

Pérez Berenguer y Asociados
Ingeniería, Agrimensura, Planificación
Apartado 6512, Marina Station, Mayagüez, Puerto Rico, 00681-6512
Calle Carbonell #25, Cabo Rojo, Puerto Rico
Teléfono y Facsímil (787) 254-8321

Estudio de Tránsito Analizando el Impacto de la Urbanización Colinas de la
Fuente en las Vías del Área, Camino Cuba, barrio Sabanetas, Mayagüez,
Puerto Rico

Noviembre 2005

Tabla de Contenido

Sección	Página
Introducción y Objetivo	1
Antecedentes	3
Alcance del estudio	8
Metodología utilizada	9
Datos recopilados	12
Análisis realizados	13
Hallazgos Obtenidos	18
Conclusiones	38
Recomendaciones	40
Certificación	45
Referencias	46
Apéndices	48
Apéndice 1. Figuras	48
Apéndice 2. Guías utilizadas en el análisis operacional	65
Apéndice 3. Datos de Flujo Vehicular Tomados Durante el Conteo	95
Apéndice 4. Cómputos para el análisis operacional	99
Apéndice 5. Determinación del Factor de Crecimiento del Tránsito Promedio Diario	129
Apéndice 6. Generación, Asignación y Proyección de Viajes	131
Apéndice 7. Justificaciones para la Evaluación de la Instalación de Sistemas de Semáforos	143
Apéndice 8. Curriculum Vitæ del consultor	152

Lista de Figuras

Figura	Página
1. Mapa de Carreteras del Área	48
2. Cuadrángulo del área	49
3. Camino Cuba frente a la finca donde se propone el proyecto Colinas de la Fuente, vista desde el este . . .	50
4. Intersección de la carretera PR-2 con la avenida Algarrobo, vista desde el norte	51
5. Planta propuesta para el proyecto Colinas de la Fuente .	52
6. Esquema de las facilidades evaluadas	53
7. Patrón del flujo vehicular actual, por movimiento y total, durante un día laborable típico, en el camino Cuba, frente al proyecto propuesto	54
8. Patrón del flujo vehicular actual, por movimiento y total, durante un día laborable típico, en la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo	55
9. Flujo vehicular, Factor de la Hora Pico y Porcentaje de Camiones, para la condición actual, por movimiento y total, durante las horas pico de un día laborable típico, en las facilidades analizadas	56
10. Nivel de Servicio actual, por movimiento y total, durante ambas horas pico de un día laborable típico, en las facilidades analizadas	57
11. Viajes que generará el proyecto propuesto, distribuidos por la red vial analizada	58
12. Flujo Vehicular, Factor de la Hora Pico y Porcentaje de Camiones, por movimiento y total, durante las horas pico de un día laborable típico, para el año 2008, en las facilidades viales analizadas en este estudio	59
13. Flujo Vehicular, Factor de la Hora Pico y Porcentaje de Camiones, por movimiento y total, durante las horas pico de un día laborable típico, para el año 2028, en las facilidades viales analizadas en este estudio	60

Lista de Figuras (Continuación)

Figura	Página
14. Esquema ilustrando la geometría y control de tránsito propuestos para la intersección del camino Cuba con el acceso a la urbanización Colinas de la Fuente	61
15. Nivel de Servicio, por movimiento y total, para el año 2008, durante ambas horas pico de un día laborable típico, en las facilidades viales analizadas en este estudio	62
16. Parte norte del Plan Vial propuesto para el municipio de Mayagüez	63
17. Nivel de Servicio, por movimiento y total, para el año 2028, durante ambas horas pico de un día laborable típico, en las facilidades viales analizadas en este estudio	64
A6-1 Viajes actuales durante ambas horas pico de un día laborable típico, proyectados al año 2008	142

Lista de Tablas

Tabla	Página
1. Nivel de Servicio Actual para cada Facilidad Analizada en este Estudio	24
2. Nivel de Servicio que se Experimentará Durante las Horas Pico de un Día Laborable Típico Durante el año 2008 en cada Facilidad Analizada en este Estudio	30
3. Nivel de Servicio que se Experimentará Durante las Horas Pico de un Día Laborable Típico Durante el año 2028 en cada Facilidad Analizada en este Estudio	36
A6-1 Flujo Vehicular que Generará el Proyecto Propuesto . . .	131
A6-2 Viajes que Genera el Área Residencial Ubicada a lo Largo de la Avenida Algarrobo	135
A6-3 Distribución de los Viajes que Genera el Área Residencial Ubicada a lo Largo de la Avenida Algarrobo	136
A6-4 Distribución de los Viajes Resultantes en la Futura Intersección de la Calle Principal Periferal Norte y la Avenida Algarrobo	137

Resumen ejecutivo

Este informe resume los resultados de un estudio de impacto en el tránsito realizado en el camino Cuba y en la intersección de la carretera PR-2 con la avenida Algarrobo, Mayagüez, Puerto Rico. El estudio fue realizado por la firma Pérez Berenguer y Asociados por encomienda del señor Javier López. El objetivo del estudio es conocer el impacto en la operación de estas facilidades viales una vez se construya la urbanización Colinas de la Fuente en el camino Cuba, barrio Sabanetas, Mayagüez, Puerto Rico. La geometría actual del camino Cuba, en el área analizada, consta de un carril en cada dirección, con un ancho de hasta unos 3.65 metros cada uno, sin paseos ni aceras. La carretera PR-2, en el lugar analizado, tiene dos carriles en cada dirección, de 3.65 metros de ancho cada uno, divididos por una isleta central de 6.00 metros de ancho y con paseos de 3.00 metros de ancho a ambos lados. En esta misma área la avenida Algarrobo tiene dos carriles en cada dirección, de 3.60 metros de ancho cada uno, divididos por una isleta central de 10.2 metros de ancho, con aceras y franja de siembra a ambos lados. El pavimento de las tres vías analizadas es flexible. Se evaluaron tanto las facilidades existentes en el área como las propuestas y las planificadas, que se verán directamente impactadas. Al presente, las facilidades viales aquí analizadas pueden manejar el tránsito que las utiliza, lo que seguirá sucediendo una vez se ocupe el proyecto propuesto.

La intersección para entrar al proyecto propuesto constará de tres accesos, cada uno de los cuales deberá tener una isleta central dividiendo los carriles en direcciones contrarias, para proveer mayor seguridad. Esta intersección deberá tener un carril en cada dirección en los accesos por el este y por el oeste y dos carriles en cada dirección en su acceso por el norte, desde el proyecto propuesto. El tránsito en la intersección deberá ser controlado por rótulos de "Pare" en el acceso por el norte. Estas características serán suficientes para poder manejar el tránsito que utilizará la intersección desde el momento en el que se ocupe la urbanización en adelante. La intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo no se tendrá que modificar para que pueda manejar el tránsito que la utilizará desde ese momento en adelante.

