	0	1	0	1	0	2
02:00 AM	0	0	1	0	1	0	2
02:15 AM	0	0	1	0	1	0	2
02:30 AM	0	0	0	0	0	0	0
02:45 AM	0	2	0	0	0	1	3
03:00 AM	0	0	1	0	2	0	3
03:15 AM	0	0	1	0	0	0	1
03:30 AM	1	0	2	1	1	0	5
03:45 AM	0	0	4	1	6	0	11
04:00 AM	0	0	3	0	2	0	5
04:15 AM	1	0	1	1	0	0	3
04:30 AM	0	0	2	0	4	0	6
04:45 AM	0	0	3	3	7	0	13
05:00 AM	0	0	3	0	5	1	9
05:15 AM	0	0	0	3	4	0	7
05:30 AM	0	0	3	7	8	0	18
05:45 AM	0	0	8	3	20	0	31
06:00 AM	1	1	8	7	22	2	41
06:15 AM	1	3	8	2	15	3	32
06:30 AM	0	1	10	6	30	0	47
06:45 AM	1	1	16	8	45	0	71
07:00 AM	0	1	16	4	45	0	66
07:15 AM	0	1	11	5	35	0	52
07:30 AM	1	2	9	7	45	1	65
07:45 AM	1	2	5	4	20	0	32
08:00 AM	1	4	10	9	46	1	71
08:15 AM	1	1	11	6	35	3	57
08:30 AM	1	1	10	0	34	0	46
08:45 AM	0	1	16	5	23	2	47
09:00 AM	1	2	15	0	25	2	45
09:15 AM	1	2	9	4	23	4	43
09:30 AM	3	2	14	0	14	3	36
09:45 AM	1	3	10	0	20	2	36
10:00 AM	1	2	14	0	18	4	39
10:15 AM	2	3	7	5	14	0	31
10:30 AM	1	2	14	2	14	1	34
10:45 AM	1	2	17	5	21	0	46
11:00 AM	1	1	24	5	18	0	49
11:15 AM	2	2	14	9	18	0	45
11:30 AM	1	1	17	1	13	1	34
11:45 AM	2	1	23	5	13	1	45
12:00 PM	2	2	21	7	19	1	52

12:15 PM	1	1	19	3	13	1	38
12:30 PM	1	0	27	0	22	0	50
12:45 PM	1	0	29	1	23	0	54
01:00 PM	2	3	21	4	22	2	54
01:15 PM	3	3	26	0	22	4	58
01:30 PM	1	1	19	5	22	0	48
01:45 PM	2	1	24	0	13	0	40
02:00 PM	1	0	26	4	21	0	52
02:15 PM	0	0	30	0	18	0	48
02:30 PM	2	1	29	0	25	3	60
02:45 PM	1	1	28	1	19	2	52
03:00 PM	3	2	33	5	16	0	59
03:15 PM	2	1	36	6	22	0	67
03:30 PM	2	1	28	1	25	0	57
03:45 PM	4	3	35	0	24	4	70
04:00 PM	3	2	42	2	14	0	63
04:15 PM	4	2	35	4	14	2	61
04:30 PM	1	1	42	0	16	0	60
04:45 PM	3	1	45	0	27	0	76
05:00 PM	1	0	43	0	16	0	60
05:15 PM	4	1	36	0	15	3	59
05:30 PM	4	2	35	7	21	0	69
05:45 PM	2	1	42	0	21	0	66
06:00 PM	3	1	34	4	20	3	65
06:15 PM	4	4	14	10	18	2	52
06:30 PM	5	2	25	7	14	3	56
06:45 PM	2	2	31	0	21	2	58
07:00 PM	2	3	26	7	26	7	71
07:15 PM	3	1	34	3	17	2	60
07:30 PM	1	1	20	4	11	0	37
07:45 PM	1	1	20	0	18	0	40
08:00 PM	1	0	13	2	8	1	25
08:15 PM	1	0	22	2	13	3	41
08:30 PM	1	0	15	1	10	3	30
08:45 PM	2	1	18	6	11	0	38
09:00 PM	2	2	18	2	11	0	35
09:15 PM	1	0	16	5	14	0	36
09:30 PM	2	1	14	5	5	1	28
09:45 PM	1	1	19	0	8	3	32
10:00 PM	1	1	12	3	5	0	22
10:15 PM	0	0	17	3	9	0	29
10:30 PM	0	0	12	0	7	0	19
10:45 PM	1	0	16	1	7	0	25
11:00 PM	0	0	4	0	6	1	11
11:15 PM	1	1	5	0	6	1	14
11:30 PM	0	0	4	0	2	0	6
11:45 PM	0	0	6	0	3	0	9
12:00 PM	1	0	1	2	0	0	4
Total	113	96	1522	240	1414	87	3472

Apéndice 4. Matriz del Estudio

Intersección	Condición Existente		Condición al Año de Ocupación		Condición a Cinco Años después de Ocupación	
	Hora Pico AM	Hora Pico PM	Hora Pico AM	Hora Pico PM	Hora Pico AM	Hora Pico PM
PR-108 y Adelina	Ade06AM	Ade06PM	Ade10AM	Ade10PM	Ade15AM	Ade15PM
PR-108 y Leguisamo	Leg06AM	Leg06PM	Leg10AM	Leg10PM	Leg15AM	Leg15PM

Apéndice 5. Cómputos para el análisis operacional

TWO-WAY STOP CONTROL SUMMARY						
General Information			Site Information			
Analyst	José L. Pérez Berenguer		Intersection	PR-108 y camino Adelina		
Agency/Co.	Pérez Berenguer y Asoc.		Jurisdiction	Mayagüez		
Date Performed	2/1/2007		Analysis Year	2006		
Analysis Time Period	6:30 - 7:30 AM					
Project Description <i>Estudio de Impacto en el Tránsito Urb. Monte Verde</i>						
East/West Street: <i>Camino Adelina</i>			North/South Street: <i>PR-108</i>			
Intersection Orientation: <i>North-South</i>			Study Period (hrs): <i>0.25</i>			
Vehicle Volumes and Adjustments						
Major Street	Northbound			Southbound		
Movement	1	2	3	4	5	6
	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)		18	57	82	142	
Peak-Hour Factor, PHF	1.00	0.50	0.68	0.50	0.66	1.00
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	0	36	83	164	215	0
Percent Heavy Vehicles	0	--	--	0	--	--
Median Type	<i>Undivided</i>					
RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	1	0
Configuration			TR	LT		
Upstream Signal		0			0	
Minor Street	Eastbound			Westbound		
Movement	7	8	9	10	11	12
	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)				234	0	23
Peak-Hour Factor, PHF	1.00	1.00	1.00	0.89	1.00	0.72
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	0	0	0	262	0	31
Percent Heavy Vehicles	0	0	0	0	0	0
Percent Grade (%)	0			6		
Flared Approach		N			N	

Storage		0			0	
RT Channelized			0			0
Lanes	0	0	0	0	1	0
Configuration					LTR	

Delay, Queue Length, and Level of Service

Approach	Northbound	Southbound	Westbound			Eastbound		
	1	4	7	8	9	10	11	12
Movement								
Lane Configuration		LT		LTR				
v (veh/h)		164		293				
C (m) (veh/h)		1482		430				
v/c		0.11		0.68				
95% queue length		0.37		4.97				
Control Delay (s/veh)		7.7		29.5				
LOS		A		D				
Approach Delay (s/veh)	--	--	29.5					
Approach LOS	--	--	D					

TWO-WAY STOP CONTROL SUMMARY

General Information		Site Information	
Analyst	José L. Pérez Berenguer	Intersection	PR-108 y Leguisamo
Agency/Co.	Pérez Berenguer y Asoc.	Jurisdiction	Mayagüez
Date Performed	2/1/2007	Analysis Year	2006
Analysis Time Period	6:30 - 7:30 AM		
Project Description <i>Estudio de Impacto en el Tránsito Urb. Monte Verde</i>			
East/West Street: <i>Camino Leguisamo</i>		North/South Street: <i>PR-108</i>	
Intersection Orientation: <i>North-South</i>		Study Period (hrs): <i>0.25</i>	

Vehicle Volumes and Adjustments

Major Street	Northbound			Southbound		
	1	2	3	4	5	6
Movement	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	24	52			170	1
Peak-Hour Factor, PHF	0.75	0.81	1.00	1.00	0.94	0.25
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	32	64	0	0	180	4
Percent Heavy Vehicles	8	--	--	0	--	--
Median Type	<i>Undivided</i>					
RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	1	0
Configuration	<i>LT</i>			<i>TR</i>		
Upstream Signal		0			0	

Minor Street	Eastbound			Westbound		
	7	8	9	10	11	12
Movement	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	2	0	5			
Peak-Hour Factor, PHF	0.50	1.00	0.63	1.00	1.00	1.00
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	4	0	7	0	0	0
Percent Heavy Vehicles	0	0	0	0	0	0
Percent Grade (%)	-5			6		
Flared Approach		<i>N</i>			<i>N</i>	
Storage		0			0	

RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	0	0
Configuration		LTR				

Delay, Queue Length, and Level of Service

Approach	Northbound	Southbound	Westbound			Eastbound		
Movement	1	4	7	8	9	10	11	12
Lane Configuration	LT						LTR	
v (veh/h)	32						11	
C (m) (veh/h)	1355						783	
v/c	0.02						0.01	
95% queue length	0.07						0.04	
Control Delay (s/veh)	7.7						9.7	
LOS	A						A	
Approach Delay (s/veh)	--	--					9.7	
Approach LOS	--	--					A	

TWO-WAY STOP CONTROL SUMMARY

General Information		Site Information	
Analyst	<i>José L. Pérez Berenguer</i>	Intersection	<i>PR-108 y camino Adelina</i>
Agency/Co.	<i>Pérez Berenguer y Asoc.</i>	Jurisdiction	<i>Mayagüez</i>
Date Performed	<i>2/1/2007</i>	Analysis Year	<i>2006</i>
Analysis Time Period	<i>4:45 - 5:45 PM</i>		
Project Description <i>Estudio de Impacto en el Tránsito Urb. Monte Verde</i>			
East/West Street: <i>Camino Adelina</i>		North/South Street: <i>PR-108</i>	
Intersection Orientation: <i>North-South</i>		Study Period (hrs): <i>0.25</i>	

Vehicle Volumes and Adjustments

Major Street	Northbound			Southbound		
	1	2	3	4	5	6
Movement	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)		42	239	58	34	
Peak-Hour Factor, PHF	1.00	0.75	0.89	0.85	0.71	1.00
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	0	56	268	68	47	0
Percent Heavy Vehicles	0	—	—	0	—	—
Median Type	<i>Undivided</i>					
RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	1	0
Configuration			TR	LT		
Upstream Signal		0			0	

Minor Street	Eastbound			Westbound		
	7	8	9	10	11	12
Movement	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)				92	0	106
Peak-Hour Factor, PHF	1.00	1.00	1.00	0.88	1.00	0.88
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	0	0	0	104	0	120
Percent Heavy Vehicles	0	0	0	0	0	0
Percent Grade (%)	0			6		
Flared Approach		N			N	
Storage		0			0	

RT Channelized			0			0
Lanes	0	0	0	0	1	0
Configuration					LTR	

Delay, Queue Length, and Level of Service								
Approach	Northbound	Southbound	Westbound			Eastbound		
Movement	1	4	7	8	9	10	11	12
Lane Configuration		LT		LTR				
v (veh/h)		68		224				
C (m) (veh/h)		1247		713				
v/c		0.05		0.31				
95% queue length		0.17		1.34				
Control Delay (s/veh)		8.1		12.3				
LOS		A		B				
Approach Delay (s/veh)	--	--	12.3					
Approach LOS	--	--	B					

TWO-WAY STOP CONTROL SUMMARY

General Information		Site Information	
Analyst	<i>José L. Pérez Berenguer</i>	Intersection	<i>PR-108 y Leguisamo</i>
Agency/Co.	<i>Pérez Berenguer y Asoc.</i>	Jurisdiction	<i>Mayagüez</i>
Date Performed	<i>2/1/2007</i>	Analysis Year	<i>2006</i>
Analysis Time Period	<i>4:45 - 5:45 PM</i>		
Project Description <i>Estudio de Impacto en el Tránsito Urb. Monte Verde</i>			
East/West Street: <i>Camino Leguisamo</i>		North/South Street: <i>PR-108</i>	
Intersection Orientation: <i>North-South</i>		Study Period (hrs): <i>0.25</i>	

Vehicle Volumes and Adjustments

Major Street	Northbound			Southbound		
	1	2	3	4	5	6
Movement	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	7	156			73	3
Peak-Hour Factor, PHF	0.25	0.91	1.00	1.00	0.87	0.25
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	28	171	0	0	83	12
Percent Heavy Vehicles	14	--	--	0	--	--
Median Type	<i>Undivided</i>					
RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	1	0
Configuration	<i>LT</i>			<i>TR</i>		
Upstream Signal		0			0	

Minor Street	Eastbound			Westbound		
	7	8	9	10	11	12
Movement	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	11	0	4			
Peak-Hour Factor, PHF	0.69	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	15	0	8	0	0	0
Percent Heavy Vehicles	0	0	0	0	0	0
Percent Grade (%)	-5			6		
Flared Approach		<i>N</i>			<i>N</i>	
Storage		0			0	

RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	0	0
Configuration		LTR				

Delay, Queue Length, and Level of Service								
Approach	Northbound	Southbound	Westbound			Eastbound		
Movement	1	4	7	8	9	10	11	12
Lane Configuration	LT						LTR	
v (veh/h)	28						23	
C (m) (veh/h)	1427						751	
v/c	0.02						0.03	
95% queue length	0.06						0.09	
Control Delay (s/veh)	7.6						9.9	
LOS	A						A	
Approach Delay (s/veh)	--	--				9.9		
Approach LOS	--	--				A		

hRT-adj	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
hHV-adj	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
hadj, computed	-0.4		0.1		-0.2		0.1	

Departure Headway and Service Time

hd, initial value (s)	3.20		3.20		3.20		3.20	
x, initial	0.31		0.31		0.10		0.25	
hd, final value (s)	5.42		5.89		6.37		6.25	
x, final value	0.52		0.58		0.19		0.49	
Move-up time, m (s)	2.0		2.0		2.0		2.0	
Service Time, t _s (s)	3.4		3.9		4.4		4.3	

Capacity and Level of Service

	Eastbound		Westbound		Northbound		Southbound	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Capacity (veh/h)	596		579		359		528	
Delay (s/veh)	14.16		16.63		10.89		15.06	
LOS	B		C		B		C	
Approach: Delay (s/veh)	14.16		16.63		10.89		15.06	
LOS	B		C		B		C	
Intersection Delay (s/veh)	14.87							
Intersection LOS	B							

TWO-WAY STOP CONTROL SUMMARY						
General Information			Site Information			
Analyst	José L. Pérez Berenguer		Intersection	PR-108 y Leguisamo		
Agency/Co.	Pérez Berenguer y Asoc.		Jurisdiction	Mayagüez		
Date Performed	2/1/2007		Analysis Year	2010		
Analysis Time Period	6:30 - 7:30 AM					
Project Description <i>Estudio de Impacto en el Tránsito Urb. Monte Verde</i>						
East/West Street: <i>Camino Leguisamo</i>			North/South Street: <i>PR-108</i>			
Intersection Orientation: <i>North-South</i>			Study Period (hrs): <i>0.25</i>			
Vehicle Volumes and Adjustments						
Major Street	Northbound			Southbound		
Movement	1	2	3	4	5	6
	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	32	55			180	31
Peak-Hour Factor, PHF	0.75	0.81	1.00	1.00	0.94	0.25
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	42	67	0	0	191	124
Percent Heavy Vehicles	8	--	--	0	--	--
Median Type	<i>Undivided</i>					
RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	1	0
Configuration	<i>LT</i>			<i>TR</i>		
Upstream Signal		0			0	
Minor Street	Eastbound			Westbound		
Movement	7	8	9	10	11	12
	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	35	0	24			
Peak-Hour Factor, PHF	0.50	1.00	0.63	1.00	1.00	1.00
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	70	0	38	0	0	0
Percent Heavy Vehicles	0	0	0	0	0	0
Percent Grade (%)	-5			6		
Flared Approach		<i>N</i>			<i>N</i>	
Storage		0			0	

RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	0	0
Configuration		LTR				

Delay, Queue Length, and Level of Service								
Approach	Northbound	Southbound	Westbound			Eastbound		
Movement	1	4	7	8	9	10	11	12
Lane Configuration	LT						LTR	
v (veh/h)	42						108	
C (m) (veh/h)	1212						645	
v/c	0.03						0.17	
95% queue length	0.11						0.60	
Control Delay (s/veh)	8.1						11.7	
LOS	A						B	
Approach Delay (s/veh)	--	--				11.7		
Approach LOS	--	--				B		

hRT-adj	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
hHV-adj	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
hadj, computed	-0.2		-0.2		-0.2		0.1	

Departure Headway and Service Time

hd, initial value (s)	3.20		3.20		3.20		3.20	
x, initial	0.15		0.30		0.42		0.11	
hd, final value (s)	6.26		5.88		5.50		6.54	
x, final value	0.29		0.55		0.73		0.23	
Move-up time, m (s)	2.0		2.0		2.0		2.0	
Service Time, t_s (s)	4.3		3.9		3.5		4.5	

Capacity and Level of Service

	Eastbound		Westbound		Northbound		Southbound	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Capacity (veh/h)	415		570		632		377	
Delay (s/veh)	11.77		15.75		21.85		11.48	
LOS	B		C		C		B	
Approach: Delay (s/veh)	11.77		15.75		21.85		11.48	
LOS	B		C		C		B	
Intersection Delay (s/veh)	17.30							
Intersection LOS	C							

TWO-WAY STOP CONTROL SUMMARY

General Information		Site Information	
Analyst	José L. Pérez Berenguer	Intersection	PR-108 y Leguisamo
Agency/Co.	Pérez Berenguer y Asoc.	Jurisdiction	Mayagüez
Date Performed	2/1/2007	Analysis Year	2010
Analysis Time Period	4:45 - 5:45 PM		
Project Description <i>Estudio de Impacto en el Tránsito Urb. Monte Verde</i>			
East/West Street: <i>Camino Leguisamo</i>		North/South Street: <i>PR-108</i>	
Intersection Orientation: <i>North-South</i>		Study Period (hrs): <i>0.25</i>	

