

Determinación de tasas de generación de viajes para conjuntos residenciales ubicados en la ciudad de Mérida, Venezuela

Determination of trip generation rates for residential complexes located in the city of Mérida, Venezuela

Quintero, Ángela*; Angulo, Carlos y Guerrero, José

Dpto. de Vías. Escuela de Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería. ULA

Mérida, 5101, Venezuela

*angelaqp@ula.ve

Resumen

Los datos de generación de viajes permiten determinar los requerimientos de acceso a usos específicos del suelo, estimar volúmenes de tráfico futuros con los cuales sustentar posibles mejoras a los sistemas de transporte y evaluar los impactos producto de cambios de zonificaciones o de usos del suelo. El Institute of Transportation Engineers (ITE) ha desarrollado el "Trip Generation", publicación que reúne datos de generación de viajes para distintos usos del suelo obtenidos, principalmente, en Norte America. En Latinoamérica se hacen esfuerzos por generar una publicación con datos de la región a través de la Red Iberoamericana de Polos Generadores de Viajes. Con el objetivo de producir datos que puedan incorporarse a la Red. En este trabajo se cuantificó el número de viajes vehiculares generados por cuatro conjuntos residenciales ubicados en la Av. Alberto Carnevali del Municipio Libertador en el Estado Mérida y se relacionó con variables de estos polos generadores, obteniéndose ecuaciones de regresión, coeficientes de correlación, tasas de generación promedio y gráficas de datos. Las variables independientes para las que se obtuvieron mejores correlaciones fueron el número de apartamentos y el número de puestos de estacionamiento por conjunto residencial. Los coeficientes de correlación obtenidos para la primera variable oscilaron entre 0.82 y 1.00 y para la segunda entre 0.63 y 0.92, para los diferentes escenarios analizados. Las variables: número de apartamentos por torre, área de los apartamentos y número de torres por conjunto residencial, no mostraron buenas correlaciones con el número de viajes generados. Se compararon correlaciones lineales y logarítmicas, observándose que no existen diferencias sustanciales entre ellas, sin embargo, se obtuvieron mejores valores para las ecuaciones del tipo lineal.

Palabras clave: Generación de viajes, polos generadores de viajes, estimación de tráfico futuro.

Abstract

The trip generation data allows determining the requirements for access to specific land uses, estimating future traffic volumes with which to support improvements to transport systems and assess the impacts due to changes in zoning or land use. The Institute of Transportation Engineers (ITE) has developed the "Trip Generation", a publication that compiles data on trip generation for different land use obtained, primarily in North America. In Latin America there are efforts to create a publication with data from the region through the Iberoamerican Network of Travel Polos generators. In order to produce data that can be incorporated into the network, quantified the number of vehicular trips generated by four residential complexes located at Avenida Libertador, Municipality Alberto Carnevali in the state of Merida and was related to variables of these poles generators, obtaining regression equations, correlation coefficients, average generation rates and graphs of data. The independent variables for the best correlations were the number of apartments and the number of parking spaces per residential complex. The correlation coefficients obtained for the first variable ranged between 0.82 and 1.00 and for second between 0.63 and 0.92 for the different scenarios discussed. The variables: number of apartments per tower, area of the apartments and number of towers per residential complex, did not show good correlation with the number of trips generated of trips generated. It was compared linear and logarithmic correlations it was not observed substantial differences, but have better values for the linear equations.

Key words: Trip generation, travel generators poles, estimation of future traffic.

1 Introducción

Los datos de generación de viajes permiten predecir el comportamiento de un uso del suelo particular a ser implementado en un lugar determinado, en función del comportamiento observado en usos del suelo existentes con características similares, es decir, que permiten prever los impactos que un uso del suelo tendrá sobre los espacios adyacentes antes de su implantación, lo cual es de utilidad para generar medidas mitigantes a los posibles impactos, antes de que estos se produzcan. Los datos de generación de viajes permiten determinar los requerimientos de acceso a usos del suelo específicos, estimar volúmenes de tránsito futuros, que permitan sustentar mejoras a los sistemas de transporte y evaluar los impactos producto de cambios de zonificaciones o de usos del suelo, entre otros.

En Venezuela se carece de bases de datos sobre generación de viajes, elaboradas sistemáticamente a lo largo del tiempo y para distintos polos generadores, lo que hace necesario el uso de bases de datos obtenidas en función de estadísticas de otros países o en ocasiones la toma de datos particular para estudios específicos. Ninguno de estos procedimientos es del todo satisfactorio, por lo que se hace necesaria la generación de datos locales.

En este trabajo, se determinaron datos de generación de viajes relativos a cuatro conjuntos residenciales ubicados en la Av. Alberto Carnevali del Municipio Libertador en Mérida, Venezuela. Para la obtención de los viajes producidos por los conjuntos residenciales se emplearon conteos manuales en los accesos a los conjuntos residenciales y conteos automáticos en la calle adyacente a los conjuntos residenciales.

Se obtuvieron correlaciones entre el número de viajes y las distintas variables independientes seleccionadas, siguiendo el formato del Institute of Transportation Engineers (ITE), donde se muestra para cada variable independiente, la tasa promedio de viajes, el rango de datos, la desviación estándar, el coeficiente de correlación, la ecuación de regresión y el grafico que relaciona la variable independiente con el número de viajes por unidad de tiempo.

Los resultados obtenidos pueden ser utilizados para la predicción del número de viajes producidos por nuevos desarrollos con características similares a los estudiados y pueden ser parte de una base de datos local de generación de viajes.

