

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**LOS ESTUDIOS DE IMPACTO VIAL Y EL TRÁFICO GENERADO
EN LA CIUDAD DE LIMA**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

Jimmy Brayan Velasco Cotohuanca

ASESOR: Ing. Félix Israel Cabrera Vega

Lima, Julio de 2017



Este trabajo va dedicado a mis padres, su esfuerzo es mi modelo a seguir. Gracias por todo, porque todo se lo debo a ustedes.

Al Ing. Félix Cabrera, por la paciencia y asesoría en el desarrollo del presente trabajo.

A mis hermanos Washington, Vanessa, Raúl y el pequeño Joaquín. A Albert, que siempre buscó que tome el camino correcto.

A Mariana por el apoyo en la tesis y el aprendizaje basado en errores.

Finalmente a Dios, que a través de las adversidades me ofreció las lecciones que por ser las más difíciles, son las más permanentes

RESUMEN

Debido al ascendente desarrollo inmobiliario, el número de viajes aumentó considerablemente en la ciudad de Lima. De esta manera, se hizo cada vez más necesario afrontar el reto de planificar el tráfico dentro de la ciudad. Es así que en la actualidad la Municipalidad Metropolitana de Lima exige que cada proyecto inmobiliario relevante cuente con un Estudio de Impacto Vial (EIV) para estudiar los impactos que dicho proyecto ocasionará en la red vial urbana. A pesar de ello, no se indica la metodología a seguir para estimar el tráfico que origina el proyecto durante su etapa de operación.

El objetivo de la presente tesis es obtener una perspectiva cuantitativa y realista del tráfico generado por los proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima de manera que se puedan estimar relaciones que relacionen el tráfico generado de un proyecto con los parámetros del mismo. Esto para poder brindar recomendaciones para mejorar la metodología utilizada para determinar el tráfico generado de un proyecto en su EIV.

En la revisión de la bibliografía se estudió por un lado la definición, antecedentes y etapas de un EIV. Por otro lado, se analizaron los requisitos principales exigidos en el desarrollo de un EIV. Posteriormente se revisó los conceptos necesarios para el análisis de generación de viajes.

Para el caso de estudio se seleccionaron 4 proyectos inmobiliarios que pertenecen diferentes contextos y de los cuales se tienen los valores de generación de viajes asumidos en sus EIV para posteriormente comparar dichos valores. Se seleccionaron las variables independientes a analizar, se desarrolló la medición de aforos en los proyectos y se desarrolló un análisis de regresión con los datos recolectados.

Se encontró que las mediciones de tráfico generado real obtenido difieren considerablemente de aquellos considerados en su EIV, siendo generalmente menores. Se desarrolló un análisis de regresión lineal y logarítmico con las variables de independientes de número de estacionamientos, número de viviendas, número de habitantes, área del terreno y área construida de los proyectos. Se obtuvo mejores relaciones de correlación para una regresión lineal considerando las variables de número de estacionamientos y área construida, con las cuales se desarrollan ecuaciones de correlación que podrán ser usadas por la municipalidad y que contribuirán al desarrollo de una base de datos local de generación de viajes.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título	“Los estudios de impacto vial y el tráfico generado en la ciudad de Lima”.
Área	Movilidad y Transporte - Investigación
Asesor	Ing. Felix Israel Cabrera Vega
Alumno	JIMMY BRAYAN VELASCO COTOHUANCA
Código	2010.1413.412
Tema N°	# 68
Fecha	Lima, 31 de marzo del 2017



INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Lima, se han desarrollado diversos proyectos inmobiliarios que han generado un tráfico adicional en la red. Precisamente, este tráfico generado es fundamental en los estudios de impacto vial, ya que permite conocer si el proyectista debe o no desarrollar medidas de mitigación. Sin embargo, en nuestro medio, no se establece, en las ordenanzas municipales, que metodología se debe emplear para determinar el tráfico generado, lo que determina un grado de imprecisión desconocido.

Por ello, en esta tesis se busca comparar el tráfico generado real de los proyectos inmobiliarios con los valores adoptados en los EIV, para así poder obtener una perspectiva objetiva y conocer la incertidumbre en la determinación del tráfico generado por los proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima.