Vehicle Volumes and Adjustments

Major Street	Northbound			Southbound		
	1	2	3	4	5	6
Movement						
	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	27	161			80	49
Peak-Hour Factor, PHF	0.25	0.91	1.00	1.00	0.87	0.25
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	108	176	0	0	91	196
Percent Heavy Vehicles	14	--	--	0	--	--
Median Type	<i>Undivided</i>					
RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	1	0
Configuration	<i>LT</i>			<i>TR</i>		
Upstream Signal		0			0	

Minor Street	Eastbound			Westbound		
	7	8	9	10	11	12
Movement						
	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	71	0	8			
Peak-Hour Factor, PHF	0.69	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	102	0	16	0	0	0
Percent Heavy Vehicles	0	0	0	0	0	0
Percent Grade (%)	-5			6		
Flared Approach		<i>N</i>			<i>N</i>	
Storage		0			0	

RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	0	0
Configuration		LTR				

Delay, Queue Length, and Level of Service								
Approach	Northbound	Southbound	Westbound			Eastbound		
Movement	1	4	7	8	9	10	11	12
Lane Configuration	LT						LTR	
v (veh/h)	108						118	
C (m) (veh/h)	1209						468	
v/c	0.09						0.25	
95% queue length	0.29						0.99	
Control Delay (s/veh)	8.3						15.3	
LOS	A						C	
Approach Delay (s/veh)	--	--				15.3		
Approach LOS	--	--				C		

hRT-adj	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
hHV-adj	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
hadj, computed	-0.4		0.1		-0.2		0.1	

Departure Headway and Service Time

hd, initial value (s)	3.20		3.20		3.20		3.20	
x, initial	0.30		0.30		0.09		0.24	
hd, final value (s)	5.31		5.79		6.22		6.14	
x, final value	0.49		0.55		0.18		0.47	
Move-up time, m (s)	2.0		2.0		2.0		2.0	
Service Time, t_s (s)	3.3		3.8		4.2		4.1	

Capacity and Level of Service

	Eastbound		Westbound		Northbound		Southbound	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Capacity (veh/h)	585		589		355		523	
Delay (s/veh)	13.39		15.63		10.60		14.37	
LOS	B		C		B		B	
Approach: Delay (s/veh)	13.39		15.63		10.60		14.37	
LOS	B		C		B		B	
Intersection Delay (s/veh)	14.09							
Intersection LOS	B							

TWO-WAY STOP CONTROL SUMMARY

General Information		Site Information	
Analyst	<i>José L. Pérez Berenguer</i>	Intersection	<i>PR-108 y Leguisamo</i>
Agency/Co.	<i>Pérez Berenguer y Asoc.</i>	Jurisdiction	<i>Mayagüez</i>
Date Performed	<i>2/1/2007</i>	Analysis Year	<i>2015</i>
Analysis Time Period	<i>6:30 - 7:30 AM</i>		
Project Description <i>Estudio de Impacto en el Tránsito Urb. Monte Verde</i>			
East/West Street: <i>Camino Leguisamo</i>		North/South Street: <i>PR-108</i>	
Intersection Orientation: <i>North-South</i>		Study Period (hrs): <i>0.25</i>	

Vehicle Volumes and Adjustments

Major Street	Northbound			Southbound		
	1	2	3	4	5	6
Movement	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	31	53			175	30
Peak-Hour Factor, PHF	0.75	0.81	1.00	1.00	0.94	0.25
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	41	65	0	0	186	120
Percent Heavy Vehicles	8	--	--	0	--	--
Median Type	<i>Undivided</i>					
RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	1	0
Configuration	<i>LT</i>			<i>TR</i>		
Upstream Signal		0			0	

Minor Street	Eastbound			Westbound		
	7	8	9	10	11	12
Movement	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	34	0	23			
Peak-Hour Factor, PHF	0.50	1.00	0.63	1.00	1.00	1.00
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	68	0	36	0	0	0
Percent Heavy Vehicles	0	0	0	0	0	0
Percent Grade (%)	-5			6		
Flared Approach		<i>N</i>			<i>N</i>	
Storage		0			0	

RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	0	0
Configuration		LTR				

Delay, Queue Length, and Level of Service								
Approach	Northbound	Southbound	Westbound			Eastbound		
Movement	1	4	7	8	9	10	11	12
Lane Configuration	LT						LTR	
v (veh/h)	41						104	
C (m) (veh/h)	1221						652	
v/c	0.03						0.16	
95% queue length	0.10						0.56	
Control Delay (s/veh)	8.1						11.6	
LOS	A						B	
Approach Delay (s/veh)	--	--				11.6		
Approach LOS	--	--				B		

hRT-adj	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
hHV-adj	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
hadj, computed	-0.2		-0.2		-0.2		0.1	

Departure Headway and Service Time

hd, initial value (s)	3.20		3.20		3.20		3.20	
x, initial	0.14		0.29		0.41		0.11	
hd, final value (s)	6.13		5.77		5.41		6.40	
x, final value	0.27		0.52		0.69		0.22	
Move-up time, m (s)	2.0		2.0		2.0		2.0	
Service Time, t_s (s)	4.1		3.8		3.4		4.4	

Capacity and Level of Service

	Eastbound		Westbound		Northbound		Southbound	
	L1	L2	L1	L2	L1	L2	L1	L2
Capacity (veh/h)	411		575		640		373	
Delay (s/veh)	11.43		14.88		19.79		11.18	
LOS	B		B		C		B	
Approach: Delay (s/veh)	11.43		14.88		19.79		11.18	
LOS	B		B		C		B	
Intersection Delay (s/veh)	16.06							
Intersection LOS	C							

TWO-WAY STOP CONTROL SUMMARY						
General Information			Site Information			
Analyst	José L. Pérez Berenguer		Intersection		PR-108 y Leguisamo	
Agency/Co.	Pérez Berenguer y Asoc.		Jurisdiction		Mayagüez	
Date Performed	2/1/2007		Analysis Year		2015	
Analysis Time Period	4:45 - 5:45 PM					
Project Description <i>Estudio de Impacto en el Tránsito Urb. Monte Verde</i>						
East/West Street: <i>Camino Leguisamo</i>			North/South Street: <i>PR-108</i>			
Intersection Orientation: <i>North-South</i>			Study Period (hrs): <i>0.25</i>			
Vehicle Volumes and Adjustments						
Major Street	Northbound			Southbound		
Movement	1	2	3	4	5	6
	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	26	156			78	48
Peak-Hour Factor, PHF	0.25	0.91	1.00	1.00	0.87	0.25
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	104	171	0	0	89	192
Percent Heavy Vehicles	14	-	-	0	-	-
Median Type	Undivided					
RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	1	0
Configuration	LT			TR		
Upstream Signal		0			0	
Minor Street	Eastbound			Westbound		
Movement	7	8	9	10	11	12
	L	T	R	L	T	R
Volume (veh/h)	69	0	8			
Peak-Hour Factor, PHF	0.69	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00
Hourly Flow Rate, HFR (veh/h)	100	0	16	0	0	0
Percent Heavy Vehicles	0	0	0	0	0	0
Percent Grade (%)	-5			6		
Flared Approach		N			N	
Storage		0			0	

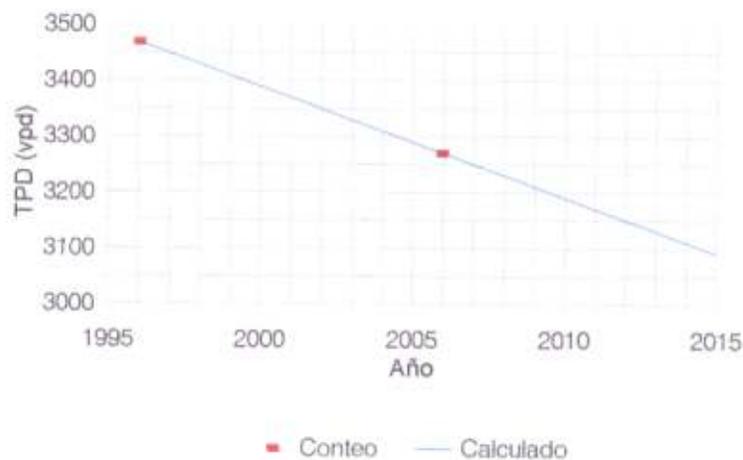
RT Channelized			0			0
Lanes	0	1	0	0	0	0
Configuration		LTR				

Delay, Queue Length, and Level of Service								
Approach	Northbound	Southbound	Westbound			Eastbound		
Movement	1	4	7	8	9	10	11	12
Lane Configuration	LT						LTR	
v (veh/h)	104						116	
C (m) (veh/h)	1216						481	
v/c	0.09						0.24	
95% queue length	0.28						0.93	
Control Delay (s/veh)	8.2						14.8	
LOS	A						B	
Approach Delay (s/veh)	--	--					14.8	
Approach LOS	--	--					B	

Apéndice 6. Determinación del Factor de Crecimiento del Tránsito Promedio Diario

Carretera PR-108, al sur del camino Leguísamo

Año	Conteo	Calculado	Regression Output:	
1996	3470	3470	Constant	42990.7999993788
2006	3272	3272	Std Err of Y Est	
2010		3193	R Squared	1
2015		3094	No. of Observations	2
			Degrees of Freedom	0
			X Coefficient(s)	-19.799999996895
			Std Err of Coef.	



$$F = P(1 + i)^n$$

$$(1 + i)^n = \frac{P}{F}$$

$$1 + i = \sqrt[n]{\frac{P}{F}}$$

$$i = \sqrt[n]{\frac{P}{F}} - 1$$

$$i = \sqrt[14]{\frac{3193}{3470}} - 1$$

$$i = -0.6\% \text{ anual}$$

Apéndice 7. Generación, Asignación y Proyección de Viajes

Generación de Viajes

Con el propósito de determinar el flujo vehicular que generará la urbanización Monte Verde, se utilizó la referencia *Trip Generation* (ITE, 2003a,b). Esta referencia define una serie de usos de terreno e indica el flujo vehicular que se espera que cada uno genere, basado en estudios realizados previamente.