También se evaluaron las facilidades viales indicadas, a largo plazo, suponiendo que para ese momento se ha implantado el Plan Vial de Mayagüez. Las intersecciones analizadas podrán manejar el tránsito que las utilizará, incluyendo el que genere la urbanización Colinas de la Fuente. Se debe tener en cuenta que la geometría de las intersecciones variará si se implanta el Plan Vial de Mayagüez, aunque se supuso que el control de tránsito en ambas intersecciones lo ejercerán sistemas de semáforos. Esto es un supuesto conservador ya que las agencias concernientes están evaluando la construcción de un intercambio en la intersección de la carretera PR-2 con la avenida Algarrobo, el cual debe funcionar

mejor que la intersección semaforizada. La avenida Algarrobo cruzará las dos intersecciones aquí analizadas, por lo que ambas tendrán cuatro accesos. Se determinó que en la intersección de la carretera PR-2 con la avenida Algarrobo deberán proveerse tres carriles para seguir derecho, dos para el viraje a la izquierda y uno para el viraje a la derecha en los accesos por el norte y por el sur, así como dos carriles para el viraje a la izquierda, uno para seguir derecho y uno para el viraje a la derecha en el acceso por el este y un carril para cada movimiento en el acceso por el oeste. En la intersección frente al proyecto propuesto se deberán proveer dos carriles por acceso, desde los cuales se efectuarán todos los movimientos. Esta geometría se supuso partiendo de la geometría que se propone en el Plan Vial de Mayagüez para las vías aquí analizadas. Debido a que se demostró que las facilidades actuales podrán manejar el impacto de la urbanización Colinas de la Fuente y a que las mejoras a largo plazo, en las carreteras aquí analizadas, están contempladas en el Plan Vial de Mayagüez, o sea, que son necesarias independientemente de si se construye la urbanización o no, el desarrollador debe costear solamente la construcción de la intersección para entrar a su proyecto. Las recomendaciones aquí formuladas aseguran que las facilidades analizadas tengan capacidad suficiente para manejar el tránsito que las utilizará a corto, mediano y largo plazo.

Introducción y Objetivo

Este estudio de tránsito se condujo para conocer el impacto que tendrá, en las vías adyacentes, la propuesta urbanización Colinas de la Fuente, a construirse en el camino Cuba, barrio Sabanetas, Mayagüez, Puerto Rico (figuras 1 y 2). El señor Javier López encomendó a Pérez Berenguer y Asociados la realización de este estudio. Este proyecto está en la etapa de Consulta de Ubicación ante la Junta de Planificación de Puerto Rico, donde se le asignó el número de caso 1999-29-1243-JPU-ISV. En este estudio se analizó la condición existente en el camino Cuba, frente a la finca donde se propone el proyecto (figura 3) y en la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo (figura 4). Esta intersección se verá algo impactada por el proyecto propuesto y, en el futuro, se verá más impactada, ya que la avenida Algarrobo terminará frente a la urbanización Colinas de la Fuente, convirtiéndose el acceso a este proyecto en una extensión de la mencionada vía. Se obtuvieron las horas pico y el flujo vehicular durante estas horas para un día laborable típico en los lugares indicados. Con estos datos se analizaron las facilidades mencionadas para conocer como operan actualmente. Se proyectó el flujo vehicular al año 2008, suponiendo que para ese año esté ocupado el proyecto propuesto, para tener una idea de cual será su efecto en las facilidades viales cercanas. También se hizo una proyección del flujo vehicular al año 2028 para tener una idea de

como operarán las facilidades analizadas a largo plazo. Con los resultados se formularon recomendaciones relacionadas a las medidas que se deben implantar en las facilidades viales existentes y en las planificadas para que las mismas operen satisfactoriamente a corto, mediano y largo plazo.

Antecedentes

Este estudio se realizó debido a la necesidad de conocer el impacto de la urbanización Colinas de la Fuente en las vías adyacentes. Así se pudieron recomendar medidas a tomar para que se mantengan operando de forma satisfactoria a corto, mediano y largo plazo. Colinas de la Fuente se construirá al norte del camino Cuba, frente a su futura intersección con la avenida Algarrobo, por donde será su acceso. El proyecto se construirá en dos fases, construyéndose 251 unidades en la primera y 196 en la segunda. Las unidades serán residencias de interés social y estarán ubicadas en solares con cabidas de, aproximadamente, 300 metros cuadrados. En la figura 5 se ilustra la planimetría propuesta para el proyecto.

Se realizaron conteos vehiculares en los dos carriles del camino Cuba y en todos los carriles de la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo, para determinar cuales son las horas pico en un día laborable típico y cuantos vehículos transitan por el lugar 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. Luego se proyectaron estos datos al momento en el que se espera que las residencias de Colinas de la Fuente estén ocupadas, se sumaron los viajes que generará el proyecto y se efectuó el respectivo análisis operacional. Para este momento, en lugar de analizarse la operación del camino Cuba, se analizó la operación de la futura

intersección de este camino con el acceso a Colinas de la Fuente. También se proyectaron los datos a veinte años después del momento en el que esté ocupada la urbanización y se realizó el análisis operacional correspondiente. De esta manera se pudo tener una idea de como operarán las facilidades viales en el momento indicado.

Básicamente en el lugar donde se propone la intersección del acceso a Colinas de la Fuente será el lugar a donde llegará la avenida Algarrobo, una vez se implante lo recomendado en el Plan Vial de Mayagüez. Como no se ha determinado una fecha para la construcción de esta vía, no se tomó en consideración en el análisis para el momento en el que se entreguen las residencias.

El camino Cuba comienza en su intersección con el camino Pitillo, en el barrio Miradero, y termina en su intersección con el camino Algarrobo, al norte de la urbanización Alturas de Mayagüez. Aunque este último camino tiene otra intersección, con la calle Rafael Vélez, la cual llega hasta la carretera PR-2, la mayoría del tránsito del camino Cuba se mueve a la avenida Algarrobo y viceversa. Hacia el sur del proyecto propuesto está localizado el vertedero de Mayagüez y la escuela S.E.S.O., la cual es una de las principales en la región. Estas dos instalaciones influyen grandemente en el comportamiento del flujo vehicular en el camino Cuba, aunque muchos residentes del barrio Miradero y lugares aledaños transitan por el mismo para comunicarse con la carretera PR-2, por la cual los residentes se mueven hacia las áreas

geográficas donde se ubican sus centros de trabajo, estudios u oficinas de servicios y viceversa, por lo que el camino Cuba sirve como colectora de este sector. La topografía a lo largo de todo el recorrido de esta vía es mayormente ondulada. Según el Plan Vial de Mayagüez, el segmento del camino Cuba ubicado frente a la finca donde se propone Colinas de la Fuente será parte de la calle principal Periferal Norte, la cual será una vía alterna a la carretera PR-2 en el área. Para esto, el camino Cuba tendrá que ser sometido a grandes modificaciones que cambien por completo su geometría. La carretera tiene un carril en cada dirección con un ancho variable, siempre igual o menor de 3.65 metros, sin paseos ni aceras, con superficie asfáltica. Esta vía de rodaje es utilizada de acuerdo a sus características.