OBJETIVOS

Objetivo general

Obtener una perspectiva cuantitativa y realista del tráfico generado por los proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima.

Objetivos específicos

Analizar la relación entre el tráfico generado real y los parámetros relacionados a los proyectos, tales como el número de estacionamientos, el área del proyecto o el número de viviendas. Además, comparar los valores obtenidos del tráfico generado real con los valores adoptados en los estudios de impacto vial de los proyectos inmobiliarios. Finalmente, se espera brindar recomendaciones para mejorar la metodología utilizada para determinar el tráfico generado de un proyecto inmobiliario.

HIPÓTESIS

El tráfico generado por proyectos inmobiliarios tiene una relación directa con al menos uno de los parámetros del proyecto. Por otro lado, el tráfico generado real por los proyectos inmobiliarios es menor que los empleados en los estudios de impacto vial de

los mismos. Finalmente, se plantea que, en general, la metodología utilizada para determinar el tráfico generado en los estudios de impacto vial en proyectos inmobiliarios no es adecuada.

PROGRAMA DE TRABAJO

El desarrollo de la tesis considerará los siguientes temas:

- Planteamiento del problema, objetivos e hipótesis de la investigación
- Revisión de la literatura - marco teórico: estudios de impacto vial, requisitos de un estudio de impacto vial y análisis de generación de viajes
- Metodología de la investigación.
- Resultados.
- Conclusiones y recomendaciones.

METODOLOGÍA

La investigación es de tipo cuantitativa e incluye las siguientes etapas: revisión de literatura, selección de los conjuntos residenciales, selección de las variables independientes, medición de flujos vehiculares generados, procesamiento y análisis de la información mediante análisis de regresión. Y finalmente la presentación de resultados y conclusiones.

REVISIONES

Primera Revisión:

- Objetivo general y objetivos específicos.
- Hipótesis de la investigación.
- Marco teórico (revisión de la literatura).

Segunda Revisión

- Metodología del trabajo.
- Recolección de datos de campo.

Tercera Revisión:

- Procesamiento y análisis de la información de campo.
- Conclusiones y recomendaciones.

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas.