Tabla A7-1. Viajes que generarán los proyectos que impactarán a la red vial analizada

Proyecto	Hora Pico AM		Hora Pico PM	
	Entrando	Saliendo	Entrando	Saliendo
Urb. Monte Verde	118	352	368	216
Urb. Monte Verde ajustado por "Multi-Use"	90	267	280	164
Área Comercial	32	20	89	97
Comercial ajustado por "Pass-by"			30	32
Comercial ajustado por "Multi-Use"	24	16	23	24
Villa Aida I	8	25	25	15
Villa Aida II	6	17	16	9

El proyecto se compondrá de la construcción de 658 unidades de vivienda unifamiliar de interés social en solares de unos 308 metros cuadrados cada una así como una área comercial en un predio de unos 4930 metros cuadrados. La Junta de Planificación de Puerto Rico evalúa actualmente la Consulta de Ubicación de este caso bajo el número 2006-29-0001-JPU-ISV-M. Para poder estimar el flujo

vehicular que generará este proyecto se utilizaron los usos de terreno 210 (*Single-Family Detached Housing*) y 820 (*Shopping Center*), según definido por *Trip Generation* (**ITE, 2003a,b**). El estimado del volumen en las horas pico se realizó basado en la cantidad de nuevas unidades de vivienda que se proveerán y en el espacio de piso destinado para ventas o servicio que tendrá el área comercial, expresado en miles. Este último dato se calculó de acuerdo al área de piso máxima que se permite proveer en un proyecto comercial con parámetros de diseño de acuerdo a la zonificación C-6, información que aparece en el Reglamento de Zonificación de Puerto Rico vigente (**ELA, 2000**). Aunque el área no está zonificada, en este tipo de proyecto se requiere que se provea un área comercial diseñada tomando en cuenta esta zonificación, de acuerdo al Reglamento de Lotificación y Urbanización (**ELA, 2005**). Utilizando la misma referencia, se determinaron los viajes que generará la urbanización Villa Aida, la cual, por su ubicación, impactará a las facilidades viales analizadas. Este proyecto se dividirá en dos fases, una a cada lado de la carretera PR-108. La Junta de Planificación de Puerto Rico evalúa actualmente la Consulta de Ubicación de cada fase. Para la fase que se construirá al oeste de la carretera PR-108 la Junta de Planificación le asignó el número de caso 2005-29-0027-JPU-M mientras que le asignó el número de caso 2005-29-0028-JPU-M para la fase que se propone al lado este de la mencionada carretera. Para determinar los viajes

que generará este proyecto se utilizó el uso de terreno 210. Se utilizó la información que ofrece la referencia relacionada al tránsito que generarán los proyectos propuestos durante las horas pico de la calle adyacente, para ambos periodos críticos. Esto se hizo así ya que se supuso que las horas pico de estos proyectos no cambiarán a las horas pico del sistema vial analizado por lo que las actuales seguirán siendo las críticas al analizar la operación del sistema. Los viajes generados se resumen en la tabla A7-1.

Ajuste por Viajes "Pass-By"

Los viajes generados por centros comerciales y otros establecimientos (bancos, farmacias, restaurantes de comida rápida, etc.) poseen características diferentes a los viajes generados por otros tipos de facilidades. Una proporción significativa de los viajes generados por centros comerciales son simplemente viajes desviados del tránsito actual en el sistema de carreteras adyacente. Estos viajes se conocen como "pass-by".

Debido a que en el proyecto se proveerá un área comercial, los viajes generados por estos deben ser ajustados por viajes "pass-by". La referencia *Trip Generation Handbook* (ITE, 2001) incluye estadísticas para estimar los porcentos de viajes "pass-by" en función del área de alquiler comercial. De esta referencia, el porcentaje promedio de viajes "pass-by" para un área comercial de 15,916 pies cuadrados es 66.4%. Por lo tanto, se supuso que un 66.4% de los viajes generados por el área comercial propuesta serán

viajes "pass-by". El área de alquiler disponible se calculó utilizando los reglamentos 3 y 4 de la Junta de Planificación, tal y como se explicó en la pasada sección. Los viajes ajustados se resumen en la tabla A7-1.

Distribución de Viajes

Una vez determinado el flujo vehicular que generará la urbanización Monte Verde durante las horas pico de un día laborable típico, se procedió a distribuir la nueva demanda de vehículos. Esta distribución se realizó basada en la proporción direccional obtenida durante las horas pico, en un día laborable típico, en los conteos realizados recientemente en las cercanías del proyecto propuesto. Los viajes que generará la primera fase de la urbanización Villa Aida se distribuyeron de forma similar pero tomándose en cuenta a los viajes generados por la urbanización Monte Verde. Los viajes que generará la segunda fase de la urbanización Villa Aida se distribuyeron de igual forma pero tomando en consideración los viajes ya generados y distribuidos de la urbanización Monte Verde y la primera fase de la urbanización Villa Aida. Los viajes que generará el área comercial de la urbanización Monte Verde se distribuyeron de igual manera que los anteriores pero considerando los viajes generados y distribuidos de los proyectos propuestos para el área. En la figura A7-1 se ilustran los viajes que generarán los proyectos propuestos aquí considerados

durante las horas pico de la calle adyacente, en un día laborable típico y como se distribuirán por la red de carreteras analizada.

Proyección del Tránsito

Para proyectar los conteos de flujo vehicular actuales hacia el futuro, se obtuvieron datos históricos recopilados por la Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT) en una estación de conteo ubicadas antes del acceso por el sur de la intersección de la carretera PR-108 y el camino Leguisamo. Con estos datos, los cuales aparecen en el Apéndice 6, y los tomados para este estudio, se desarrolló una ecuación de regresión lineal para determinar la curva que mejor se les ajustara. Los resultados se ilustran en las páginas 21 a la 23 de este informe y se detallan en el Apéndice 6. Utilizando la ley de interés compuesto y el crecimiento anual obtenido, se proyectaron los datos actuales al año 2010, para las horas pico de un día laborable típico. En la figura A7-2 se ilustra la proyección de los datos de flujo vehicular actuales a dicho año. Estos datos se sumaron a los viajes que generará el proyecto propuesto, ya distribuidos, según aparecen en la figura A7-1, para hacer los análisis operacionales correspondientes al momento en el que se espera que se ocupe la urbanización Monte Verde. Los resultados de la suma de estos datos se resumen en la figura 11.

Para hacer el análisis operacional correspondiente a cinco años luego de que el proyecto propuesto se ocupe se tomaron los

datos utilizados para el análisis correspondiente al año 2010 y se proyectaron utilizando la ley de interés compuesto con el factor de crecimiento anual obtenido. Los resultados se resumen en la figura 13.