2 Justificación

El Institute of Transportation Engineers (ITE) ha desarrollado a lo largo de décadas una publicación llamada "Trip Generation", que reúne datos de generación de viajes para distintos usos del suelo. Latinoamérica cuenta con la Red Iberoamericana de Polos Generadores de Viajes, la cual trabaja en la producción de datos de

generación de viajes, propios de la región. En Venezuela existen algunos investigadores incorporados dentro de esta red, y se realizan investigaciones orientadas a la obtención de datos de generación de viajes locales, sin embargo se hace necesaria la producción sistemática de datos de generación de viajes que puedan conformar una base de datos nacional disponible para los entes interesados.

Los problemas de congestión del tránsito provocados entre otras causas por el crecimiento del parque automotor en las ciudades de Venezuela, han generado la necesidad de realizar Estudios de Impacto Vial para los nuevos desarrollos a ser construidos, estos estudios representan un requisito para el otorgamiento de los permisos de construcción y son solicitados por las Alcaldías a los propietarios de los proyectos. Entre los aspectos fundamentales para llevar a cabo estos estudios, se tiene la predicción del número de viajes por unidad de tiempo, producidos ó atraídos por el desarrollo en estudio para los años horizontes seleccionados, con el objeto de evaluar los posibles escenarios que se producirán luego de construido y puesto en funcionamiento el proyecto y por ende evaluar sus impactos sobre la red de transporte. Entre las principales limitaciones que se han encontrado para la ejecución de los Estudios de Impacto Vial en Venezuela, está la carencia de bases de datos que permitan la estimación de los viajes producidos o atraídos por los desarrollos. Una fuente de información muy consultada por los ingenieros de tránsito son los índices del Institute of Transportation Engineers (ITE), desarrollados en base a estadísticas de los Estados Unidos. En ocasiones se hace necesario el levantamiento de información, en usos del suelo existentes con características similares a las del proyecto en estudio, lo cual representa costos adicionales para la elaboración de los proyectos. El uso de estadísticas pertenecientes a otros países, así como la necesidad de levantar información de campo adicional a la tradicionalmente requerida durante la ejecución de un Estudio de Impacto Vial, pueden limitarse si se dispone de índices de generación de viajes propios, obtenidos en los desarrollos existentes, que puedan ser utilizados para la predicción del comportamiento de los desarrollos futuros con características similares.

3 Marco conceptual

3.1 Generación de viajes

"La Generación de Viajes es el proceso para determinar el número de viajes que van a comenzar o a terminar en cada zona, dentro de un área de estudio" (Garber y Hoel, 2005). Según (Andueza, 1989), los viajes se clasifican en viajes con un extremo en el hogar y en otros viajes. Si un viaje tiene un extremo, origen ó destino, en el hogar, se dice que es producido en la zona donde está el hogar y es atraí-

do por la otra zona. Cuando se trata de otros viajes, se dice que son producidos en la zona origen y atraídos en la zona de destino. Cuando uno de los extremos es el hogar, el número de viajes producidos en una zona se relaciona con ciertas variables socioeconómicas, como la población, el tamaño de la familia, el ingreso per cápita, la tenencia de automóvil. Los viajes atraídos dependen de la actividad que se desarrolle en la zona.

Existen dos métodos para el análisis de generación de viajes: a) Clasificación Cruzada, usada para determinar el número de viajes que inician o terminan en el hogar, tomando en cuenta como variables el ingreso promedio y la tenencia de automóviles y el tamaño de la familia, entre otras. b) Análisis de Regresión, cuyo propósito es obtener una función sencilla de la variable explicativa, que sea capaz de describir lo más ajustadamente posible la variación de la variable dependiente.

3.2 Datos del Institute of Transportation Engineers (ITE)

El ITE en el Trip Generation presenta procedimientos para la determinación de datos de generación de viajes, esta publicación fue desarrollada para estimar el número de viajes que pueden ser generados por diferentes usos del suelo. Los datos contenidos en el Trip Generation fueron reunidos por la acción voluntaria de varios estados norte-americanos y agencias gubernamentales locales, firmas de consultoría, profesionales del transporte, universidades, e investigadores. Los datos han sido combinados con el fin de maximizar el número disponible para cada uso del suelo. Las tasas son las medias ponderadas de estudios conducidos en los EUA y Canadá desde 1960. La séptima edición del Trip Generation incluye actualizaciones de las estadísticas y gráficos publicados en las ediciones previas, producto de la incorporación de nuevos datos y de nuevos usos del suelo; se han añadido los datos de más de 500 nuevos estudios, para un total de unos 4250 estudios.

El Trip Generation contempla tres métodos de estimación de viajes: a) A través de la gráfica del número de viajes versus el tamaño de la variable independiente relacionada con cada estudio. Este método es razonablemente aplicable si existen datos suficientes dentro del alcance de la variable independiente. De otro modo, las necesidades de interpolación de los datos pueden resultar en interpretaciones incompatibles. b) A través de la media ponderada de la tasa de generación de viajes, definida como el número de viajes ponderado por unidad de variable independiente) y c) A través de una ecuación de regresión que relaciona el número de viajes con una variable independiente. Esta ecuación define la línea de mejor ajuste a los puntos de los datos obtenidos, y su uso permite una estimación directa de los números de viajes, basado en la variable independiente. El (Trip Generation 1997), presenta la guía mostrada la Fig. 1 con los lineamientos para la selección de los métodos de estimación.