VB°
Dr. Rafael Aguilar
Director de Investigación

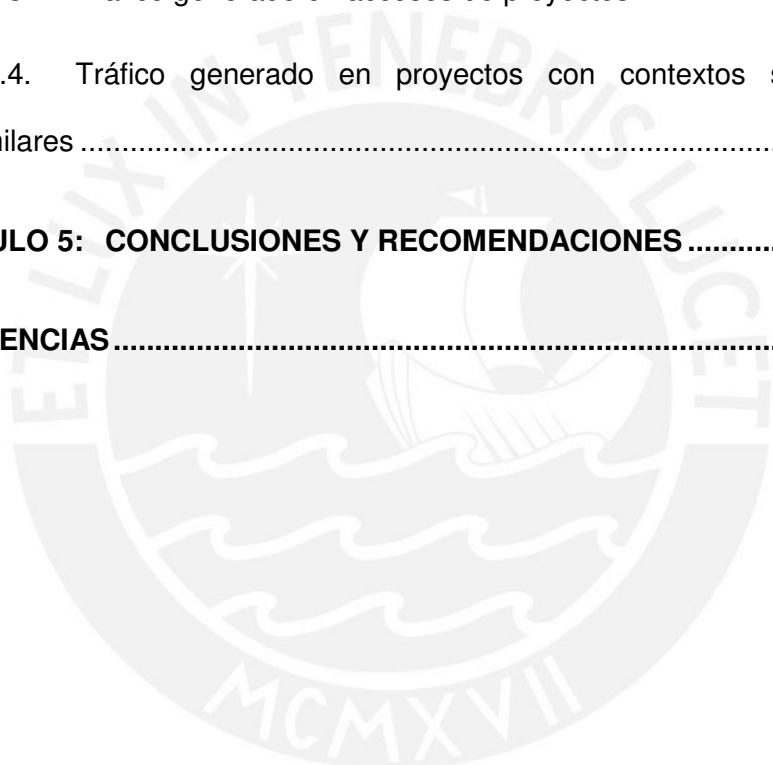


ÍNDICE

LISTA DE TABLAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Hipótesis del proyecto	2
1.4. Alcance del estudio	3
CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	4
2.1. Estudios de impacto vial (EIV)	4
2.1.1. Definición.....	4
2.1.2. Antecedentes	5
2.1.3. Etapas de un EIV.....	13
2.2. Requisitos de un EIV	16
2.2.1. Datos de red vial.....	16
2.2.2. Capacidad de Tránsito.....	21
2.2.3. Niveles de servicio.....	23
2.2.4. Accesos a propiedades adyacentes	24
2.2.5. Sistemas de transporte público.....	25

2.2.6.	Estadísticas de accidentes de tránsito	25
2.2.7.	Generación, atracción y distribución de viajes	25
2.3.	Análisis de generación de viajes	27
2.3.1.	Polos generadores de viajes (PGV).....	28
2.3.2.	Uso de suelo	30
2.3.3.	Datos de generación de viajes.....	31
2.3.4.	Mediciones de tráfico generado.....	33
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....		35
3.1.	Revisión de la literatura	35
3.2.	Selección de la muestra	36
3.3.	Selección de variables.....	38
3.4.	Medición de datos en campo	40
3.5.	Digitalización y procesamiento de la información.....	46
CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		51
4.1.	Análisis de Tráfico generado	51
4.1.1.	Características de los proyectos.....	51
4.1.2.	Mediciones de aforos.....	53
4.1.3.	Tráfico generado de los proyectos.....	55
4.1.4.	Variables independientes analizadas.....	56
4.2.	Análisis de regresión	59
4.2.1.	Tráfico generado vs. Número de estacionamientos	60
4.2.2.	Tráfico generado vs. Número de viviendas.....	62

4.2.3.	Tráfico generado vs. Número de habitantes	64
4.2.4.	Tráfico generado vs. Área total del terreno	65
4.2.5.	Tráfico generado vs. Área construida	67
4.3.	Análisis comparativo	69
4.3.1.	Tráfico generado considerado en los EIV de los proyectos	69
4.3.2.	Tráfico generado total	72
4.3.3.	Tráfico generado en accesos de proyectos	74
4.3.4.	Tráfico generado en proyectos con contextos socioeconómicos similares	77
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		81
REFERENCIAS		84



LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación de los proyectos seleccionados	37
Tabla 2. Resumen de los datos de los proyectos seleccionados considerados en su EIV	53
Tabla 3. Mediciones de tráfico generado por proyecto.....	54
Tabla 4. Tráfico generado por los proyectos.....	56
Tabla 5. Tráfico generado y variables independientes de cada proyecto	57
Tabla 6. Ratios de generación de viajes por variable independiente de los proyectos	58
Tabla 7. Resumen de datos de tráfico generado	59
Tabla 8. Porcentaje considerado para estimación tráfico generado en EIV.....	70
Tabla 9. Tráfico generado real vs Tráfico generado EIV	70
Tabla 10. Porcentaje real para estimación de tráfico generado.....	71
Tabla 11. Resultados de regresión por variable independiente.....	72
Tabla 12. Tráfico generado en accesos de proyectos.....	75
Tabla 13. Resultados de regresión en accesos del proyecto	76
Tabla 14. Resultados de regresión en proyectos con contextos similares	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación Esquemática de las Vías Urbanas en el Perú.	22
Figura 2. Ejemplo de ciclo de semáforo	22
Figura 3. Flujos de tráfico generado: Proyecto 1	43
Figura 4. Flujos de tráfico generado: Proyecto 2.....	43
Figura 5. Flujos de tráfico generado: Proyecto 3.....	44
Figura 6. Flujos de tráfico generado: Proyecto 4.....	45
Figura 7. Ubicación de los proyectos seleccionados.....	51
Figura 8. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Número de estacionamientos	60
Figura 9. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Número de estacionamientos	61
Figura 10. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Número de viviendas.....	62
Figura 11. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Número de viviendas.....	62
Figura 12. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Número de habitantes	64
Figura 13. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Número de habitantes	65
Figura 14. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Área del terreno.....	66
Figura 15. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Área del terreno.....	66
Figura 16. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Área construida	68
Figura 17. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Área construida	68

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Debido al desarrollo inmobiliario de la ciudad de Lima, el número de viajes particulares ha aumentado considerablemente producto de la construcción de nuevos proyectos. Es por esta razón que la Municipalidad Metropolitana de Lima exige que cada proyecto inmobiliario cuente con un Estudio de Impacto Vial (EIV). Sin embargo, no indica la metodología para determinar el tráfico generado por el mismo.