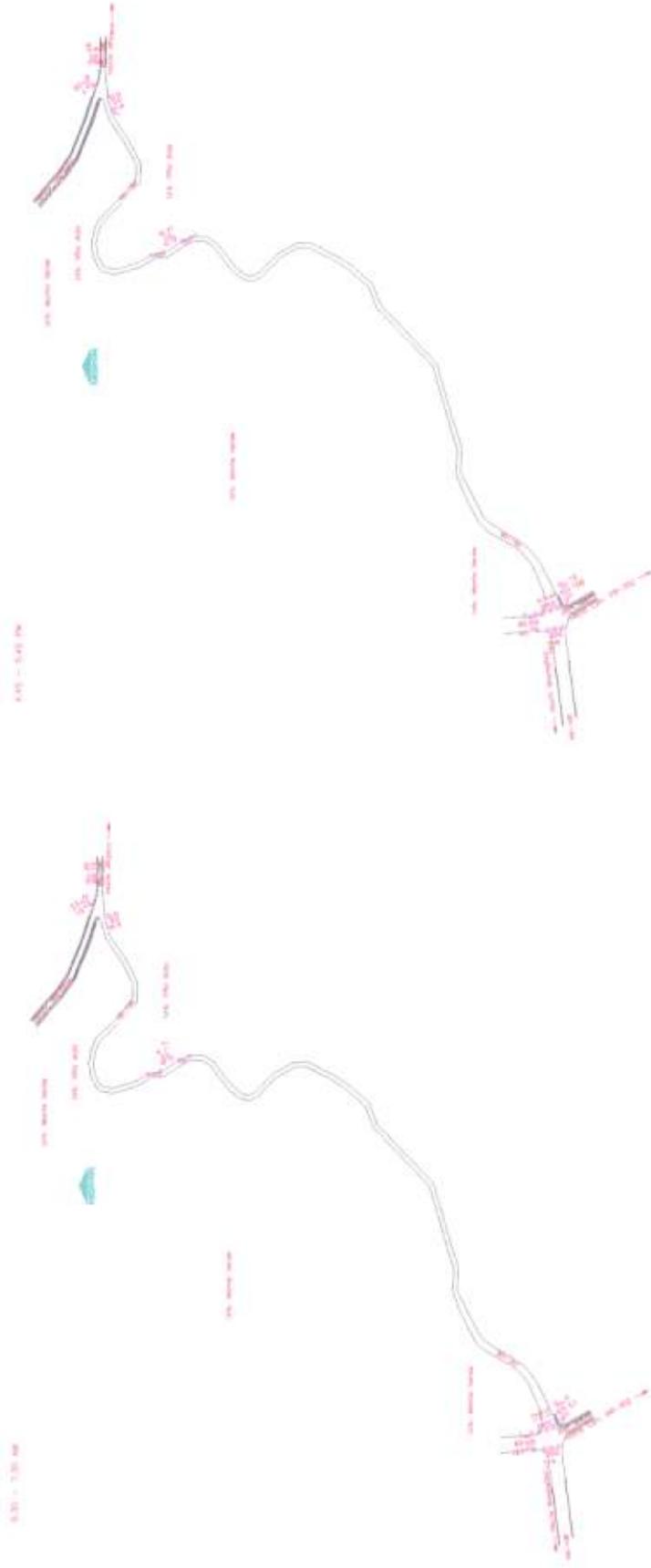


Figura A7-1. Viajes que generarán las urbanizaciones Monte Verde y Villa Aida durante las horas pico de un día laborable típico, distribuidos por la red vial analizada en este estudio. Los viajes generados se expresan en vehículos por hora

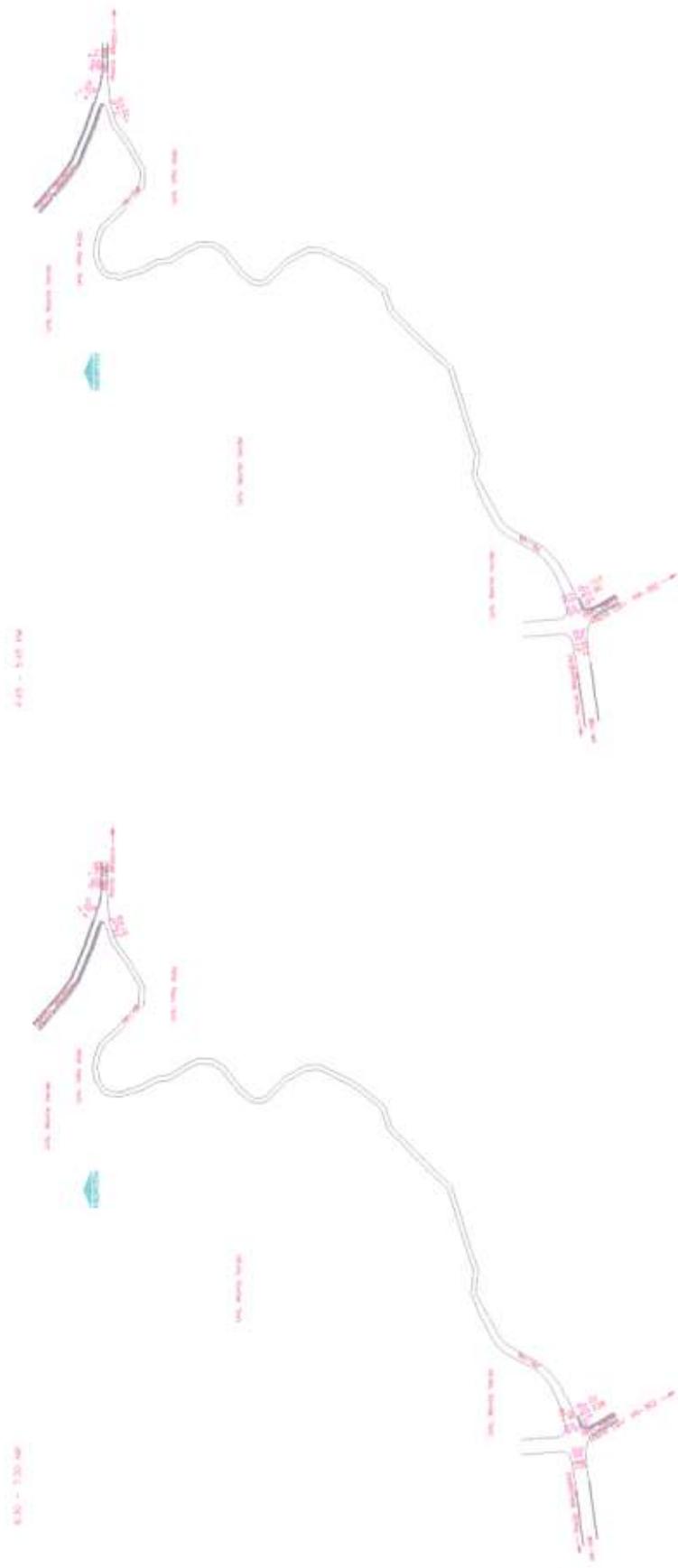


Figura A7-2. Viajes que actualmente utilizan la red vial analizada en este estudio proyectados al año 2010. Los viajes se expresan en vehículos por hora

Apéndice 8. Curriculum Vitæ del consultor

José Luis Pérez Berenguer, M.S.C.E., P.E., P.T.O.E., S.I.T.
P.O. Box 6512, Marina Station
Mayagüez, Puerto Rico 00681-6512
Phone & Fax (787) 254-8321
PBAsoc@choicecable.net

CURRICULUM VITÆ**EDUCATION:**

JANUARY 1992 TO MAY 1994

Master of Science in Civil Engineering (Pavement Design and Transportation). University of Puerto Rico - Mayagüez Campus, Mayagüez, Puerto Rico. GPA: 3.70

AUGUST 1986 TO DECEMBER 1991

Bachelor of Science in Civil Engineering. University of Puerto Rico - Mayagüez Campus, Mayagüez, Puerto Rico. Cum Laude

JANUARY 2000 TO DECEMBER 2005

Bachelor of Science in Surveying and Topography. University of Puerto Rico - Mayagüez Campus, Mayagüez, Puerto Rico. Cum Laude

PROFESSIONAL LICENSES AND CERTIFICATIONS:

Professional Engineer - License 12673 P.E.

Surveyor in Training - Certification 22117 S.I.T.

Principles and Practice of Land Surveying Examination - Approved

Professional Transportation Operations Engineer - Certificate Number 840

Certified Worksite Traffic Supervisor - Certification 54159

RESEARCH PROJECTS:

JULY 1998 TO FEBRUARY 1999

Análisis del Diseño de los Accesos, Facilidades de Transferencia Intermodal, Estacionamientos y "Kiss and Ride" en las Estaciones del Tren Urbano. Research supervisor of the undergraduate student Joel A. Martínez Vega for the UPR/MIT Tren Urbano Internship Program - coordinated by the Civil Infrastructure Research Center. Poster and presentation

JULY 1997 TO MAY 1998

Análisis de los Planes de Mantenimiento de Tránsito a Implementarse Durante la Construcción del Tren Urbano. Research supervisor of the undergraduate student Jorge L. Ramos Ortiz for the UPR/MIT Tren Urbano Internship Program - coordinated by the Civil Infrastructure Research Center. Written and oral report, poster

SEPTEMBER 1996 TO MAY 1998

El Impacto Futuro en el Patrón de Flujo Vehicular en las Intersecciones Adyacentes al Corredor del Tren Urbano. Research supervisor of the undergraduate student Diego Torres for the UPR/MIT Tren Urbano Internship Program - coordinated by the Civil Infrastructure Research Center. Written and oral report, poster

MARCH 1996 TO FEBRUARY 1998

Measurement and Analysis of Pavement Condition and Improvement of Existing Roughness Mathematical Models Applied to the Puerto Rico Highway Network. Principal Investigator, supported by the Puerto Rico Department of Transportation and Public Works - coordinated by the Civil Infrastructure Research Center. Written and oral report, poster

JUNE 1996 TO AUGUST 1996

Medidas y Análisis de Rugosidad en el Pavimento en la Red de Carreteras de Puerto Rico. Research supervisor of the undergraduate student Jorge L. Ramos Ortiz, sponsored by the Puerto Rico Alliance for Minority Participation. Written and oral report, poster

AUGUST 1995 TO MAY 1996

Análisis Operacional de un Sistema de Transportación sobre Rieles; Plan de Servicio Propuesto para el Tren Urbano. Research supervisor of the graduate student Ginger M. Rossy Robles for the UPR/MIT Tren Urbano Internship Program - coordinated by the Civil Infrastructure Research Center. Written and oral report

MAY 1992 TO MAY 1994

Develop of the thesis **Análisis de datos de Rugosidad y Desarrollo de Modelos para Estimar la Tendencia del Deterioro de Pavimentos.** Requirement to obtain a Master Degree in Pavement Design and Transportation Engineering Area. University of Puerto Rico - Mayagüez Campus, Mayagüez, Puerto Rico. Written report and oral exam