La carretera PR-2 (Expreso Miguel A. García Méndez) comienza en su intersección con la carretera PR-25 (Ave. Juan Ponce de León) en Santurce y termina en su intersección con las carreteras PR-1 (Boulevard Miguel A. Pou) y PR-133 (calle Comercio), en la zona urbana de Ponce. Esta carretera forma parte de la red estratégica de Puerto Rico y une los municipios de las zonas norte, oeste y sur del país entre sí y con el Área Metropolitana de San Juan. En el área de análisis es la principal carretera entre Mayagüez y los municipios del noroeste de Puerto Rico, por lo que es muy utilizada para viajes dentro de esta región geográfica. Por esta carretera transitan muchas de las personas que acuden a Mayagüez a trabajar,

a estudiar y a realizar gestiones. Por este motivo, la mayoría de las personas que residen en las áreas aledañas a donde se propone el proyecto la utilizan en horas de la mañana y de la tarde. Dada su importancia, la carretera PR-2, en el lugar analizado, es una de las vías más transitadas de todo el país. En esta área la carretera tiene una geometría formada por dos carriles en cada dirección, de 3.65 metros de ancho cada uno con paseos exteriores de 3.00 metros de ancho a ambos lados. Los carriles en direcciones contrarias son divididos por una isleta central de 6.00 metros de ancho. La superficie del pavimento es flexible.

La avenida Algarrobo comienza en su intersección con la carretera PR-2, en el barrio Algarrobo, y termina en la urbanización Alturas de Algarrobo, que es una extensión de la urbanización Alturas de Mayagüez. La función principal de esta avenida es mover hacia y desde la carretera PR-2 el tránsito que genera la urbanización Alturas de Mayagüez, otros proyectos residenciales aledaños, el Centro Regional de Distribución (que está ubicado en esta vía) y el que se mueve por el camino Cuba, por lo que su función es el de una colectoras. Según el plan vial de Mayagüez, esta avenida será extendida en ambos extremos. Hacia el oeste será extendida desde su intersección con la carretera PR-2 hasta la carretera PR-64 (Avenida José González Clemente, Desvío Oeste de Mayagüez), al sur de la comunidad El Maní. Hacia el este la avenida será extendida hasta la calle principal Periferal Norte

(camino Cuba). Por lo tanto, la función de esta vía será, en el futuro, unir a lo que serán las tres vías principales del municipio, facilitando el movimiento de los vehículos entre el noreste y el noroeste de Mayagüez, permitiendo un rápido acceso a las personas que residen en los barrios Miradero, Sabanetas y Algarrobo a la carretera PR-2 y viceversa. Por ese motivo la avenida Algarrobo tiene características geométricas que son superiores a las necesarias para servir al tránsito que actualmente la utiliza. La avenida Algarrobo tiene dos carriles en cada dirección con un ancho de 3.60 metros, divididos por una isleta central de 10.2 metros. La carretera tiene franja de siembra y aceras a ambos lados, dado el entorno residencial donde está ubicada. La superficie de esta vía es asfáltica.

Alcance del estudio

Con este estudio se pretende principalmente conocer el impacto en el tránsito y operación del camino Cuba, de la avenida Algarrobo y de la carretera PR-2 debido a la influencia directa de la urbanización Colinas de la Fuente. Como resultado del análisis se obtuvieron las horas pico en un día laborable típico, el volumen y el Nivel de Servicio actual y futuro, al que operan y operarán las facilidades evaluadas. También se calculó el tránsito promedio diario en el camino Cuba, frente al proyecto propuesto y en la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo. Se realizaron conteos por períodos de 24 horas consecutivas los días martes, miércoles y jueves que fuesen laborables, desde el martes, 18 hasta el viernes, 28 de octubre de 2005. Tanto el día previo como el posterior al período de 24 horas tenían que ser laborables para tomar en cuenta la información obtenida. Este tipo de estudio permite conocer si las facilidades viales existentes y futuras son adecuadas para manejar satisfactoriamente el volumen vehicular al que se verán expuestas o si hay que modificarlas. 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" o "NC-97") en el pavimento de cada carril de las facilidades viales 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. Luego esa información se pasa directamente a la computadora, utilizando el programa CDM 20/30 (**Nu-Metrics, 1994**) o HDM (**Nu-Metrics, 2002**), dependiendo del tipo de detector que se haya utilizado, de donde se obtienen los informes relacionados. Estos equipos ofrecen resultados exactos y asegura que se utilizaron datos reales para efectuar los análisis pertinentes.

El conteo de flujo vehicular se efectuó por períodos de 24 horas desde la medianoche del martes, miércoles o jueves hasta la medianoche del 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 trabaja con un flujo vehicular más estable y se obtienen datos de buena 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

alterará 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 (**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 5.2 (**University of Florida, 2005**) el cual resume electrónicamente los procedimientos para el análisis sugeridos en la referencia *Highway Capacity Manual*. Con la referencia *Trip Generation* (**ITE, 2003**) se estimó cuantos viajes adicionales se espera que genere el proyecto. También se utilizó para estimar cuantos viajes generan algunos desarrollos residenciales

existentes, dato que se utilizó para obtener los datos de las vías futuras. 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 camiones en todos los movimientos del camino Cuba, frente a la finca donde se propone la urbanización Colinas de la Fuente, y en la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo. 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 se refiere sobre hacia donde va. Por ejemplo, N-E se refiere al movimiento que hacen los vehículos que transitan de norte a este. Un esquema describiendo estos movimientos se puede apreciar en la figura 6. Una vez se recopilaron y redujeron los datos se procedió a realizar el análisis de los mismos.

Análisis realizados

Los datos de flujo vehicular se recopilaron en períodos de 15 minutos, tal y como aparecen en el Apéndice 3. Con estos datos se produjeron gráficas que permiten visualizar el comportamiento del flujo vehicular en el lugar durante un día laborable típico. Estas gráficas permiten también efectuar comparaciones en los datos de flujo para cada movimiento entre diferentes períodos del día. 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)

Porcentaje del flujo vehicular durante las horas pico compuesto por camiones

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 facilidades analizadas.

Estos valores se calcularon para la situación al momento del conteo, se proyectaron para la situación al momento en el que se ocupen las residencias de Colinas de la Fuente y para la situación 20 años después. Los valores para estos parámetros se calcularon utilizando 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 hasta 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, en lo posible, las facilidades de transportación operen a un LOS D o mejor.

En carreteras de dos carriles el Nivel de Servicio depende de la clasificación de la carretera. Esta clasificación divide a las carreteras en Clase I para las que se transita a velocidades relativamente altas y Clase II para las que se transita a velocidades relativamente bajas (TRB, 2000). En el caso aquí

analizado la carretera es de Clase II ya que por sus características y por servir básicamente de colectora, se utiliza para transitar a velocidades bajas. En carreteras Clase II la movilidad es menos crítica y el LOS se define en términos del porcentaje del tiempo de seguimiento ("time-spent-following"). Esta medida toma en cuenta el tiempo que un conductor ha transitado por la carretera siguiendo a otro vehículo. En carreteras de Clase II los conductores toleran niveles más altos del porcentaje del tiempo de seguimiento que en una facilidad de Clase I, porque usualmente las facilidades Clase II sirven viajes más cortos y con diferentes propósitos.