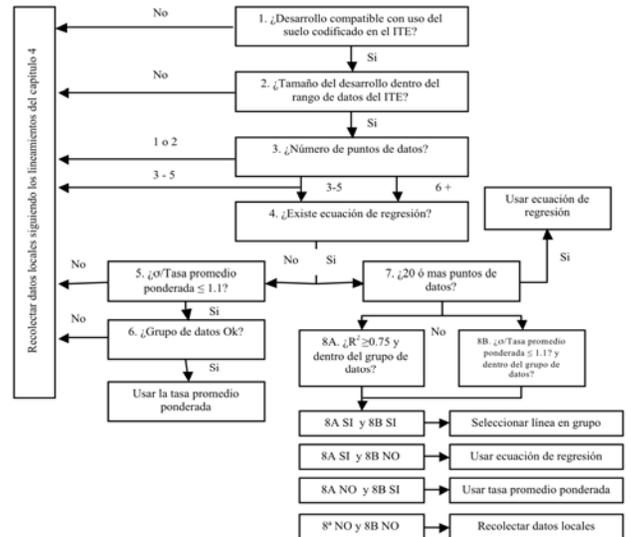


Fig. 1. Guía para el uso de los datos de generación de viajes (Trip Generation Handbook, 2001)

3.3 Justificación para la realización de estudios locales de generación de viajes

Un estudio local de generación de viajes puede ser conducido para validar el uso de las tasas o ecuaciones presentadas en el Trip Generation, para establecer tasas propias que reflejen condiciones únicas encontradas en un lugar o sencillamente para establecer tasas de generación de usos del suelo no incluidos en el Trip Generation.

El (Trip Generation Handbook, 2001) recomienda la conducción de estudios locales de generación de viajes cuando: exista un nuevo uso del suelo no cubierto por el Trip Generation, exista un número inadecuado de estudios en el Trip Generation, la variable independiente para un estudio particular esté fuera del rango de los puntos de datos del Trip Generation, el gráfico de datos presentado en el Trip Generation para el desarrollo bajo estudio cuente con número de puntos de datos insuficiente, el Trip Generation presente curvas con desviaciones estándar o coeficientes de correlación insatisfactorios, las circunstancias locales hagan el sitio bajo estudio notablemente diferente a los lugares para los cuáles fueron recolectados los datos presentados en el Trip Generation, se requiera establecer tasas locales de generación de viajes, se requiera validar valores de Trip Generation para aplicaciones locales o cuando se requiera complementar la base de datos existente.

3.4 Conducción de un estudio de generación de viajes

El diseño de un estudio de generación de viajes debe incluir el uso del suelo que será estudiado, el número de sitios estudiados, la selección de los sitios apropiados, el período de estudio, la variable independiente y la metodología de conteos de tránsito a ser utilizada.

Normalmente los estudios de generación de viajes se

realizan en usos del suelo de interés local, usos del suelo no especificados en las clasificaciones del Trip Generation, usos del suelo en los que los rangos de datos presentados en las gráficas del Trip Generation no cubran los rangos locales de los desarrollos ó para usos del suelo para los cuáles las tasas de generación locales son sustancialmente diferentes de las aquellas presentadas en el Trip Generation.

El (Trip Generation Handbook 2001), recomienda estudiar al menos tres sitios, preferiblemente cinco, para establecer tasas de generación locales, estudiar al menos tres sitios para validar tasas de generación de viajes, estudiar al menos dos sitios para combinar datos de generación locales con datos de generación del Trip Generation y estudiar al menos un sitio para presentar datos al ITE.

La selección de los sitios es crítica para la obtención de tasas de generación de viajes representativas, fallas en la selección de los lugares apropiados pueden conducir a tasas de generación y ecuaciones inapropiadas. El desarrollo debe tener una ocupación de al menos 85% y al menos 2 años de funcionamiento, los datos requeridos para describir la variable independiente deben estar disponibles y no deben existir obras en construcción en la zona o al menos ser mínimas, especialmente aquellas que generen tránsito.

El tráfico generado por el sitio debe ser contado, si es factible, para un período de 7 días para determinar los picos durante los días de semana y de fin de semana. Como mínimo debe recolectarse información durante un período de 24 horas, aunque es preferible utilizar un período de 48 horas continuas. Algunos lugares requieren conteos manuales porque los contadores automáticos pueden no medir todos los viajes o pueden no ser apropiados debido a la configuración vial en el sitio. Deben realizarse conteos manuales para verificar los conteos automáticos. El día de la semana y la hora del día también son de importante consideración para obtener resultados significativos. El propósito del estudio dictará los períodos críticos para el análisis. En muchos casos la época del año es también importante, en general la generación de tráfico para los usos de suelo con poca o ninguna variación estacional, debe ser obtenida para días promedio. Para los usos de suelo con variación estacional, la generación debe ser obtenida para períodos que representen las horas de mayor volumen. Debe evitarse hacer conteos durante eventos especiales, que puedan afectar la generación de viajes del lugar. Los períodos a ser estudiados deben representar las actividades típicas del lugar.

La variable independiente debe seleccionarse de tal forma que esté disponible para el sitio de estudio y pueda ser proyectada para desarrollos propuestos de este uso del suelo. El número de viajes generados deben estar influenciados de una manera lógica por la variable independiente. Las variables independientes deben ser provistas directamente y no estimadas a partir de otras variables diferentes. Cuando existan dudas acerca de cuál es la variable independiente más apropiada, es útil consultar en el Trip Generation cuáles variables han producido las relaciones más estables y las tasas o ecuaciones más confiables.

Los conteos de volúmenes de tráfico direccionales deben ser fraccionados en períodos de 15 minutos.

Los estudios o conteos de tráfico conducidos sobre vías públicas deben ser aprobados por las autoridades.

Los datos relativos al sitio de estudio pueden ser obtenidos a través de entrevistas a los propietarios o administradores de los sitios bajo estudio, y si es necesario a través de mediciones efectuadas en el sitio.