PAPERS:

SEPTEMBER 1996

Replicabilidad de Medidas de Rugosidad del Pavimento Utilizando el equipo ARAN. Published. IX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transportes, La Habana, Cuba

JULY 1996

Analysis of Roughness Measurements for Delineating Homogeneous Units for Pavement Management Application. Co-author, submitted for consideration to the Transportation Research Board 76th Annual Meeting

JUNE 1994

Un Nuevo Enfoque en el Análisis de Datos de Rugosidad para un Sistema de Gerencia de Pavimentos. Published. VIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transportes, Ciudad de Mexico, Mexico

PRESENTATIONS:

DECEMBER 2, 1996 TO DECEMBER 6, 1996

Replicabilidad de Medidas de Rugosidad del Pavimento Utilizando el equipo ARAN. IX Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transportes, Capitolio Nacional, La Habana, Cuba

OCTOBER 24, 1996

Measurement and Analysis of Pavement Condition and Improvement of Existing Roughness Mathematical Models Applied to the Puerto Rico Highway Network. Civil Engineering Department, University of Puerto Rico - Mayagüez Campus. Sponsored by the Civil Infrastructure Research Center

APRIL 1994

Análisis de datos de Rugosidad y Desarrollo de Modelos para Estimar la Tendencia del Deterioro de Pavimentos. 29th ACS Junior Technical Meeting, University of Puerto Rico - Mayagüez Campus. Sponsored by Puerto Rico Alliance for Minority Participation.

WORK EXPERIENCE:

JULY 1994 TO PRESENT

Pérez Berenguer y Asociados; Principal, Transportation and Civil Engineer

AUGUST 1994 TO DECEMBER 1998

University of Puerto Rico - Mayagüez Campus, Department of Civil Engineering; Professor of the following courses in the Transportation and Civil Engineering Department:

- Highway Location and Curve Design
- Highway Engineering
- Undergraduate Research
- Seminar of Civil Engineering

OCTOBER 1992

Traffic Study in Lomas Verdes Ave. and Ramírez de Arellano Ave. at Guaynabo, Puerto Rico. Dr. Sergio L. González Quevedo - Consultant; Technical support

JANUARY 1992 TO MAY 1992

University of Puerto Rico - Mayagüez Campus; Teacher Assistant of Dr. José F. Lluch García, Construction Management Course

MARCH 1991 TO JANUARY 1992

Office for the Improvement of the Public Schools, Department of Education, Commonwealth of Puerto Rico; Engineer's Assistant, Field Inspector

DECEMBER 1990 TO JANUARY 1991

Office for the Improvement of the Public Schools,
Department of Education, Commonwealth of Puerto Rico;
Engineer's Assistant, Field Inspector

AUGUST 1990 TO DECEMBER 1990

University of Puerto Rico - Mayagüez Campus; Assistant of
Dr. Milton R. Martinez Delgado (R.I.P.) in the
development of Structural Analysis Computer Programs

GRADUATE COURSES TAKEN:

Analysis and Design of Public Transportation Systems
Urban Transportation Planning
Traffic Engineering I
Pavement Design
Advanced Engineering Economics
Bituminous Mix Design and Construction Techniques I
Bituminous Mix Design and Construction Techniques II
Pavement Management
Applied Soil Mechanics
Operations Research
Geosynthetics in Civil Engineering
Design of Intelligent Traffic-Control Systems

CONTINUING EDUCATION COURSES TAKEN

JUNE 1st, 2006

Foro: Urbanismo y Soluciones Innovadoras de
Transportación - Institute of Engineers and Surveyors of
Puerto Rico (CIAPR). Polytechnic University of Puerto
Rico, San Juan, Puerto Rico

SEPTEMBER 24, 2004

The Process of Forced Expropriation: Important Aspects
for Engineers and Land Surveyors - Johnny Colón Díaz,
P.E., Polytechnic University of Puerto Rico, San Juan,
Puerto Rico

OCTOBER 13, 2001

Professional Traffic Operations Engineer Certification
Exam Refresher Course - Benjamín Colucci Ríos, Ph.D.,
Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico, San
Juan, Puerto Rico

JULY 31, 2001

Addressing Lead-Based Paint Hazards During Renovation, Remodeling and Rehabilitation in Federally Owned and Assisted Housing -Benjamín Cintrón, Quantech - Fort Buchanan, Guaynabo, Puerto Rico. Sponsored by HUD

JULY 14-16, 1998

Worksite Traffic Supervisor Training Course - James A. Brandon, Jr., P.E., American Traffic Safety Services Association. PGA Marriott Hotel, Palm Beach Gardens, Florida

JULY 1998

Public Transportation in Boston - Nigel Wilson, Ph.D. and Kenneth Kruckemeyer, Ph.D., MIT. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts

JULY 1997

Reglamentación y Procedimientos para el Desarrollo de Terreno y Permisos de Construcción en Puerto Rico - José F. Lluch García, Ph.D., P.E., Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico (CIAPR). University of Puerto Rico-Mayagüez Campus, Mayagüez, Puerto Rico

JULY 1997

Public Transportation in Boston - Nigel Wilson, Ph.D. and Kenneth Kruckemeyer, Ph.D., MIT. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts

FEBRUARY 8, 1996

Standard Drawings of the Puerto Rico Highway and Transportation Authority - Isabel Cristina Victoria Jaramillo, M.S.C.E., PRHTA - Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico (CIAPR), Hato Rey, Puerto Rico

SEPTEMBER 1995 TO DECEMBER 1995

Autocad I - Surveyor José Vigo, University of Puerto Rico - Mayagüez Campus, Mayagüez, Puerto Rico

JULY 1995

Public Transportation in Boston - Nigel Wilson, Ph.D. and Kenneth Kruckemeyer, Ph.D., MIT. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts

MEMBERSHIP IN PROFESSIONAL AND COMMUNITY ORGANIZATIONS:

Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico
(CIAPR) - License 12673 P.E.

Institute of Civil Engineers of Puerto Rico

Member - Institute of Transportation Engineers

Associate Member - American Society of Civil Engineers

Miembro - Centro Cultural Salvador Brau, Cabo Rojo

SEPTEMBER 2006 TO PRESENT

Secretary, Board of Directors - Equipo Piratas Doble A,
Inc. Baseball Club, Cabo Rojo, Puerto Rico

NOVEMBER 1998 TO NOVEMBER 2000

President - Asociación de Residentes de Urbanización y
Extensión La Concepción, Inc., Cabo Rojo, Puerto Rico

NOVEMBER 1994 TO DECEMBER 1998

Tren Urbano Internship Program - coordinated by the Civil
Infrastructure Research Center, University of Puerto Rico
- Mayagüez Campus, Mayagüez, Puerto Rico

1995 TO 1998

Member of the University of Puerto Rico evaluating
committee for grant the Dwight D. Eisenhower Scholarship
for Transportation Engineering studies

NOVEMBER 1994 TO OCTOBER 1997

Faculty Advisor - Institute of Transportation Engineers,
Student Chapter, University of Puerto Rico - Mayagüez
Campus, Mayagüez, Puerto Rico

NOVEMBER 1995 TO AUGUST 1996

Member of the Academic Affairs Committee of the Civil
Engineering Department, University of Puerto Rico -
Mayagüez Campus, Mayagüez, Puerto Rico

WORK DONE BY THE OFFICE IN RELATED FIELDS:

FEBRUARY 2007

Traffic Study to analyze the impact of Monte Verde housing project in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-108, Km. 6.5, Río Cañas and Leguisamo wards, Mayagüez, Puerto Rico, for José N. Vélez Matías, P.E.

JANUARY 2007

Traffic Study to analyze the impact of Jardines de Eureka housing project in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-345, Km. 2.6, Lavadero ward, Hormigueros, Puerto Rico, for Hernán Jr. Machado Torres, P.E.

NOVEMBER 2006

Traffic Study to analyze the impact of Costa del Este housing project in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-3, Km. 52.5, interior, Machos ward, Ceiba, Puerto Rico, for Costa del Este, Corp.

NOVEMBER 2006

Traffic Study (written report and comparison to public hearings) to analyze the impact of Best Western Hotel & Casino Cofresí project in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-102, Km. 18.9, Miradero ward, Cabo Rojo, Puerto Rico, for Eng. Jorge Medina Ramírez

OCTOBER 2006

Evaluation of the impact in the traffic of the adjacent area of Park Place Housing Development, to be located at the State Highway PR-833, Km. 12.5, Santa Rosa II ward, Guaynabo, Puerto Rico, for Mr. Esteban Galva

OCTOBER 2006

Traffic Study to analyze the impact of "Supermercado Econo y otras facilidades comerciales" project in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-2, Km. 68.0, Santana ward, Arecibo, Puerto Rico, for Mr. Manuel Leizán

SEPTEMBER 16 AND 30, 2006

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

SEPTEMBER 2006

Traffic Study to analyze the impact of La Aventura housing and commercial development in the adjacent area, to be located at the junction of the State Highways PR-941 and PR-942, Celada and Jaguas wards, Gurabo, Puerto Rico, for Integral Development Strategists

JUNE 2006

Traffic Study to analyze the impact of Plaza Río Canas shopping center in the adjacent area, to be located at the junction of the State Highways Ramal PR-2, PR-585 and Eduardo Ruberté avenue, Canas Urbano ward, Ponce, Puerto Rico, for VVK Arquitectura C.S.P.