En intersecciones semaforizadas el LOS se define en términos de "demora por control promedio" por vehículo, para cada grupo de carriles. Esta se agrega por acceso a la intersección y para la intersección completa. La demora por control promedio es una medida de la incomodidad del conductor, su frustración, consumo de combustible y tiempo de viaje perdido. La medida cuantifica la demora por deceleración inicial, tiempo en el que el conductor se mueve en la cola, demora detenido y demora en la aceleración final. La demora experimentada por un motorista se debe a una serie de factores que relacionan el control, la geometría, el tránsito y los incidentes.

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 los accesos menores, que entre en conflicto con otro movimiento. En los accesos a intersecciones regulados por señales de "Pare", como en el caso aquí evaluado, 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.

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 7 se puede apreciar el comportamiento del flujo vehicular en un día laborable típico en el camino Cuba, frente a la finca donde se propone la urbanización Colinas de la Fuente. Se observa que el volumen comienza a aumentar a eso de las 5:30 de la madrugada hasta las 7:30 de la mañana, cuando se registra un pico. Desde aquí el flujo vehicular disminuye hasta las 9:45 de la mañana. Desde este momento vuelve a aumentar hasta las 2:45 de la tarde, cuando se registra otro pico. Desde este momento en adelante comienza a disminuir hasta llegar a un mínimo durante la madrugada. El comportamiento del flujo vehicular se debe, mayormente, a la cercanía de la escuela S.E.S.O., ubicada al este del lugar en la misma vía. Por eso los picos se registran a la hora de entrada y salida de la escuela y por eso, durante el pico de la mañana predomina, el movimiento desde el oeste, o sea llegando a la escuela y durante el pico de la tarde predomina el inverso. Este comportamiento debe cambiar cuando se ocupe el proyecto Colinas de la Fuente ya que el mismo pasará a ser el mayor generador de tránsito del sector. Para ese momento, el comportamiento del flujo vehicular debe ser muy similar al de la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo ya que en la misma predominan los viajes que se generan de la casa al trabajo, estudios y gestiones y viceversa.

En la figura 8 se puede apreciar el comportamiento del flujo vehicular en un día laborable típico en la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo. Se observa que el volumen comienza a aumentar a eso de las 3:00 de la madrugada hasta el período entre 7:15 y 7:45 de la mañana, cuando se registra un pico. Desde aquí, aunque el flujo vehicular disminuye un poco, se mantiene más o menos constante hasta las 4:45 de la tarde, cuando se registra otro pico. Desde las 5:15 de la tarde en adelante comienza a disminuir hasta llegar a un mínimo durante la madrugada. En esta intersección se registra, más bien, un período pico que dura todo el día, aunque existen unos picos bien definidos. Esto ofrece una idea de lo intenso de la utilización de la intersección, lo que responde a la ubicación de la misma. La carretera PR-2, en el área analizada, es la principal entrada a Mayagüez desde los municipios del noroeste. Por este motivo, la mayoría de las personas que provienen de la región noroeste de Puerto Rico y acuden consecuentemente a Mayagüez a trabajar, estudiar o a realizar gestiones, transitan por la intersección analizada. Los picos registrados responden a estos usuarios. Por eso los picos se registran antes de la hora de entrada a los centros de trabajo, de estudio y de servicios y cuando cierran los mismos. Como era de esperarse, los movimientos N-S y S-N son los que predominan en la intersección. El movimiento N-S es el principal durante la mañana ya que es el que efectúan las personas que viajan desde el noroeste

de la isla hasta Mayagüez a realizar su rutina diaria. Durante la tarde, al ser el viaje de regreso el más cargado, el movimiento S-N es el que predomina. Como era de esperarse, de los movimientos relacionados a la avenida Algarrobo, los que predominan son el E-S y el S-E. La mayoría de los usuarios de estos movimientos responden a los mismos intereses que los de los movimientos N-S y S-N, durante la mañana salen de sus residencias en el área hacia la zona urbana de Mayagüez y durante la tarde hacen el viaje de regreso. También, parte de estos conductores se mueven hacia los centros de estudio que están ubicados en el barrio Miradero, a los cuales pueden llegar utilizando la avenida Algarrobo, los caminos Algarrobo y Cuba y la carretera PR-108, entre ellos la escuela S.E.S.O. El patrón del comportamiento descrito en la figura 8 no debe cambiar con la construcción de la urbanización Colinas de la Fuente ya que el uso del terreno en el área es principalmente residencial así como también el patrón del flujo vehicular en el sector se ve dirigido por las personas que salen de su residencia a realizar sus tareas cotidianas. A unos 200 metros al este de la intersección analizada está ubicado el Centro Regional de Distribución, el cual es una instalación comercial que genera bastante flujo pesado. Pero dada la intensidad del uso de las vías analizadas por parte de personas que salen de sus residencias a realizar tareas diarias, el tránsito que genera el Centro Regional de Distribución no forma una parte considerable del mismo.

Las horas pico en el tramo del camino Cuba frente a la finca donde se propone el proyecto se registran entre **7:00** y **8:00** de la mañana y entre **1:45** y **2:45** de la tarde. Ambas horas pico responden mayormente a personas viajando de sus residencias a centros de estudios, en especial la escuela S.E.S.O. y viceversa. En la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo las horas pico se registran de **6:45** a **7:45** de la mañana y de **4:15** a **5:15** de la tarde, antes de la hora de entrada a los centros de trabajo, de estudios y de gestiones y después de la hora de salir de los mismos, respectivamente. Estas horas responden a la importancia de Mayagüez en la región. Para el análisis de la situación futura se supuso que, en las facilidades analizadas las horas pico serían las que actualmente se registran en la intersección indicada. Esto se debe a que esta es la facilidad vial de mayor importancia en el área y a que su comportamiento lo producen mayormente los usos residenciales de la región. Como el proyecto Colinas de la Fuente será uno residencial y será el mayor generador de viajes de su sector, el comportamiento del flujo vehicular en el lugar deberá cambiar a uno similar al de la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo.

El volumen que utiliza el camino Cuba, en el lugar analizado, durante la hora pico de la mañana llega a **722** vehículos mientras que durante la hora pico de la tarde suman **597** vehículos. En la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo el volumen

durante la hora pico de la mañana asciende a **3967** vehículos mientras que **4040** vehículos la utilizan durante la hora crítica de la tarde. Las facilidades viales analizadas pueden manejar actualmente el volumen que se registra, el cual se debe a las funciones que tienen, descritas anteriormente. El flujo por movimiento durante las horas pico es el que se utilizó para realizar el análisis operacional actual de las facilidades viales indicadas. El volumen, el PHF y la proporción de camiones para cada movimiento aparecen en la figura 9.