La razón por la cual no se cuentan con lineamientos claros en el análisis de tráfico generado en los EIV es que en Latinoamérica y en especial en el Perú, se carecen de bases de datos sobre generación de viajes de un proyecto en relación a las características del mismo. Es así que se suelen considerar relaciones subjetivas e irreales del tráfico generado con los parámetros del proyecto, los cuales pueden ser el número de estacionamientos, área del proyecto o número de viviendas.

El objetivo de la presente tesis es determinar el tráfico generado real de los proyectos inmobiliarios y compararlos con los valores adoptados en los EIV, para así poder obtener una perspectiva objetiva y realista del tráfico generado por los proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima. De esta manera, los datos recopilados en esta tesis pueden contribuir al desarrollo de una base de datos de generación de viajes que puedan relacionar el uso de un terreno con el tráfico generado del mismo.

El análisis de datos de generación de viajes servirá para poder sustentar relaciones que puedan ser utilizadas en el desarrollo de los EIV de proyectos relevantes. Además, los resultados obtenidos permitirán estimar los volúmenes de tráfico

futuros. Por lo tanto, la presente tesis permitirá brindar propuestas concretas de mitigación o mejoramiento del nivel de servicio, tanto del área de influencia de un proyecto en función de los resultados de su EIV, como del sistema público de transporte en general.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Obtener una perspectiva cuantitativa y realista del tráfico generado por los proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima.

1.2.2. Objetivos específicos

En primer lugar, se espera analizar la relación entre el tráfico generado real y los parámetros relacionados a los proyectos, tales como el número de estacionamientos, el área del proyecto o el número de viviendas. En segundo lugar, se busca comparar los valores obtenidos del tráfico generado real con los valores adoptados en los estudios de impacto vial de los proyectos inmobiliarios. Finalmente, se espera brindar recomendaciones para mejorar la metodología utilizada para determinar el tráfico generado de un proyecto inmobiliario.

1.3. Hipótesis del proyecto

La hipótesis principal de la presente tesis es que el tráfico generado por proyectos inmobiliarios tiene una relación directa con al menos uno de los parámetros del proyecto. Por otro lado, se tiene como hipótesis secundaria que el tráfico generado real por los proyectos inmobiliarios es menor que los empleados en los estudios de impacto vial de los mismos. Finalmente, se plantea que, en general, la metodología utilizada para determinar el tráfico generado en los estudios de impacto vial en proyectos inmobiliarios no es adecuada.

1.4. Alcance del estudio

Esta investigación se limita al estudio del tráfico generado por proyectos residenciales ubicados dentro de la ciudad de Lima Metropolitana. Dichos proyectos pueden ubicarse en vías principales, secundarias o terciarias de la red vial urbana. Los resultados hallados son aplicables a proyectos de diversos contextos socioeconómicos. Además, pueden aplicarse a desarrollos de diversa magnitud, siendo especialmente útiles en los proyectos residenciales de gran envergadura. Esto debido a que, por su magnitud, tienen un impacto vial considerable por lo que debe darse especial interés al desarrollo de sus estudios de impacto vial (EIV).

Los resultados no son aplicables a proyectos cuyo uso de suelo no sea residencial, tales como proyectos comerciales, oficinas, instituciones educativas, hospitales, colegios, entre otros. Además, el presente estudio no analiza el impacto vial que tienen los proyectos residenciales en ciudades pertenecientes al interior del país, ni en Lima provincias.

Adicionalmente, los resultados obtenidos en la tesis representan las relaciones entre las características de una muestra seleccionada de proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima con el tráfico generado de estos mismos. Es por esta razón que si bien se dedujo la ecuación de recurrencia con mejor coeficiente de correlación para estimar el tráfico generado de los proyectos residenciales en distintos puntos de la ciudad de Lima, esta ecuación es fruto de un análisis de regresión desarrollado para una muestra limitada de proyectos.