3.5 Estudios recientes de generación de viajes en Latinoamérica

Galarraga, Herz, Albrieu y otros, 2006, realizaron un estudio de Generación de Viajes en Hipermercados de la ciudad de Córdoba, Argentina. Analizaron siete hipermercados pertenecientes a tres cadenas diferentes. Realizaron encuestas en los hipermercados, en los meses de mayo, junio, julio y agosto de 2006, los días viernes y sábados en horario comprendido entre las 5p.m y 8p.m. Las encuestas se orientaron a cuantificar la cantidad de viajes en automóviles (particulares y taxis) de entrada y de salida del hipermercado en intervalos continuos de 10 minutos. Para cada vehículo se registró la cantidad de ocupantes. Consideraron como variables independientes el área total construida, el área total de ventas del salón del hipermercado y el número de cajas de atención. Obtuvieron que área de ventas demostró ser una variable explicativa superior al área total. Al comparar los resultados obtenidos en el estudio con las tasas de generación de viajes reportadas por el Institute of Transportation Engineers (ITE) advirtieron que los valores locales resultaron mucho menores, del orden de la tercera parte (33%).

(Herz; Galarraga y Pastor, 2007), realizaron un estudio de Generación de Viajes en Centros Universitarios de la ciudad de Córdoba, Argentina. Seleccionaron 11 centros educativos, 10 pertenecientes a la Universidad Nacional de Córdoba y 1 a la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional. En cada centro realizaron mediciones para registrar en todos los accesos a estudiantes y docentes, con el objeto de obtener información sobre la cantidad de viajes, modo de transporte y origen del viaje. Las mediciones fueron realizadas los días miércoles y en períodos de dos horas, siendo preponderantes los horarios matutinos. Consideraron como variables independientes la población estudiantil, las superficies de aulas y las superficies cubiertas totales. Encontraron que la matrícula de alumnos resultó la mejor variable independiente para tasas y modelos de generación. La comparación de los resultados de viajes en automóvil con los obtenidos en centros educativos universitarios de Estados Unidos de Norte América, dio como resultado que en Argentina, para universidades en zonas de alta densidad poblacional y con buena oferta de transporte público, el uso del automóvil es muy inferior. Presentaron tasas y ecuaciones para viajes diarios realizados en automóvil, en ómnibus y por peatones, en función del número de alumnos matriculados.

(Galarraga, Herz, Marchesini y otros, 2007), realizaron un estudio de Generación de Viajes a nivel del hogar en la ciudad de Córdoba, Argentina. Analizaron la generación de viajes en viviendas ubicadas en la ciudad de Córdoba, dividiendo la ciudad en 37 zonas, donde se encuestaron alrededor de 4.600 hogares. Registraron para cada vivienda, la cantidad de residentes con su edad y ocupación, el ingreso familiar, y la posesión de vehículos. Para cada persona mayor a cinco años se relevaron todos los viajes realizados el día anterior al de la entrevista, registrando el origen y destino, el motivo del viaje, la hora de inicio y el modo de transporte empleado. Consideraron como variables independientes el número de habitantes por vivienda, el nivel de ingreso familiar (bajo, medio, alto) y la cantidad de automóviles correspondiente a cada vivienda (sin automóvil, con un automóvil y con dos ó más automóviles. Para la tasa de generación por persona se obtuvo un valor medio de 1,53 viajes por día hábil, resultando este valor resulta del orden del 40% del que se reporta para Estados Unidos de Norte América. Considerando al hogar obtuvieron una tasa media de generación de 5,87 viajes por día hábil. Para la tasa media de generación de viajes en vehículo obtuvieron un valor de 2 viajes por familia, valor que resulta del orden del 25% del informado para Estados Unidos.

4 Marco metodológico

4.1 Selección de los conjuntos residenciales

Los conjuntos residenciales se seleccionaron del tal forma que: i) Tuvieran acceso controlado, para facilitar la toma de datos y tener control simultáneo de los vehículos que entraran y salieran del conjunto; ii) Contaran con un nivel socioeconómico similar, ya que algunas variables independientes de interés pueden presentar amplias diferencias para distintos niveles adquisitivos;iii). Tuvieran un porcentaje de al menos 85% y un tiempo de funcionamiento de al menos dos años;iv) Tuvieran uso exclusivamente residencial, para evitar usos múltiples v) Ubicados sobre un mismo corredor vial para disminuir las necesidades de toma de datos sobre las calles adyacentes a los conjuntos.

En función de las consideraciones anteriores se seleccionaron los conjuntos Campo Neblina I, Campo Neblina II, Los Frailejones y Residencias La Hechicera. En la Tabla 1 se indican las principales características de los conjuntos residenciales seleccionados.

Tabla 1. Conjuntos seleccionados y características principales

Conjunto	Campo Neblina I	Campo Neblina II	Los Frailejones	Res. La Hechicera
Área (m ²)	88	91	82	90
Aptos/Torre	24	24	16	32
Aptos/Conj.	144	144	224	256
Torres/Conj.	6	6	14	8
Estac/Conj.	286	312	206	245

4.2 Variables independientes seleccionadas

Se seleccionaron las siguientes variables independientes: área de cada apartamento, número de apartamentos por conjunto residencial, número de apartamentos por torre de cada conjunto residencial, número de torres por conjunto residencial y número de puestos de estacionamiento por conjunto residencial. Todas son de obtención directa y de fácil proyección para otros conjuntos residenciales.

4.3 Definición de las metodologías para el levantamiento de la información de campo

En los accesos de los conjuntos residenciales se realizaron conteos manuales, pues estos permiten captar detalles como distribución direccional y clasificación de los vehículos. Los contadores automáticos no se emplearon para el registro de volúmenes en los accesos a los conjuntos residenciales, ya que en estos lugares se producen velocidades muy bajas que hacen que el contador automático no funcione correctamente.