El patrón de flujo vehicular que se registra en las facilidades viales aquí analizadas demuestra que son utilizadas principalmente por los llamados "conmuters". Estas son las personas que realizan prácticamente el mismo viaje todos los días desde su casa, al trabajo, a estudios o a realizar alguna gestión y regresan a la casa. El hecho se verifica al observar que se registran dos picos durante el día así como a la hora que aumenta y disminuye drásticamente el flujo vehicular. Se puede decir que los "conmuters" forman el grupo principal entre los usuarios de las facilidades analizadas.

En el camino Cuba, frente a la finca donde se propone el proyecto Colinas de la Fuente, el PHF para la hora pico de la mañana es **0.85** mientras que para la hora pico de la tarde es **0.79**. En la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo el PHF para la hora pico de la mañana es **0.99** mientras que durante la

hora pico de la tarde es **0.95**. Los valores registrados indican que el flujo vehicular durante las horas pico es uniforme y continuo, por lo tanto, las facilidades viales analizadas tienen demanda continua en esos períodos de tiempo. Se puede observar que en la intersección analizada los valores de PHF obtenidos alcanzan 0.95 o más, lo que indica que existen altos volúmenes de tránsito, pudiendo traer algunas veces restricciones de capacidad en el flujo durante la hora pico (**TRB, 2000**).

Basado en estos datos para las horas pico del día se realizaron los análisis operacionales del segmento del camino Cuba, frente a la finca donde se propone el proyecto Colinas de la Fuente y de la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo, ya que se verán directamente impactadas por el proyecto propuesto. Se utilizó el programa de computadora HCS+, versión 5.2 (**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) opera la facilidad. Los resultados obtenidos indican que, actualmente, el camino Cuba frente al proyecto propuesto opera a un LOS B durante ambas horas pico y la intersección analizada opera a un LOS C durante la hora pico de la mañana y a un LOS B durante la hora pico de la tarde, tal y como se indica en la tabla 1. Estos resultados demuestran que las facilidades viales analizadas pueden manejar el volumen actual sin

muchos problemas, por lo que las demoras que se experimentan son tolerables por los usuarios. Aun con el desarrollo de algunos proyectos adicionales en el área las demoras deben continuar siendo tolerables ya que están muy por debajo de los que se registrarían de llegar la intersección al colapso. En la figura 10 se ilustran en detalle los Niveles de Servicio obtenidos en el análisis de las facilidades indicadas. Los cómputos de este análisis operacional se ilustran en el Apéndice 4.

Tabla 1. Nivel de Servicio Actual para cada Facilidad Analizada en este Estudio

Hora Pico	Acceso por el Este	Acceso por el Sur	Acceso por el Norte	Total
Intersección Carretera PR-2 y Avenida Algarrobo				
AM	D (54.8)	A (8.2)	C (27.2)	C (24.7)
PM	D (51.9)	B (20.0)	B (10.5)	B (18.3)
Camino Cuba, frente al Proyecto Propuesto				
Hora Pico	Nivel de Servicio			
AM	B (54.8)			
PM	B (50.8)			

Notas:

- 1) Para la intersección, la Demora por Control, en segundos por vehículo, se ilustra entre paréntesis.
- 2) Para el segmento de carretera de dos carriles, el Porcentaje del Tiempo de Seguimiento, se ilustra entre paréntesis

Basado en el análisis de los datos obtenidos en el conteo realizado se estimó la cantidad promedio de vehículos que durante un período de 24 horas utilizan las facilidades estudiadas. Se estimó que unos **4517** vehículos transitan por el segmento de carretera frente a la finca donde se propone el proyecto Colinas de

la Fuente durante un día laborable típico. Durante el mismo período de tiempo, **60010** vehículos transitan por la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo. Estos resultados indican que la intersección analizada se utiliza consistentemente y que el camino Cuba, aun cuando es una vía municipal, es bastante utilizado.

Se calculó la razón a la que el tránsito que utiliza las facilidades analizadas ha crecido a través de los años. Para esto se obtuvieron datos históricos del tránsito promedio diario de la carretera PR-2 a ambos lados de la intersección analizada. Los datos históricos de flujo vehicular se obtuvieron de informes de la Autoridad de Carreteras y Transportación (**ELA, 2005**) (**ELA, 1999**) (**ELA, 1994**) (**ELA, 1991**), así como de trabajos previos realizados por esta oficina en el lugar (**Pérez Berenguer y Asociados, 2002**). Con los datos históricos y actuales se desarrollaron ecuaciones de regresión lineal para los accesos por el norte y por el sur de la intersección aquí evaluada. Una vez se obtuvieron estas ecuaciones se proyectó el TPD de estos accesos al año 2028 y se determinó el factor de crecimiento (i) al que ha crecido el tránsito. Se determinó el factor de crecimiento utilizando la *ley de interés compuesto*¹ (**Sepúlveda, et.al., 1984**), tal y como se hace en la

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

donde:

F = valor futuro
P = valor presente

Ingeniería de Tránsito. Como se obtuvieron dos valores de i , estos se promediaron y el resultado se utilizó en este estudio como el factor de crecimiento que se experimentará en las facilidades evaluadas. Se obtuvo un factor de crecimiento de **2.1%** anual, el cual se utilizó para proyectar al futuro los datos de flujo vehicular utilizados en este informe. La determinación de i se detalla en el Apéndice 5. Este valor de i es aceptable y cónsono con el comportamiento del entorno. Se han obtenido valores de i similares en otros lugares de la isla con características parecidas a las que existen en este lugar. Se supuso que el patrón de desarrollo en el área se mantendrá al ritmo actual durante los próximos años. Por esos motivos, el valor obtenido para i se utilizó para proyectar el tránsito a mediano y a largo plazo.

Utilizando el valor de i obtenido y con la ley de interés compuesto se proyectaron los valores actuales de tránsito vehicular para ambas horas pico en las facilidades analizadas. Esta proyección se realizó para el año en el que se espera que el proyecto propuesto esté ocupado, suponiendo que esto sucederá en el año 2008. A estos valores se le sumaron los viajes que se espera que genere la urbanización Colinas de la Fuente. Se supuso que los valores del Factor de la Hora Pico se mantendrán iguales porque no se espera que las características mayormente residenciales del área

i = factor de crecimiento
 n = número de períodos (años)

cambien. Estos supuestos se basan en el análisis del patrón del flujo vehicular resumido anteriormente, en la naturaleza del proyecto propuesto y en las características del entorno. Los datos de tránsito utilizados para el año 2008 fueron proyectados al año 2028 por medio del mismo procedimiento.

El estimado del volumen que producirán los proyectos propuestos 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, 2003). Los datos utilizados para esta publicación fueron tomados desde los años sesenta hasta la década del 2000 a través de los Estados Unidos y Canadá. La publicación divide los terrenos según su uso. Para este caso se utilizó el uso codificado 210 ("*Single-Family Detached Housing*"). Este uso se basa en las características propuestas para el proyecto Colinas de la Fuente. Un esquema del uso propuesto para Colinas de la Fuente 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 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. También este uso de terreno generalmente 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.

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 considerado. Por este motivo es adecuado aplicar la información que provee la referencia a los análisis realizados y resumidos en este informe. La cantidad de viajes que generará el

proyecto propuesto y como se distribuirá por las facilidades analizadas se resume en la figura 11.