MAY 2006

Traffic Study to analyze the impact of Parque Catalina apartments in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-196 (José Garrido avenue), Km. 1.3, Cañabón ward, Caguas, Puerto Rico, for ADI, Inc.

MARCH 11 AND 18, 2006

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

DECEMBER 2005

Traffic Count to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-28, Km. 0.9, Juan Sánchez ward, Bayamón, Puerto Rico, for Borcon Puerto Rico, Inc.

NOVEMBER 2005

Traffic Study to analyze the impact of Colinas de la Fuente housing development in the adjacent area, to be located at Cuba road, Sabanetas ward, Mayagüez, Puerto Rico, for Mr. Javier López

NOVEMBER 2005

Maintenance of Traffic Plan for the Construction of Garage Isla Verde New Sanitary Pumping Station and Off-Site Force Line, located at Los Ángeles Frontage Road, Cangrejo Arriba ward, Carolina, Puerto Rico, for Paredes Luciano Architects

NOVEMBER 2005

Traffic Study to analyze the impact of Plaza Pla shopping center in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-445, Km. 0.2, Guatemala ward, San Sebastián, Puerto Rico, for Mr. Raul Pla

OCTOBER 2005

Traffic Count to determine the Average Daily Traffic and the Traffic during a Typical Saturday at the Frontage Road of the State Highway PR-2, Km. 149.5, Sabanetas ward, Mayagüez, Puerto Rico, for Mr. Santos Vélez

OCTOBER 2005

Traffic Study to analyze the impact of Mansiones de la Sultana housing development in the adjacent area, to be located at the José Bechara road, interior, Guanajibo ward, Mayagüez, Puerto Rico, for ADI, Inc.

SEPTEMBER 17 AND OCTOBER 1st, 2005

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

AUGUST 2005

Maintenance of Traffic Plan, Pavement Markings and Permanent Signing Design for Plaza Rio Canas Shopping Center, to be located at Intersection of the State Highways Ramal PR-2 and PR-585/A Street, Canas Urbano ward, Ponce, Puerto Rico, for VVK Arquitectura, C.S.P.

JULY 2005

Traffic Study to analyze the impact of Mansiones de Barceloneta housing development in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-684, Km. 17.5, Palmas Altas ward, Barceloneta, Puerto Rico, for ADI, Inc.

MAY 2003 TO JUNE 2005

Maintenance of Traffic Plans for projects to be constructed in 27 municipalities as part of the Urban Cores Improvements Program, for the Directorate of Urbanism, Department of Transportation and Public Works

MAY 2005

Access, Maintenance of Traffic Plan, Pavement Markings and Permanent Signing Design for Villas de Porta Coeli housing development, State Highway PR-2, Km. 178.0, Minillas ward, San Germán, Puerto Rico, for Urbanización Villas de Porta Coeli, Inc.

MAY 2005

Traffic Study to analyze the impact of Baldwin's View residential complex in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-833, Km. 13.0, interior, End of Emiliano China Street, Frailes ward, Guaynabo, Puerto Rico, for Baldwin Investment Corp.

APRIL 2005

Traffic Study to analyze the impact of Villas de Porta Coeli housing development in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-2, Km. 178.0, Minillas ward, San Germán, Puerto Rico, for Urbanización Villas de Porta Coeli, Inc.

MARCH 5 AND 12, 2005

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

DECEMBER 2004

Report with the results of an evaluation of the proposed street network of the future Muteado Estrella urban development, Playa ward, Ponce, Puerto Rico, for Administración de Terrenos de Puerto Rico

DECEMBER 2004

Traffic Study to analyze the impact of Monte Sierra housing development in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-349, Km. 1.1, Quebrada Grande ward, Mayagüez, Puerto Rico, for Urbanización Monte Sierra, Inc.

OCTOBER 2004

Traffic Study (written report and comparison to public hearings) to analyze the impact of Frailes Centro shopping center in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-873, Km. 0.8, Tortugo ward, San Juan, Puerto Rico, for Best Properties

OCTOBER 2004

Evaluation of the Traffic Impact Study (written report and comparison to public hearings) submitted by the proponents of the Expansion of the Actual Facilities of SER de Puerto Rico, located at 500 Báez street, Pérez Moris Housing Development, Universidad ward, San Juan, Puerto Rico, for Asociación de Residentes y Propietarios de la Urbanización Pérez Moris, Inc.

MAY 2003 TO OCTOBER 2004

Maintenance of Traffic Plan for the Reconstruction of Intersection number 5 (Junction of the State Highways PR-1, PR-25, PR-26 and PR-35), Santurce ward, San Juan, Puerto Rico for Orval E. Sifontes, A.I.A.

OCTOBER 2 AND 10, 2004

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

AUGUST 2004

Evaluation of the impact in the traffic of the adjacent area of Caribbean Medical Testing Center, located at 300 Clemson street, University Gardens Housing Development, Hato Rey Sur ward, San Juan, Puerto Rico, for Farmacias El Amal

AUGUST 2004

Evaluation of the impact in the traffic of the adjacent area of Terrazas del Turabo Housing Development, to be located at Reina de las Flores road, Rincón ward, Gurabo, Puerto Rico, for Terrazas del Turabo

MAY 2004

Traffic Count to determine the Average Daily Traffic at McKinley and Méndez Vigo streets, immediately at west of the State Highway PR-2, Marina Meridional ward, Mayagüez, Puerto Rico, for Mr. Eduardo Ruiz Valentín

MAY 2004

Traffic Count to determine the Average Daily Traffic at the intersection of the State Highway PR-2 and Carlos Chardón street, Río ward, Mayagüez, Puerto Rico, for Mr. Eduardo Ruiz Valentín

MAY 2004

Consultant hired by the opposite part in the procedures for a Necessity and Convenience Certificate for a Walgreens Drug Store proposed at Boulevard street, Pueblo ward, Bayamón, Puerto Rico, for Farmacias El Amal

MAY 2004

Traffic Study to analyze the impact of Laurel Sur Housing Development in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-506, Km. 1.7, Coto Laurel ward, Ponce, Puerto Rico, for D.I.S., Inc.

MARCH 2004

Feasibility Study to Evaluate the Public Transportation System of the Municipality of Dorado, Puerto Rico - Project FTA - P.R. 80-X011 - Task 22-01, for the Municipality of Dorado

MARCH 6 AND 20, 2004

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

DECEMBER 2003

Traffic Study to analyze the impact of Plaza La Cumbre project in the adjacent area, to be located at the State Highway PR-199, Km. 4.0, Cupey ward, San Juan, Puerto Rico, for Álvarez-Díaz Group, P.S.C.

OCTOBER 2003

Report with the results of an evaluation of the future street network of Multeado Estrella urban development, Playa ward, Ponce, Puerto Rico, for Administración de Terrenos

SEPTEMBER 2003

Expert witness report of an accident occurred on September 27, 1997 in 435 Street, Villa Carolina Housing Development, Carolina, Puerto Rico, for Mrs. Sonia Carballo Fernandez

SEPTEMBER 13 AND 27, 2003

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

MARCH 29 AND APRIL 5, 2003

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

MARCH 2003

Expert witness report analyzing the Maintenance of Traffic Plan approved for the projects AC-014206 and AC-14207 (State Highway PR-142 Quebrada Arenas ward, Toa Alta, Puerto Rico), for American International Insurance Company

OCTOBER 5 AND 19, 2002

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

SEPTEMBER 2002

Composed Pavement Design for a frontage road of the State Highway PR-199, Río Piedras, Puerto Rico, for A.S. Consulting Engineers

SEPTEMBER 2002

Traffic Study to analyze the impact of the operation of Antonio S. Paoli Fine Arts Center in the adjacent area, to be located at Los Caobos Avenue, Bucaná Ward, Ponce, Puerto Rico, for Urban Venture Group, P.S.C.

JUNE 2002

Traffic Study to analyze the impact of a proposed housing development in the State Highway PR-4466, Km. 0.8, Bajura Ward, Isabela, Puerto Rico, for Mr. Hauger Martín Hau

APRIL 2002

Traffic Study to analyze the impact of the expansion of the Panamerican Terminal in the adjacent area, located at Lindbergh Street interior, Isla Grande sector, Santurce Ward, San Juan, Puerto Rico, for Royal Caribbean and RAY Architects Engineers

APRIL 6 AND 13, 2002

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

MARCH 2002

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-54, Km. 3.0, Guayama, Puerto Rico, for Mr. Oscar Rodríguez Crespo

JANUARY 2002

Traffic Study to analyze the impact of the expansion of the Winnie's Active Learning Kids School in the adjacent area (including depositions at public audiences), located in the State Highway PR-104, Km. 1.9, Algarrobos Ward, Mayagüez, Puerto Rico, for WALKS

NOVEMBER 2001

Traffic Study to analyze the impact of Apartamentos Marazul housing and commercial development in the State Highway PR-187, Km. 9.7, Medianía Baja Ward, Loiza, Puerto Rico, for Ossam Construction

NOVEMBER 2001

Traffic Study to analyze the impact of Paraíso de Mayagüez housing development in the adjacent roads, Sábalo ward, Mayagüez, Puerto Rico, for Pulte Homes Caribbean

SEPTEMBER 29 AND OCTOBER 6, 2001

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

FEBRUARY 2001 TO JULY 2001

Inspector of the Project "Widening of the Bridge over Maricao River", located at the State Highway PR-120, Km. 11.30, Maricao, Puerto Rico, for Ingeniar Engineering Solutions, P.S.C.