De esta manera, para poder aplicar las recomendaciones presentadas en la presente tesis, se debe ampliar la base de datos de estudios de generación de viajes y ,en medida de lo posible, corroborar los resultados obtenidos con mediciones en sitio u en proyectos inmobiliarios con contextos similares a aquel cuyo impacto vial se quiere prever.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Estudios de impacto vial (EIV)

2.1.1. Definición

El impacto vial se entiende como cualquier cambio, tanto positivo como negativo, que sea provocado sobre el tránsito como consecuencia directa o indirecta de modificaciones viales específicas o del desarrollo de actividades, proyectos, programas o emprendimientos. Entonces podemos definir al estudio de impacto vial (EIV) como aquel procedimiento técnico que tiende a identificar, interpretar y alertar sobre los efectos en el corto, mediano y largo plazo que las actividades, proyectos, programas o emprendimientos puedan causar en la infraestructura vial urbana, así como en los peatones o usuarios de la misma (Sotelo, 2010). Por esta razón, un EIV es desarrollado para ser enviado a las autoridades públicas para su revisión y aprobación.

Las regulaciones tanto estatales como municipales de una localidad indican los casos en los cuales es obligatorio el desarrollo de un EIV y dan lineamientos para la estructura del mismo dependiendo del tipo de actividad, proyecto, programa o emprendimiento a desarrollarse. En general, es necesario el desarrollo de un Estudio de Impacto Vial (EIV) cuando una actividad, proyecto, programa o emprendimiento sea susceptible de producir un impacto moderado o relevante sobre el sistema vial circundante. Dicho impacto tiene que ser analizado tomando en cuenta el tipo de uso de suelo de los lugares de origen y destino de los usuarios afectados.

2.1.2. Antecedentes

EIV en el mundo

Como se indicó, las regulaciones gubernamentales son las encargadas de solicitar y revisar los EIV. Estas regulaciones pueden ser exigidas tanto por el gobierno central, los gobiernos estatales o las municipalidades. Esta es la razón por la cual existe diversidad de lineamientos y requisitos para el desarrollo de un EIV dependiendo del lugar en el cual se vaya a desarrollar el proyecto.

En el caso de Estados Unidos y Canadá, los estados y las municipalidades son las encargadas de detallar las variables a ser estudiadas en un EIV. En general, los requerimientos exigidos en dichos países se basan en las recomendaciones del Institute of Transportation Engineers. De esta manera, se requiere un EIV si un desarrollo, quiere decir la incorporación del proyecto cumple con algunas de las siguientes características (Quintero et al., 2008):

- Si el proyecto genera 100 o más viajes adicionales en la hora pico.
- Si es que existe un incremento de 300 o más viajes generados por día en el área de estudio.
- Si el desarrollo genera un incremento de un 20 por ciento o más al volumen de un movimiento de tráfico en particular.
- Si es que al establecer el nuevo proyecto, no se tenga los requisitos mínimos en la entrada y salida, los cuales prevengan situaciones inseguras.
- Cuando el desarrollo proponga cambios en los patrones de circulación en el área de estudio.
- Si se prevé la incorporación del nuevo desarrollo directamente desde una vía arterial o colector.

- Si la relación v/c tanto de un movimiento en particular, de un acceso, de la intersección como un todo o de las intersecciones con semáforo es crítica ($v/c \geq 0.85$).
- Si las intersecciones con semáforos trabajan con carriles compartidos para movimientos rectos y giros.
- Cuando el área de estudio presenta altos niveles de congestión.
- Si el organismo municipal lo requiere.