Utilizando los procedimientos y supuestos descritos en los últimos párrafos se obtuvieron datos acerca de la cantidad de vehículos que utilizarán las facilidades viales analizadas durante las horas pico en los años 2008 y 2028. Estos datos se detallan en las figuras 12 y 13. Para obtener los datos correspondientes al año 2008, se sumaron los volúmenes actuales proyectados a ese año y los que generará la urbanización Colinas de la Fuente. Este resultado fue utilizado para el análisis operacional correspondiente al año 2008 y se proyectó al año 2028. Como se había indicado anteriormente, se supuso que el patrón de viajes en las horas pico en las dos facilidades analizadas será similar al actual en la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo. Los detalles sobre como se calcularon los viajes que generará el proyecto propuesto, como se asignaron y como se proyectaron los volúmenes aparecen en el Apéndice 6 del informe.

Al observar la cantidad de viajes que se espera que utilicen la intersección del camino Cuba y el acceso a la urbanización Colinas de la Fuente durante las horas pico, se determinó cual debe ser su geometría. Se obtuvo que, en el área de la intersección, los carriles en direcciones contrarias en el camino Cuba se deben separar por medio de una pequeña isleta central. Así los conductores que vayan a entrar a la urbanización desde el oeste y

los que salgan desde la urbanización hacia el este tendrán una zona de seguridad para completar sus movimientos. La salida del proyecto propuesto deberá tener un carril para el viraje a la izquierda y otro para el viraje a la derecha. También, los carriles en direcciones contrarias en el acceso a la intersección por el norte, deberán estar separados por una isleta central. Este acceso a la intersección estará controlado por rótulos de "Pare". Tomando en cuenta estas características se llevó a cabo el análisis operacional de las facilidades. En la figura 14 se ilustra esquemáticamente la geometría propuesta para esta intersección. La intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo se analizó suponiendo la geometría actual.

Tabla 2. Nivel de Servicio que se Experimentará Durante las Horas Pico de un Día Laborable Típico Durante el año 2008 en cada Facilidad Analizada en este Estudio

Hora Pico	Acceso por el Oeste	Acceso por el Este	Acceso por el Sur	Acceso por el Norte	Total
Intersección Carretera PR-2 y Avenida Algarrobo					
AM	N/A	E (79.0)	B (11.9)	E (55.2)	D (43.3)
PM	N/A	E (59.7)	D (53.8)	B (18.0)	D (39.1)
Intersección Camino Cuba y Acceso a Colinas de la Fuente					
AM	A (8.4)		N/A	C (18.3)	
PM	A (8.7)		N/A	B (13.4)	

Notas:

1. La Demora por Control, en segundos por vehículo, se ilustra entre paréntesis.
2. Para la intersección del camino Cuba con el acceso a Colinas de la Fuente no se define un LOS total, ver páginas 15 y 16 del informe.

De acuerdo con los resultados obtenidos, resumidos en la tabla 2, la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo podrá manejar el tránsito que la utilizará durante las horas pico, aun con el aumento en el flujo vehicular que provocará el proyecto propuesto y el crecimiento anual que se experimenta. Aunque el acceso por la avenida Algarrobo, durante ambas horas pico, y el acceso por el norte, durante la hora pico de la mañana, operarán a capacidad, las demoras continuarán siendo tolerables para los usuarios.

Para ese mismo año, la intersección del camino Cuba con el acceso al proyecto propuesto operará muy bien durante ambas horas pico, experimentándose demoras tolerables en todos sus accesos. Los resultados indican que la geometría y los controles de tránsito aquí propuestos serán suficientes para que esta nueva intersección pueda manejar sin problemas el flujo vehicular que la utilizará. El detalle de los resultados del análisis operacional para ambas horas pico para el escenario durante el año 2008 se ilustra en la figura 15.

Tanto para el escenario en el año 2008 como en el año 2028, se evaluaron los dispositivos de control del tránsito que deben existir en la intersección del camino Cuba con el acceso a Colinas de la Fuente y, más tarde, de la calle principal Periferal Norte con la avenida Algarrobo, de manera que se asegure el mejor funcionamiento y la mayor seguridad posible. Para recomendar los

dispositivos de control de tránsito a utilizar, antes de realizar el análisis operacional de la intersección indicada, se evaluó la misma utilizando como guías las justificaciones² que aparecen en el Manual de Dispositivos Uniformes de Control de Tránsito (MUTCD, por sus siglas en inglés) **(ATSSA/ITE/AASHTO, 2003)**. Las justificaciones se evaluaron utilizando el programa HCS+, versión 5.2 **(University of Florida, 2005)**. Al aplicar las justificaciones a la situación que se experimentará en la intersección se pudo formular una recomendación relacionada a la necesidad de un sistema de semáforos en el lugar. El detalle de las justificaciones aparece en el Apéndice 7 de este informe. Al aplicar la justificación relacionada al tránsito durante la hora pico, que es la única que se puede evaluar en este caso, se obtuvo que no será necesaria la instalación de un sistema de semáforos en la intersección del camino Cuba con el acceso a Colinas de la Fuente. Tal y como se había indicado anteriormente, la intersección deberá estar controlada por rótulos de "Pare" en el acceso menor. A largo plazo, suponiendo que a la misma intersección también llegue la avenida Algarrobo, tampoco sería necesario la instalación de un sistema de semáforos. Es luego de evaluar la operación proyectada a ese año que en este estudio se recomienda que se instale un semáforo en dicha intersección, cuando se culmine la avenida

²Se utiliza el término "justificaciones" para definir el término en inglés "warrants"

Algarrobo hasta ese lugar y cuando el camino Cuba se haya convertido en la calle principal Periferal Norte. La evaluación y sus resultados aparecen en el Apéndice 4.

Si el crecimiento anual del tránsito en el área continúa al ritmo actual y si se completan las vías propuestas en el Plan Vial de Mayagüez, a largo plazo será necesario hacer ajustes en la geometría de la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo. Estas mejoras serían necesarias, independientemente de si el proyecto Colinas de la Fuente se construye o no ya que, como se demostró anteriormente, las vías analizadas podrán manejar el volumen adicional que genere el proyecto propuesto.

De acuerdo al Plan Vial de Mayagüez, la avenida Algarrobo deberá extenderse hacia el oeste, desde su intersección con la carretera PR-2 hasta la carretera PR-64, al sur de la comunidad El Maní. La avenida también deberá extenderse hacia el este hasta el camino Cuba, justo frente a la finca donde se propone el proyecto aquí analizado. También, el tramo del camino Cuba frente a la finca donde se propone el proyecto aquí analizado deberá ser modificado ya que formará parte de la calle principal Periferal Norte, la cual se extenderá desde la carretera PR-342, al oeste de las parcelas Soledad, hasta la actual carretera PR-108, al norte de su intersección con la carretera PR-65. En la figura 16 se ilustra la parte norte del Plan Vial de Mayagüez. Estas modificaciones a estas vías harán que su geometría sea cónsona con su uso. La

avenida Algarrobo deberá tener una geometría similar a la actual mientras que el camino Cuba deberá tener características de una calle principal, o sea, un ancho de 20.60 metros, lo que indica que tendrá dos carriles en cada dirección. Tomando esto en consideración así como las modificaciones que serían necesarias en la carretera PR-2 para que pueda manejar el tránsito, si continua creciendo a la razón actual, se delinearon las características que deberán tener a largo plazo las intersecciones aquí evaluadas.