Los conteos automáticos se utilizaron para determinar los volúmenes vehiculares en las calles adyacentes a los conjuntos residenciales, debido a que estos permiten la toma de datos de forma más racional que los conteos manuales, para períodos de larga duración. Para la verificación de los valores obtenidos con el contador se realizaron conteos manuales de una hora de duración para cada día de medición. Estos conteos de larga duración fueron requeridos para determinar las horas pico de las calles adyacentes a los conjuntos residenciales.

4.4 Selección de los períodos de medición

Las mediciones de volúmenes se realizaron en períodos de tráfico con características típicas, evitando la toma de datos en épocas de vacaciones, días feriados y períodos de lluvia.

Los conteos automáticos y manuales se realizaron simultáneamente durante dos días de la semana (miércoles y jueves), en períodos continuos de 13 horas de duración, comprendidos entre las 7a.m y las 8p.m, y un día de fin de semana (sábado), en períodos continuos de 12 horas de duración, comprendidos entre las 8a.m y las 8p.m.

5 Procesamiento de la información de campo

5.1 Obtención de horas de mayor volumen de los polos generadores

Las Tablas 2, 3, 4 y 5 muestran las horas pico obtenidas mediante los conteos manuales realizados en los accesos a los Conjuntos Residenciales.

Tabla 2. Horas pico obtenidas en el Conjunto Residencial Campo Neblina I

Día	Pico 1 Mañana	Pico 2 Mañana	Pico 1 Tarde	Pico 2 Tarde
Miércoles	8-9am	12-1pm	2-3pm	6-7pm
Jueves	7-8am	12-1pm	2-3pm	6-7pm
Sábado	9-10am	11-12pm	2-3pm	7-8pm

Tabla 3. Horas pico obtenidas en el Conjunto Residencial Campo Neblina II

Día	Pico 1 Mañana	Pico 2 Mañana	Pico 1 Tarde	Pico 2 Tarde
Miércoles	7-8am	12-1pm	2-3pm	6-7pm
Jueves	7-8am	12-1pm	3-4pm	5-6pm
Sábado	10-11am	12-1pm	4-5pm	7-8pm

Tabla 4. Horas pico obtenidas en el Conjunto Residencial Los Frailejones

Día	Pico 1 Mañana	Pico 2 Mañana	Pico 1 Tarde	Pico 2 Tarde
Miércoles	7-8am	12-1pm	1-2pm	7-8pm
Jueves	8-9am	12-1pm	2-3pm	7-8pm
Sábado	9-10am	1-2pm	2-3pm	7-8pm

Tabla 5. Horas pico obtenidas en el Conjunto Residencial La Hechicera

Día	Pico 1 Mañana	Pico 2 Mañana	Pico 1 Tarde	Pico 2 Tarde
Miércoles	8-9am	12-1pm	2-3pm	6-7pm
Jueves	8-9am	12-1pm	2-3pm	6-7pm
Sábado	9-10am	11-12pm	4-5pm	7-8pm

Como se puede observar en las Tablas 2, 3, 4 y 5, se encontraron dos horas pico para el período de la mañana y dos para el periodo de la tarde en los días de semana. Los períodos pico 1 tanto para la mañana como para la tarde de los días de semana, contemplan la hora en la cual las personas salen de sus hogares a trabajar, mientras que los períodos pico 2 contemplan la hora en la cual las personas retornan a sus hogares tanto en horas del mediodía como de la tarde. En los cuatros conjuntos residenciales las horas pico obtenidas para los días de semana presentan un patrón muy similar, a diferencia del día de fin de semana en el cual los patrones no están bien definidos, por lo que para el análisis de este día, se consideraron dos horas pico en el día, una hora para el periodo de la mañana y una para el periodo de la tarde.

En la Tabla 6 se presentan las horas pico seleccionadas para el análisis del día de semana y del día de fin de semana para los polos generadores.

Tabla 6. Horas pico seleccionadas para los Conjuntos Residenciales

Día	Pico 1 Mañana	Pico 2 Mañana	Pico 1 Tarde	Pico 2 Tarde
Día de semana	8-9am	12-1pm	2-3pm	6-7pm
Sábado	11am-12m		7-8pm	

5.2 Obtención de horas de mayor volumen de la calle adyacente a los polos generadores

Para la toma de datos en la Av. Alberto Carnevalli, que representa la calle adyacente a los Conjuntos Residenciales

seleccionados, se realizaron conteos con equipos registrados automáticos.

En las Tablas 7, 8 y 9 se muestran los volúmenes obtenidos a través del contador y los volúmenes obtenidos a través del conteo manual de verificación, ambos realizados en la Av. Alberto Carnevalli, durante una hora para cada día de medición, con el objeto de confirmar el correcto funcionamiento del contador automático. Se muestra también el porcentaje de diferencia obtenido como el cociente entre el valor absoluto de la diferencia de los dos valores obtenidos y el volumen manual.

Tabla 7. Valores de verificación de los conteos automáticos, día miércoles

Hora	Volumen (veh/hora)		%Error
	Contador	Conteo manual	
8:30 - 8:45am	352	361	2,49
8:45 - 9:00am	271	256	5,86
9:00 - 9:15am	290	294	1,36
9:15 - 9:30am	322	321	0,31

Tabla 8. Valores de verificación de los conteos automáticos, día jueves

Hora	Volumen (veh/hora)		%Error
	Contador	Conteo manual	
8:00 - 8:15am	366	361	1,39
8:15 - 8:30am	344	352	2,27
8:30 - 8:45am	294	294	0,00
8:45 - 9:00am	296	294	0,68

Tabla 9. Valores de verificación de los conteos automáticos, día sábado

Hora	Volumen (veh/hora)		%Error
	Contador	Conteo manual	
9:00 - 9:15am	179	176	1,70
9:15 - 9:30am	156	158	1,27
9:30 - 9:45am	174	177	1,69
9:45 - 10:00am	175	177	1,13

Se observa que las diferencias obtenidas son muy bajas, obteniéndose valores comprendidos entre 0% y 5.86%, correspondientes a diferencias absolutas de 0 y 15 vehículos, respectivamente, en un período de una hora.