Para el caso de Centro América y América del Sur tienen distintas normativas. Dichas normativas son similares en cada país y en sus respectivas ciudades e indican las características que debe tener un desarrollo para requerir un Estudio de Impacto Vial. De esta manera, se requiere un EIV cuando el proyecto cumple alguna de las siguientes características (Quintero et al., 2008):

- Si el proyecto requiere de un número de estacionamientos superior a 100 unidades.
- Si el número de estacionamientos del proyecto es superior a 50.
- Si la entrada o salida del mismo está vinculada a alguna vía de la red vial estructural y/o básica.
- Si se genera una cantidad de viajes superior a 3000 vehículos diarios totales.
- Si se generan una cantidad de viajes superior a 100 vehículos por hora y se requiera una cantidad superior a 50 unidades de estacionamiento.
- Si desarrollo es construido en una zona sensible (con problemas de congestión).
- Si se cambia la zonificación del área.
- Si el desarrollo propuesto genera más de 100 viajes durante la hora de máxima demanda.

- Si el organismo municipal lo requiere.

Por otro lado, en Venezuela, la estructura y lineamientos para el desarrollo de los EIV son competencia de las municipalidades, teniéndose en general las siguientes etapas: Levantamiento y recolección de los elementos del contexto urbano, generación de viajes, aplicación del nuevo elemento urbano sobre la red vial existente, evaluación de los impactos y generación de alternativas de solución (Quintero et al., 2007).

En el caso de Chile, un EIV requiere del desarrollo de varios estudios de ingeniería de tránsito. Además, utiliza un software para obtener los niveles de servicio actual y futuro de la infraestructura vial. Asimismo, se desarrolla una simulación de la zona de estudio.

La estructura para los EIV en el país de Chile consiste primeramente en desarrollar la localización general del proyecto, con lo cual se describe la zona de estudio del mismo. Posteriormente, se desarrolla el análisis de la zona de estudio de manera que se calcule la hora de máxima demanda, se especifica la clasificación de los vehículos que representan el tráfico de la zona y se analizan los movimientos direccionales de las intersecciones de la zona de influencia hacia las vías principales y secundarias. Además, se requiere desarrollar el inventario geométrico de la zona de estudio. Una vez desarrollado, se ejecuta el estudio de aforos peatonales sean estos aforos manuales o automáticos y de existir, se analizan y estudian los semáforos de la zona. Por último, se describen los niveles de servicio, tanto actuales como los proyectados con el proyecto para poder así desarrollar las conclusiones y recomendaciones.

Otros países, como Argentina, solicitan métodos más sofisticados para realizar el conteo de aforos en el proyecto. Esto permite calificar no solo la cantidad de

vehículos sino también los tipos de vehículos transitando en las infraestructuras viales aledañas (Sotelo, 2010).

EIV en el Perú

En el caso del Perú, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) definió el Estudio de Impacto Vial en la Norma G.040-Definiciones como una “Evaluación de la manera como una edificación influirá en el sistema vial adyacente, durante su etapa de funcionamiento” (Ministerio de Construcción y Vivienda, 2006). En dicha normativa se indica en diversas secciones la obligatoriedad del desarrollo dependiendo del uso que vaya a tener el proyecto y las características del mismo. Por este motivo se tienen diversas consideraciones dependiendo si el proyecto es de uso comercial, industrial, especial, de servicios o residencial.

Para usos comerciales, la Norma TH.020-Habilitaciones para Uso Comercial indica que las habilitaciones para uso de comercio exclusivo Tipo 2 tienen gran impacto en el desarrollo urbano de la sociedad por lo que requieren de estudios de impacto ambiental y/o vial. Lo mismo se indica para las habilitaciones de uso comercial con otros usos- Uso Mixto Tipo 4, en las que se mezcla los usos comerciales con la actividad residencial de alta densidad; y para el uso comercial con otros usos- Uso Mixto Tipo 6, donde se mezcla los usos comerciales con la actividad industrial de tipo elemental y complementaria (Ministerio de Construcción y Vivienda, 2006).