En este estudio, se supuso que, a largo plazo, ya la avenida Algarrobo y la calle principal Periferal Norte estarían completadas, suponiéndose así la situación más crítica. Basado en eso se supuso que, en la intersección de la carretera PR-2 con la avenida Algarrobo, la primer vía tendrá tres carriles en cada dirección, así como proveerá dos carriles para el viraje a la izquierda y uno para el viraje a la derecha, en ambos accesos. También se supuso que la avenida Algarrobo llegará por el este a la intersección con dos carriles para el viraje a la izquierda, uno para seguir hacia el oeste y uno para el viraje a la derecha. En su acceso por el oeste la avenida Algarrobo deberá tener un carril para cada uno de los tres posibles movimientos. Con estas características esta intersección podrá manejar el tránsito que la utilizará. En esta evaluación también se supuso que esa intersección seguirá siendo semaforizada, lo cual es la situación más crítica. Posiblemente el control de tránsito de esta

intersección cambie en el futuro ya que actualmente se realiza un estudio (Proyecto AC-200231) que tendrá como resultado el sugerir mejoras a realizarse en la carretera PR-2, entre las que se podrían encontrar la eliminación del semáforo en esta intersección.

La geometría utilizada para evaluar la intersección de la calle principal Periferal Norte (camino Cuba) con el acceso al proyecto propuesto y la avenida Algarrobo se basa en las características que tendrán las vías que llegarán a la misma. De acuerdo a esto, todos los accesos tendrán dos carriles en cada dirección, divididos por una isleta central. Como se indicó anteriormente, se supuso que el control de tránsito consistirá de un sistema de semáforos ya que con la geometría que tendrá la intersección, el mismo brindará mayor seguridad a los usuarios. La geometría recomendada, a largo plazo, para las intersecciones aquí evaluadas, se puede observar en la figura 17. Las mejoras que se han descrito en los últimos dos párrafos estarán sujetas a que se culmine la avenida Algarrobo, a que se construya la calle principal Periferal Norte y a que el tránsito continúe creciendo a la razón actual. De no surgir estas condiciones las mejoras no deben ser necesarias.

Para el escenario a largo plazo, además de los supuestos relacionados a la geometría y al control del tránsito en las intersecciones analizadas, también se utilizaron otros supuestos para poder generar datos de flujo vehicular durante las horas pico.

Estos supuestos responden a que los conductores tendrán a su disposición nuevas vías para realizar sus viajes, por lo que los movimientos variarán con respecto a los actuales. El procedimiento y los supuestos utilizados para generar y distribuir los viajes que se producirán a largo plazo en las intersecciones aquí evaluadas se detallan en el Apéndice 6.

Tabla 3. Nivel de Servicio que se Experimentará Durante las Horas Pico de un Día Laborable Típico Durante el año 2028 en cada Facilidad Analizada en este Estudio

Hora Pico	Acceso por el Oeste	Acceso por el Este	Acceso por el Sur	Acceso por el Norte	Total
Intersección Carretera PR-2 y Avenida Algarrobo					
AM	D (44.8)	D (52.1)	A (4.0)	C (32.5)	C (26.0)
PM	E (72.0)	D (35.7)	E (66.2)	B (11.7)	D (44.9)
Intersección Periferal Norte y Avenida Algarrobo					
AM	A (9.8)	B (10.1)	B (14.6)	B (16.0)	B (12.3)
PM	B (10.9)	B (11.9)	B (11.6)	B (11.1)	B (11.5)

Nota: La Demora por Control, en segundos por vehículo, se ilustra entre paréntesis.

Al efectuar el análisis operacional para el escenario correspondiente al año 2028 se obtuvieron los resultados resumidos en la tabla 3 y detallados en la figura 17. Según éstos, las facilidades viales analizadas podrán manejar el flujo vehicular que las utilizará ya que la demoras que experimentarán los usuarios serán tolerables. El caso más crítico se observa para la intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo durante la hora pico de la tarde. En este momento dos de los accesos de la misma operarán a capacidad, pero aun así podrá manejar el tránsito

que la utilizará. También se puede apreciar que la intersección del camino Cuba, el acceso a Colinas de la Fuente y la avenida Algarrobo operará adecuadamente durante ambas horas pico. Durante el resto del día los usuarios de ambas intersecciones experimentarán demoras menores.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las facilidades viales, podrán manejar el tránsito que utilizará las vías impactadas por la urbanización Colinas de la Fuente tanto desde el momento en el que se inaugure el proyecto como veinte años después. Los cálculos para efectuar los análisis operacionales aparecen en el Apéndice 4.

Conclusiones

La urbanización Colinas de la Fuente densificará el uso de los suelos en el sector, intensificando el carácter suburbano del mismo. El proyecto se integrará a otros existentes en el área, creando una comunidad más completa. La urbanización proveerá al municipio de Mayagüez con 447 nuevas unidades de vivienda, a un costo módico. Existiendo una necesidad de vivienda de interés social en el área oeste, el proyecto ayudará a que varias familias no tengan que mudarse a otros municipios, produciendo beneficios para la economía de Mayagüez. El camino Cuba podrá manejar el tránsito que la utilizará una vez se haya construido el proyecto propuesto, aunque su intersección con el acceso al mismo deberá tener ciertas características, descritas en la pasada sección. También la intersección de la carretera PR-2 con la avenida Algarrobo podrá manejar el impacto que produzca el proyecto, sin tener que hacerle mejoras a la misma. Ambas intersecciones sufrirán grandes modificaciones a largo plazo pero se observó que, si las intersecciones se modifican de acuerdo a las características que tendrán las nuevas vías, según el Plan Vial de Mayagüez, absorberán el crecimiento proyectado en el flujo vehicular sin mayores problemas, incluyendo la aportación de la urbanización propuesta.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que las facilidades viales analizadas registran un patrón de flujo

vehicular durante un día laborable típico de acuerdo a su función y al lugar donde se encuentran. El patrón del flujo vehicular del camino Cuba cambiará una vez se ocupe la urbanización Colinas de la Fuente y será similar al patrón del flujo vehicular de la avenida Algarrobo, uno dominado por el flujo que producen los residentes del sector.