La Tabla 10 muestra las horas pico seleccionadas para el análisis del día de semana y del día de fin de semana, correspondientes a la calle adyacente. Se encontraron dos horas picos para el periodo de la mañana y dos para el periodo de la tarde en los días de semana, a diferencia del día de fin de semana en el cual los patrones no están bien definidos, por lo tanto se tomaron dos horas pico en el día, una hora para el período de la mañana y una para el período de la tarde.

Tabla 10. Horas pico seleccionadas para la calle adyacente (Av. Alberto Carnevalli)

Día	Pico 1 Mañana	Pico 2 Mañana	Pico 1 Tarde	Pico 2 Tarde
Miércoles	8-9am	11-12m	2-3pm	5-6pm
Jueves	8-9am	10-11am	2-3pm	5-6pm
Sábado	11am-12m		6-7pm	

5.3 Obtención de ecuaciones de regresión y análisis de correlación

A continuación se presenta para el escenario: hora pico 1 de la mañana del polo generador para un día de la semana, empleando como variable independiente el área de los apartamentos de los Conjuntos Residenciales; la metodología empleada para la obtención de la ecuación de regresión y el análisis de correlación, siguiendo la estructura del Trip Generation 1997 y fundamentos estadísticos básicos.

En la Tabla 11 se muestra para el escenario analizado el número de viajes por hora de los Conjuntos Residenciales como función del área de los apartamentos y la tasa de generación de viajes expresada en número de viajes vehiculares por hora por apartamento por conjunto.

Tabla 11. Viajes producidos por los Conjuntos Residenciales para la hora pico 1 de la mañana del polo generador para un día de la semana y número de apartamentos por conjunto residencial

Conjunto Residencial	Número de apartamentos por conjunto residencial (X)	Número de Viajes vehiculares por hora (Y)	Número de viajes vehiculares por hora por apartamento por conjunto (Z=Y/X)
Campo Neblina I	144	45	0,31
Campo Neblina II	144	40	0,28
Los Frailejones	224	65	0,29
Res. La Hechicera	256	88	0,34

Con los valores mostrados en la Tabla 11, se obtuvieron la tasa promedio por unidad de área, la desviación estándar y aplicando el principio de mínimos cuadrados se obtuvo la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación. Las ecuaciones empleadas se muestran a continuación.

Tasa promedio por unidad de área

$$\mu = \frac{\sum Z}{n} \tag{1}$$

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Z - \mu)^2}{(n - 1)}} \tag{2}$$

Ecuación de regresión

$$Y = a + b \cdot X \tag{3}$$

donde:

$$a = \frac{\sum X_i^2 \cdot \sum Y_i - \sum X_i \cdot \sum X_i \cdot Y_i}{n \cdot \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{4}$$

$$b = \frac{n \cdot \sum X_i Y_i - \sum Y_i \sum X_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \tag{5}$$

Coeficiente de correlación

$$R = \frac{\sum ((Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X}))}{\sqrt{[\sum (Y_i - \bar{Y})^2] \cdot [\sum (X_i - \bar{X})^2]}} \tag{6}$$

En la Tabla 12 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 12. Tasa promedio de viajes, desviación estándar, ecuación de regresión y coeficiente de correlación para la hora pico 1 de la mañana del polo generador para un día de la semana y para la variable número de apartamentos por conjunto residencial

Tasa promedio (Viajes vehiculares/hora x apartamento x conjunto)	0,31
Desviación estándar (Viajes vehiculares/hora x apartamento x conjunto)	0,03
Ecuación de regresión	Y = 12,18 + 0,37X
Coeficiente de correlación (R)	0,97

6 Presentación y análisis de resultados

6.1 Escenarios analizados

Se analizaron un total de setenta (70) escenarios tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Día: se analizaron días de la semana y días de fin de semana.
- Períodos: para los días de semana se analizaron cuatro períodos horarios, dos picos de la mañana, y dos picos de la tarde. También se analizaron volúmenes diarios en lugar de volúmenes horarios, para los días de semana se contemplaron períodos de 12 horas continuas comprendidas entre las 7am y las 7pm y para el día de fin de semana 11 horas continuas comprendidas entre las 8am y las 7pm.
- Hora pico correspondiente al polo generador o a la calle adyacente: se analizaron de forma independiente los períodos horarios correspondientes al polo generador y los períodos horarios correspondientes a la calle adyacente, ya que no siempre coincidieron.

Variable independiente: Se contemplaron como variables independientes para la obtención de las ecuaciones de regresión, el número de apartamentos por torre, área de los apartamentos, número de apartamentos por conjunto residencial, número de torres por conjunto residencial y el número de puestos de estacionamiento por conjunto residencial.

6.2 Presentación de resultados

En la Tabla 13 se presenta un resumen con la tasa promedio (expresada según el caso en número de viajes en vehículo/número de apartamentos por conjunto/hora ó en nú-

mero de viajes en vehículo/número de apartamentos por conjunto/día), la ecuación de regresión lineal y el coeficiente de correlación (R), para los escenarios analizados en los que se empleó como variable independiente el número de apartamentos por conjunto residencial.