JULY 2001

Traffic Study to analyze the impact of Garden State Commercial Center project in the State Highway PR-100, Kms. 3.3 to 4.6, Guanajibo and Miradero wards, Cabo Rojo, Puerto Rico, for Mr. Guiseppe Marino Damiani

JUNE 2001

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-980, Km. 1.1, Florida ward, San Lorenzo, Puerto Rico, for Mr. Rafael Martínez Santana

MARCH 28 AND APRIL 2, 2001

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

FEBRUARY 3, 2001

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Interamerican University of Puerto Rico at Arecibo

JANUARY 2001

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the junction of the State Highways PR-3 and PR-901, Juan Martín ward, Yabucoa, Puerto Rico, for Farmacias El Amal

DECEMBER 2000

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the junction of the State Highways PR-14 and PR-721 (including depositions at public audiences), Pueblo Norte and Pueblo Sur wards, Aibonito, Puerto Rico, for Farmacias El Amal

OCTOBER 2000

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-1, Km. 88.1, Lapa ward, Salinas, Puerto Rico, for Mr. Bernardo Olmeda Morales

SEPTEMBER 30, 2000

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

SEPTEMBER 2000

Traffic Study to analyze the impact of Haciendas El Monte project in the State Highway PR-2, Kms. 173.2 to 174.7, Cain Alto ward, San Germán, Puerto Rico, for Paseos de San Antonio Development Corporation

AUGUST 2000

Expert witness report with the results of a traffic study to analyze the impact of Percon Industrial park at the junctions of the State Highway PR-14 with the future Caribe Principal Street, State Highway PR-52, Puerto Viejo road and the future Contreras Avenue, Playa ward, Ponce, Puerto Rico, for Percon Development Corporation

MAY 2000

Traffic Count to determine the Average Daily Traffic at Ave. Del Pescador, La Parguera ward, Lajas, Puerto Rico, for Carlyle Benavent, M.D.

APRIL 1st, 2000

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

MARCH 2000

Expert witness report based on the results of an evaluation about the possible access for the project Percon Industrial Park, Playa ward, Ponce, Puerto Rico, for Percon Development Corporation

FEBRUARY 2000

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-348, Km. 8.8, Rosario Bajo ward, San Germán, Puerto Rico, for Félix J. Rodríguez Arroyo

DECEMBER 1999

Traffic Study to determine the impact of an extension of the PRTC facilities at the junctions of the State Highway PR-5 with the access of the Puerto Nuevo Distribution Center and the 11th street of Las Vegas Housing Development, Palmas ward, Cataño, Puerto Rico, for Puerto Rico Telephone Company

NOVEMBER 1999

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the junction of the State Highways PR-921 and PR-9922, Collores ward, Las Piedras, Puerto Rico, for Mr. Carlos Beltrán Rodríguez

OCTOBER 16, 1999

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

OCTOBER 1999

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the junction of the State Highways PR-189, PR-9919 and Hormazábal street, Pueblo Norte ward, Juncos, Puerto Rico, for Mr. Carlos L. Beltrán Rodríguez

JULY 1997 TO JULY 1999

Maintenance of Traffic Plan for the Bayamón Alignment Section Contract-Tren Urbano (project AC-500007), for ICA-Miramar Metro San Juan, Corp.

MAY 1999

Expert witness report of an accident occurred on June 21, 1998 in the junction of the State Highway PR-823 and the access to the construction project of the future PR-142, Quebrada Arenas ward, Toa Alta, Puerto Rico, for Mr. Ismael Diaz Santos

MAY 1999

Expert witness report of an accident occurred on May 27, 1996 in the State Highways PR-335, Km. 11.0, Indios ward, Guayanilla, Puerto Rico, for Mr. Frank A. Quiñones Martínez

MAY 1999

Pavement design for projects AC-000136, AC-100202 and AC-100203 (Mejoras a la PR-1 desde PR-735 a PR-170), Cayey, Puerto Rico, for A.S. Consulting Engineers

MARCH 13, 1999

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

FEBRUARY 1999

Traffic Count to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-111, Km. 0.4 at Aguadilla, Puerto Rico, for Fidel De Frías, M.D.

NOVEMBER 1998

Expert witness report of an accident occurred on June 19, 1994 in the junction of the State Highways PR-2 and PR-114, Sábalos ward, Mayagüez, Puerto Rico, for Eng. Pablo Crespo Pérez

OCTOBER 1998

Expert witness report of an accident occurred on December 6, 1997 in the State Highway PR-307, Km. 8.9, Boquerón ward, Cabo Rojo, Puerto Rico, for Mrs. Anabelle Rodríguez Sepúlveda

OCTOBER 1998

Report with the results of an evaluation about the proposed alternatives for the project AC-030108 (Conector PR-100 Intersección PR-101 a PR-301), Boquerón ward, Cabo Rojo, Puerto Rico, for Dr. Ricardo Ramírez Ramírez

OCTOBER 17, 1998

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

MAY 1998

Traffic Study to analyze the impact of Isla Azul housing development, proposed at the State Highway PR-472, km. 2.7, Bejucos ward, Isabelita, Puerto Rico, for Mr. Luis A. Pérez Villanueva

MAY 1998

Traffic Impact Study and preliminar design of access for the Parque de Diversiones de Luquillo (including depositions at public audiences), proposed at the State Highway PR-3, kms. 33.0 to 35.0, Mata de Plátano ward, Luquillo, Puerto Rico, for Fernando L. Rodríguez, P.E. & Associates

MARCH 1998

Evaluation of the Haul Route used by Betterroads Asphalt Corp. when operates the extraction area at Cercado and Cidra wards, Añasco, Puerto Rico, for Betterroads Asphalt Corp.

FEBRUARY 28, 1998

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

JANUARY 1998

Traffic Study to determine the impact of Garden State Commercial Center at the junction of the State Highways PR-100 and PR-311, Miradero and Guanajibo wards, Cabo Rojo, Puerto Rico, for Mr. Guiseppe Marino Damiani

DECEMBER 1997

Traffic Study to determine the impact of an extension of S.E.S.O. school at the junction of their access and the Cuba road, Miradero ward, Mayagüez, Puerto Rico, for Southwestern Educational Society

NOVEMBER 1997

Rigid Pavement Design for Project AC-006608 (State Highway PR-66, Carolina - Canóvanas, Puerto Rico), for Behar-Ybarra Associates

OCTOBER 4, 1997

Instructor - Review for the Professional Civil Engineer Exam, sponsored by the Institute of Engineers and Surveyors of Puerto Rico

AUGUST 1997

Traffic Count to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-128, Km. 2.0, Yauco, Puerto Rico, for PCO Associates

APRIL 1997

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the junction of the State Highways PR-102 and PR-308, La Garita Sector, Miradero ward, Cabo Rojo, Puerto Rico, for Chaibén J. Fas Alzamora, Esq.

AUGUST 1996

Quality tests of the asphalt concrete used on the parking of the Municipal Drop-Off Center, for the Municipality of Las Marías

JULY 1996

Traffic Study (written report and comparison to public hearings) to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-3, Km. 16.3, Canóvanas, Puerto Rico, for Moravarcy Engineering Group.

JULY 1996

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-128, Km. 2.0, Yauco, Puerto Rico, for Moravarcy Engineering Group

MAY 1996

Pavement Design for the project AC-053603, Rehabilitation of the State Highway PR-536, Santa Isabel, Puerto Rico, for A.S. Consulting Engineers

MARCH 1996

Origin and Destiny Study for the preliminary design of the future interchange of the State Highways PR-148 and PR-828, Bayamón and Toa Alta, Puerto Rico, for CSA Architects and Engineers

FEBRUARY 1996

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-110, Km. 9.7, Moca, Puerto Rico, for Moravarcy Engineering Group

NOVEMBER 1995

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the junction of the State Highways PR-2 and PR-402, Añasco, Puerto Rico, for Moravarcy Engineering Group

AUGUST 1995

Pavement Design for preliminary design of the State Highway PR-66 (Río Piedras-Loiza), for Lebrón Associates

JULY 1995

Pavement design for project AC-001732 (Mejoras inmediatas a carretera PR-17), Jesús T. Piñero Avenue, Hato Rey, Puerto Rico, for Lebrón Associates

JULY 1995

Pavement design for Piers N 1/2 & O. San Juan, San Juan, Puerto Rico, for EBP Design Group Consulting Engineers

MARCH 1995

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-111, Km. 4.0, Moca, Puerto Rico, for Moravar Engineering Group

MARCH 1995

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-420, Km. 5.2, Moca, Puerto Rico, for Moravar Engineering Group

FEBRUARY 1995

Traffic Study to determine the Average Daily Traffic at the State Highway PR-115, Km. 26.6, Aguada, Puerto Rico, for Moravar Engineering Group

SEPTEMBER 1994

Structural evaluation of the streets of Montesol Housing Development for the Municipal Legislature of Cabo Rojo