Recomendaciones

La urbanización Colinas de la Fuente traerá una cantidad adicional de vehículos al lugar que será manejada por el camino Cuba y por la intersección de la carretera PR-2 con la avenida Algarrobo sin que se experimenten demoras que los usuarios consideren intolerables. Para que esto sea así, la intersección del camino Cuba con el acceso al proyecto debe tener ciertas características. En esta intersección se debe construir una isleta central que divida a los carriles en dirección opuesta del camino Cuba. Los accesos a esta intersección por el este y el oeste deberán tener un carril cada uno, para efectuar desde ahí los dos movimientos, mientras que el otro acceso tendrá dos carriles, uno para el viraje a la izquierda y otro para el viraje a la derecha. En este último acceso también estarán divididos los carriles en direcciones contrarias por una isleta central. El control del tránsito en esta intersección deberá ser mediante la ubicación de rótulos de "Pare" en el acceso desde la urbanización propuesta. Así se le dará prioridad a los movimientos de la carretera principal. Los rasgos propuestos le darán eficiencia y seguridad a la intersección. Estas mejoras deben ser costeadas por el desarrollador del proyecto Colinas de la Fuente, ya que serán para su uso. En la figura 14 se ilustran, de forma esquemática, las características que debe tener la intersección aquí descrita.

La intersección de la carretera PR-2 y la avenida Algarrobo podrá manejar el impacto del proyecto sin tener que ser modificada. Aunque aumentarán las demoras que se experimentarán en la misma, estas seguirán siendo tolerables por los usuarios. Se debe tener en cuenta que es muy alta la probabilidad de que las demoras que se experimenten en esta intersección, una vez se haya ocupado Colinas de la Fuente, sean menores que las aquí calculadas. Se debe tomar en consideración que se supuso la situación más crítica para analizar la intersección, siendo esta el que todo el tránsito que genere la urbanización propuesta y que se mueva al oeste de la misma llegará a esta intersección por la avenida Algarrobo. Esto se supuso solamente para analizar la situación más crítica posible ya que parte de este tránsito utilizará la calle Rafael Vélez, por lo que, de llegar a esta intersección, lo harán por la carretera PR-2, además de que existe la posibilidad de que no lleguen a la intersección.

A largo plazo, si las intersecciones tienen una geometría cónsona con la propuesta por el Plan Vial de Mayagüez para las carreteras que llegan a las mismas, podrán manejar el tránsito que las utilizará, aun cuando se mantenga creciendo a la razón actual y aun cuando se construya la urbanización propuesta. Para la intersección de la calle principal Periferal Norte (camino Cuba) con el acceso al proyecto y, en ese momento, con la extensión al este de la avenida Algarrobo se recomienda que cada acceso tenga

dos carriles desde los cuales se harán los tres movimientos permitidos. Las tres vías que llegarán al lugar tendrán una isleta central separando los carriles en dirección contraria, por lo que en la intersección cada acceso tendrá una isleta central. Debido a la amplitud que tendrá esta intersección, se recomienda que un sistema de semáforos controle el tránsito en la misma, para brindar mayor seguridad a los usuarios. Se debe tener especial atención en el diseño de la avenida Algarrobo de manera que su eje central esté alineado con el eje central del acceso al proyecto propuesto, ya que esto brindará una mayor seguridad y eficiencia al compararlo con la existencia de dos intersecciones consecutivas. Este rasgo debe ser considerado desde el momento en el que se diseñe el acceso al proyecto propuesto, por lo que se debe coordinar la alineación de la entrada a la urbanización con la Autoridad de Carreteras y Transportación.

En la intersección de la carretera PR-2 con la avenida Algarrobo se deberá añadir un carril adicional en los accesos por el norte y por el sur para los movimientos N-S y S-N. También se debe añadir un carril para el viraje a la izquierda en el acceso por el norte y dos con el mismo fin en el acceso por el sur, así se proveerán dos carriles para los movimiento N-E y S-O en los accesos a la intersección por la carretera PR-2. En el acceso por el este se debe de añadir un carril de manera que se designen dos carriles para el viraje a la izquierda, uno para el movimiento E-O y otro

para el viraje a la derecha. En el acceso por el oeste se deberá proveer un carril para cada movimiento permitido. Al formular estas recomendaciones se supuso que las extensiones hacia el oeste y hacia el este de la avenida Algarrobo tendrán una geometría similar a la del tramo existente. Con estas características la intersección tendrá una capacidad adecuada aunque las recomendaciones relacionadas a la misma podrían ser innecesarias si, para este período de tiempo, se ha convertido este tramo de la carretera PR-2 en un expreso, tal y como indica el Plan Vial de Mayagüez y como se está analizando en el proyecto AC-200231. De esto ser así, esta intersección sería sustituida por un intercambio, el cual obviamente tendrá suficiente capacidad para manejar el tránsito que lo utilizará. Las mejoras a largo plazo no deberán ser costeadas por el desarrollador del proyecto Colinas de la Fuente ya que las mismas responderán a las recomendaciones del Plan Vial de Mayagüez y no al impacto que pueda tener el proyecto Colinas de la Fuente.

Los criterios que se deben tomar en consideración al efectuar el diseño geométrico y de los dispositivos de control del tránsito, de acuerdo a lo aquí recomendado, aparecen en el Reglamento para el Control de Accesos a las Vías Públicas de Puerto Rico (**ELA, 1976**) y demás guías vigentes (**AASHTO, 2004**) (**AATSA/ITE/AASHTO, 2003**) (**ACT, 1996**). Con las recomendaciones aquí resumidas, las facilidades viales aquí analizadas deberán operar aceptablemente a

corto, mediano y largo plazo, tomando en consideración la construcción la urbanización Colinas de la Fuente.

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 y/o dueño. 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 al proyecto urbanización Colinas de la Fuente, propuesto por el señor Javier López, para el camino Cuba, barrio Sabanetas, Mayagüez, Puerto Rico (Caso número 1999-29-1243-JPU-ISV). Los datos, análisis, discusiones, conclusiones y recomendaciones aquí formuladas no aplican a ningún otro proyecto.

Certifico Correcto

José L. Pérez Berenguer, MSCE, PE, PTOE

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 (1999) *Mapa de Afluencia de Tránsito de Puerto Rico*. Tránsito Promedio Diario al 31 de diciembre de 1999, Departamento de Transportación y Obras Públicas, Autoridad de Carreteras y Transportación, Área de Planificación, San Juan, Puerto Rico
- ELA (1994) *Mapa de Afluencia de Tránsito de Puerto Rico*. Tránsito Promedio Diario a Diciembre de 1994, Departamento de Transportación y Obras Públicas, Autoridad de Carreteras y Transportación, Área de Planificación, San Juan, Puerto Rico
- ELA (1991) *Mapa de Afluencia de Tránsito de Puerto Rico*. Tránsito Promedio Diario a Diciembre de 1991, Departamento de Transportación y Obras Públicas, Autoridad de Carreteras y Transportación, Área de Planificación, San Juan, Puerto Rico
- ELA (1976) *Reglamento para el Control de Accesos a las Vías Públicas de Puerto Rico*. Departamento de Transportación y Obras Públicas, 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.
- 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
- Pérez Berenguer y Asociados (2002) *Estudio de Tránsito Analizando el Impacto de la Expansión de la Escuela Winnie's Active Learning Kids School, Carretera PR-104, Km. 1.9, barrio Algarrobos, Mayagüez, Puerto Rico*. José L. Pérez Berenguer, consultor, Cabo Rojo, Puerto Rico
- 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 5.2, Gainesville, FL.