Tabla 13. Resumen de los resultados obtenidos para la variable: Número de apartamentos por conjunto residencial. Correlaciones lineales

Escenario	Tasa Promedio	Ecuación de regresión lineal	R
Hora pico 1 de la mañana del polo generador. Día de semana	0.31	$Y = 0.37X - 12.18$	0.97
Hora pico 2 de la mañana del polo generador. Día de semana	0.39	$Y = 0.40X - 1.99$	0.98
Hora pico 1 de la tarde del polo generador. Día de semana	0.35	$Y = 0.28X + 12.12$	0.92
Hora pico 2 de la tarde del polo generador. Día de semana	0.38	$Y = 0.52X - 26.36$	0.95
Hora pico 1 de la mañana de la calle adyacente. Día de semana	0.31	$Y = 0.37X - 12.18$	0.97
Hora pico 2 de la mañana de la calle adyacente. Día de semana	0.22	$Y = 0.25X - 4.43$	0.82
Hora pico 1 de la tarde de la calle adyacente. Día de semana	0.35	$Y = 0.28X + 12.12$	0.92
Hora pico 2 de la tarde de la calle adyacente. Día de semana	0.27	$Y = 0.25X + 4.95$	0.95
Hora picode la mañana del polo generador. Día de fin de semana	0.29	$Y = 0.36X - 13.03$	0.95
Hora picode la tarde del polo generador. Día de fin de semana	0.35	$Y = 0.49X - 24.47$	0.95
Hora picode la mañana de la calle adyacente. Día de fin de semana	0.29	$Y = 0.36X - 13.03$	0.95
Hora picode la tarde de la calle adyacente. Día de fin de semana	3.75	$Y = 3.70 + 10.54$	0.99
Día completo del polo generador. Día de semana.	0.22	$Y = 0.32X - 16.63$	1.00
Día completo del polo generador. Día de fin de semana.	3.17	$Y = 4.42X - 224.66$	1.00

En la Tabla 14 se presenta un resumen con la tasa promedio (expresada según el caso en número de viajes en vehículo/número de apartamentos por conjunto/hora ó en número de viajes en vehículo/número de apartamentos por conjunto/día), la ecuación de regresión logarítmica y el coeficiente de correlación (R), para los escenarios analizados en los que se empleó como variable independiente el número de apartamentos por conjunto residencial.

Tabla 14. Resumen de los resultados obtenidos para la variable: Número de apartamentos por conjunto residencial. Correlaciones logarítmicas

Escenario	Tasa Promedio	Ecuación de regresión lineal	R
Hora pico 1 de la mañana del polo generador. Día de semana	0.31	$Y = 70.36\text{LN}(X) - 308.08$	0.96
Hora pico 2 de la mañana del polo generador. Día de semana	0.39	$Y = 76.17\text{LN}(X) - 323.17$	0.98
Hora pico 1 de la tarde del polo generador. Día de semana	0.35	$Y = 54.67\text{LN}(X) - 218.84$	0.92
Hora pico 2 de la tarde del polo generador. Día de semana	0.38	$Y = 97.86\text{LN}(X) - 437.5$	0.94
Hora pico 1 de la mañana de la calle adyacente. Día de semana	0.31	$Y = 70.36\text{LN}(X) - 308.08$	0.96
Hora pico 2 de la mañana de la calle adyacente. Día de semana	0.22	$Y = 48.78\text{LN}(X) - 211.56$	0.81
Hora pico 1 de la tarde de la calle adyacente. Día de semana	0.35	$Y = 54.67\text{LN}(X) - 218.84$	0.92
Hora pico 2 de la tarde de la calle adyacente. Día de semana	0.27	$Y = 46.46\text{LN}(X) - 190.71$	0.94
Hora pico de la mañana del polo generador. Día de fin de semana	0.29	$Y = 67.06\text{LN}(X) - 294.83$	0.93
Hora pico de la tarde del polo generador. Día de fin de semana	0.35	$Y = 93.23\text{LN}(X) - 418.04$	0.95
Hora pico de la mañana de la calle adyacente. Día de fin de semana	0.29	$Y = 67.06\text{LN}(X) - 294.83$	0.93
Hora pico de la tarde de la calle adyacente. Día de fin de semana	3.75	$Y = 60.01\text{LN}(X) - 269.52$	0.99
Día completo del polo generador. Día de semana.	0.22	$Y = 709.1\text{LN}(X) - 2983.5$	0.99
Día completo del polo generador. Día de fin de semana.	3.17	$Y = 840.5\text{LN}(X) - 3766.1$	0.99

En las Tablas 13 y 14 se observa que los coeficientes de correlación obtenidos fueron superiores a 0.82 y en su mayoría cercanos a 1, lo que indica que existe muy buena correlación entre el número de viajes y número de apartamentos por conjunto residencial. Cuando se comparan los coeficientes de correlación obtenidos para las ecuaciones de regresión lineales con las logarítmicas, se observa que no existen diferencias sustanciales, pero en general se obtienen mejores valores para las ecuaciones del tipo lineal.

Tablas similares se obtuvieron para el resto de las variables independientes analizadas.

De forma ilustrativa se incluye en la Fig. 2, una de las presentaciones gráficas de los resultados obtenidos para los distintos escenarios analizados.