Esto se ve complementado en la Norma A.070-Comercio en el cual, en el artículo 4 especifica que los proyectos de centros comerciales, mercados mayoristas, mercados minoristas, tiendas de autoservicio, galerías comerciales, galerías feriales, establecimientos de venta de combustibles (grifo, gasocentro) y estaciones de servicio deben contar con un Estudio de Impacto Vial que proponga una solución que resuelva el acceso sin afectar el funcionamiento de las vías aledañas. En dicha normativa se define al EIV de la siguiente manera:

Evaluación de la manera en que un establecimiento comercial influirá en el sistema vial adyacente, durante las etapas de construcción y funcionamiento. Éste deberá tomar en cuenta la relación del establecimiento comercial con la red viaria, las vías afectadas, la accesibilidad o garantía del tráfico de entrada y salida, el nivel de saturación del sistema viario por el incremento de desplazamiento motorizado, los estacionamientos, entre otros aspectos (Ministerio de Construcción y Vivienda, 2011)

Para usos industriales, la Norma TH.030-Habilitaciones para Uso Industrial indica que todas las habilitaciones para este uso deben contar con estudios de impacto ambiental que permitan identificar medidas de mitigación para diversos impactos, incluyendo el vial. Esto se ve complementado con la Norma A.060-Industria, la cual indica en el artículo 4 que se debe desarrollar un Estudio de Impacto Vial para proyectos de edificación industrial destinados a gran industria o industria mediana cuyas operaciones demanden el movimiento de carga pesada (Ministerio de Construcción y Vivienda, 2006).

Para usos especiales, la Norma TH.040-Habilitaciones para Usos Especiales indica que se deben realizarse estudios de impacto ambiental y/o vial en el caso de escenarios deportivos, locales recreativos de gran afluencia o campos feriales. Asimismo, en la Norma A.090-Servicios Comunes en el artículo 4 se indica que los proyectos de edificaciones para servicios comunales que supongan una concentración de público de más de 500 personas deben contar con un EIV (Ministerio de Construcción y Vivienda, 2006). Por otro lado, en la Norma A.100-Recreación y Deportes se indica en el artículo 3 que se requiere el desarrollo de un EIV para edificaciones que concentren a más de 1000 ocupantes. Finalmente, en la Norma A.110-Transportes y Comunicaciones se indica que se requiere el desarrollo de un EIV para el desarrollo de terminales terrestres.

Para usos de servicios, la Norma A.080-Oficinas indica en el Capítulo II- Condiciones de Habitabilidad y Funcionalidad que se debe contar con un Estudio de

Impacto Vial en proyectos corporativos o de oficinas independientes con más de 5,000 m². El EIV se desarrolla de manera que se obtenga una solución que resuelva el acceso y salida de vehículos (Ministerio de Construcción y Vivienda, 2006).

Para usos de residenciales, el RNE no tiene especificados lineamientos en los cuales es obligatorio el desarrollo de un EIV. Las demás normativas complementarias, como el Reglamento de Licencias de Habilitación Urbana y Licencias de Edificación aprobado por Decreto Supremo N° 008-2013-VIVIENDA, modificado por Decreto Supremo N° 012-2013-VIVIENDA y por el Decreto Supremo N° 014-2015-VIVIENDA únicamente indican que el Estudio de Impacto Vial se debe presentar cuando el RNE lo exija o en los casos en los que la entidad competente de brindar las licencias a las edificaciones lo requiera.

De esta manera, las municipalidades son las encargadas de regular y determinar la obligatoriedad los estudios de impacto vial para los proyectos residenciales. Esto genera que no se tengan lineamientos estandarizados para el desarrollo de los EIV, originando desconocimiento en las empresas dedicadas al rubro.

En general, existía poco interés de parte del sector público en los temas de planeamiento urbano, motivo por el cual no se ofrecía una correcta supervisión en el desarrollo y aplicación de los EIV. En el caso de Lima, los EIV solían ser generados por el sector privado únicamente para el desarrollo de proyectos de gran magnitud con impactos importantes en el sistema de tránsito. Estos eran presentados posteriormente a la Municipalidad Metropolitana de Lima, la cual se encarga de su revisión y aprobación; sin embargo, no se tenían lineamientos claros para su desarrollo y no se daba la adecuada importancia a su revisión.

A través de los años y debido al rápido crecimiento urbano en las ciudades del país y principalmente en la capital, el parque automotor tuvo un crecimiento sostenido

que no estuvo acompañado de una adecuada planificación vial urbana. Es por esta razón que los problemas de congestión vehicular y contaminación comenzaron a acrecentarse de tal manera que se convirtieron en una de las principales demandas de la población. De esta manera, el control del tráfico vehicular es ahora uno de los principales puntos a tratar en la agenda política.