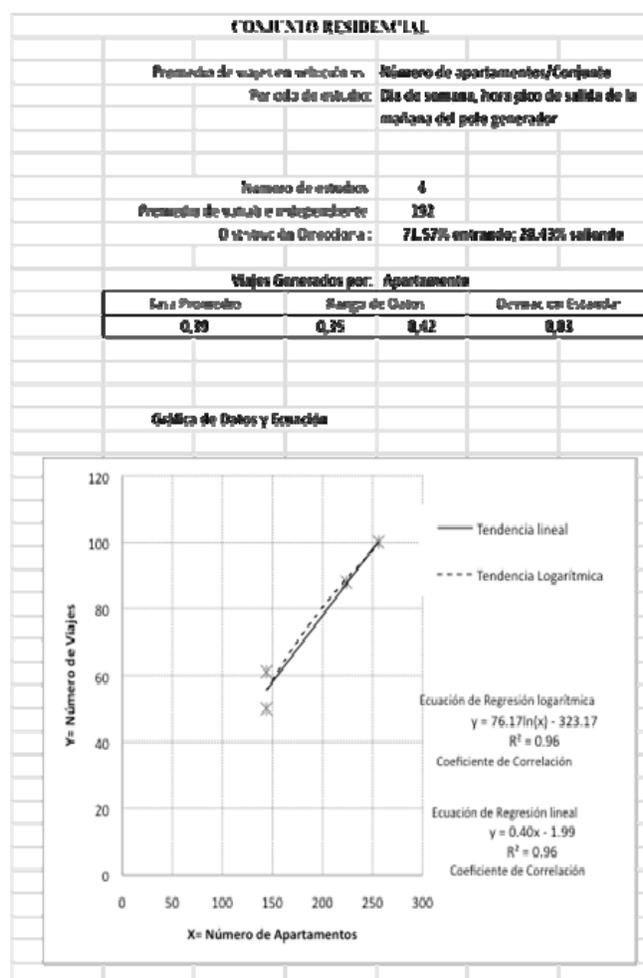


Fig. 2. Presentación gráfica de los resultados obtenidos para la hora pico 2 de la mañana del polo generador. Día de semana

La Tabla 15 muestra las tasas de generación de viajes obtenidas en el estudio y el valor presentado en el Trip Generation, 1997, para el uso del suelo denominado apartamentos de mediana altura.

Tabla 15. Comparación de las tasas de generación de viajes obtenidas en el estudio con los valores reportados en el Trip Generation, 1997

Escenario	Tasa Promedio (Viajes/hora/apto)	
	Estudio	Trip Generation
Hora pico 1 de la mañana de la calle adyacente. Día de semana	0.31	0.30
Hora pico 2 de la tarde de la calle adyacente. Día de semana	0.27	0.39
Hora pico 1 de la mañana del polo generador. Día de semana	0.31	0.35
Hora pico 2 de la tarde del polo generador. Día de semana	0.38	0.44

Se observan similitudes importantes entre las tasas obtenidas en el estudio y las presentadas en el Trip Generation, 1997.

7 Conclusiones

El estudio permitió determinar el número de viajes vehiculares generados por los conjuntos residenciales y relacionarlos con variables propias de estos polos generadores, como número de apartamentos por torre, área de los apartamentos, número de apartamentos por conjunto residencial, número de torres por conjunto residencial y número de puestos de estacionamiento por conjunto residencial, para luego presentar ecuaciones de regresión, coeficientes de correlación, tasas de generación promedio y gráficas de datos, siguiendo los esquemas sugeridos en el (Trip Generation, 1997).

Se consultaron estudios de generación de viajes realizados en Argentina y Brasil, en polos generadores como: hipermercados, centros universitarios, hoteles y viviendas, de estos se extrajo, entre otra información, la relacionada con las metodologías empleadas para la recolección de información de campo. Se corroboró que en general se manejan encuestas y conteos como técnicas para la toma de datos. No se encontró información documentada sobre estudios de generación de viajes en viviendas realizados formalmente en Venezuela.

Las variables independientes para las que se obtuvieron mejores correlaciones fueron el número de apartamentos por conjunto residencial y el número de puestos de estacionamiento por conjunto residencial.

El resto de las variables independientes analizadas: número de apartamentos por torre, área de los apartamentos y número de torres por conjunto residencial, no mostraron, en general, buenas correlaciones con el número de viajes generados. Posiblemente no están directamente relacionadas con la tenencia vehicular y por ende con el número de viajes.

Para todas las variables analizadas se realizaron correlaciones diarias y se compararon con las correlaciones horarias, pudiéndose notar que no existió diferencia significativa entre estas correlaciones.

Para la variable independiente más representativa, en este caso, el número de apartamentos por conjunto residen-

cial, se realizaron correlaciones de tipo lineal y logarítmico, cuando se compararon los coeficientes de correlación obtenidos, se observó que no existen diferencias sustanciales, sin embargo se obtuvieron mejores valores para las ecuaciones del tipo lineal.

8 Recomendaciones

Para la realización de estudios sucesivos, se recomienda ampliar la muestra de estudio, es decir, estudiar un mayor número de conjuntos residenciales.

Se sugiere el uso de los contadores automáticos para la medición de volúmenes vehiculares sobre las calles adyacentes a los conjuntos residenciales, siempre que el tráfico tenga fluidez.

Se sugiere el uso de conteos manuales para la medición de volúmenes vehiculares en los accesos a los conjuntos residenciales.

Para futuros estudios de generación de viajes, en conjuntos residenciales se recomienda incluir otras variables de tipo socioeconómico, como la tenencia vehicular y el ingreso familiar.

Referencias

- Andueza P, 1989, El Diseño Geométrico de Carreteras. Mérida: Impresión Talleres Gráficos Universitarios.
- Galarraga J, Herz M, Albrieu L, Depiante V y Pastor G, 2007, Características de los Viajes en Hipermercados. Córdoba.
- Galarraga J, Herz M, Marchesini P y Rolando M, 2007, Modelo de Generación de Viajes a Nivel Hogar. Córdoba.
- Garber N, Hoel L, 2005, México Ingeniería de Tránsito y Carreteras: Thomson Editores, S.A. de C.V.
- Herz M, Galarraga J y Pastor G, 2007, Centros Universitarios como Polos Generadores de Viajes. Córdoba.
- ITE 1997, Trip Generation 6th Edition, Washington: Institute of Transportation Engineers.
- ITE 2001, Trip Generation Handbook Washington: Institute of Transportation Engineers.

Recibido: 25 de marzo de 2010

Revisado: 25 de febrero de 2011