EIV en Lima

Debido al creciente problema de congestión vial, la Municipalidad Metropolitana de Lima comenzó a poner más énfasis en el desarrollo de políticas para el control del sistema de transporte urbano. Entre las medidas implementadas están, entre otras, el desarrollo de un sistema integrado de transporte público, la construcción de infraestructura vial en distintos puntos de la ciudad y el requerimiento de un EIV para cada nuevo proyecto de construcción civil y obra de infraestructura. Es así que, en el caso de los EIV, se comenzaron a emitir ordenanzas en las cuales se definían los conceptos, recomendaciones, lineamientos y requisitos para el desarrollo de los mismos.

Es así que el 7 de julio del 2009 la Municipalidad Metropolitana de Lima emitió la ordenanza N° 1268, la cual regula los estudios de impacto vial en la ciudad de Lima Metropolitana. En dicha ordenanza, en el artículo N°3, se define a un Estudio de Impacto vial (EIV) como

El conjunto de actividades que permiten evaluar cualitativa y cuantitativamente los efectos que produce sobre el entorno vial y transporte, el desarrollo urbanístico o el proceso de renovación de zonas o lotes de terreno, de forma de poder prever y mitigar sus efectos negativos mediante medidas administrativas y técnicas adecuadas, de manera que sea posible recuperar, alcanzar o mejorar el nivel de servicio existente en el entorno (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2009).

Posteriormente, el 8 de julio de 2010, la Municipalidad Metropolitana de Lima emitió la ordenanza N° 1404, la cual reglamenta el procedimiento de aprobación de los

estudios de impacto vial en Lima Metropolitana. En esta ordenanza, en el capítulo II, el cual se refiere al alcance y clasificación de los estudios de impacto vial, se indica, en el artículo N°4, lo siguiente:

La aprobación de los estudios de impacto vial alcanza únicamente a la conformidad de las medidas de mitigación determinadas en el Estudio, por lo que no implica aprobación o modificación de parámetros urbanísticos o de secciones viales, tampoco reemplaza los procedimientos de obtención de autoridades que cuenten con procedimientos previamente establecidos. De ser el caso, si como resultado de la evaluación se determina que deben efectuarse modificaciones al proyecto de arquitectura, éstas deberán realizarse debiendo adecuar el proyecto a los criterios técnicos aplicados para la mitigación de impactos viales (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2010).

Por otro lado, en el artículo N°5 de la citada ordenanza se detalla la clasificación de los niveles de EIV por proyecto de habilitación urbana o edificaciones. Estos niveles pueden ser tres.

El nivel I “es aquel cuyo impacto vial negativo puede ser resuelto con la aplicación de la sección vial normativa respectiva y/o a través de cumplimiento de los parámetros urbanísticos y edificatorios correspondientes a cada tipo de vía.” (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2010)

El nivel II “es aquel cuyo impacto vial negativo además de las consideraciones especificadas para el Nivel I, puede ser susceptibles para la mitigación o minimizados mediante la adopción de acciones de gestión de tráfico y/o la implementación de dispositivos de control del tránsito” (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2010).

El nivel III “es aquel cuyo impacto vial negativo es significativo, tanto cuantitativa y/o cualitativamente, ya sea de influencia distrital o metropolitana, que merezca una evaluación conjunta y especializada de otros órganos de la corporación municipal para identificar su viabilidad, así como para determinar las medidas de mitigación

que puede llegar a incluir la construcción de infraestructura vial que debe de aplicarse durante su operación y funcionamiento” (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2010)

Finalmente, el 5 de abril del 2013, la Municipalidad Metropolitana de Lima emitió la ordenanza N° 1694, la cual modifica la ordenanza N° 1404 que reglamenta el procedimiento de aprobación de los estudios de impacto vial sobre Lima Metropolitana. En dicha ordenanza, en el artículo N°5, se modifican los criterios de clasificación de los EIV por proyecto de habilitación urbana o edificaciones, siendo clasificados en tres.

El nivel I “es aquel cuyo impacto vial se refiere exclusivamente a habilitaciones urbanas”. Por otro lado, el nivel II “es aquel cuyo impacto vial se refiere exclusivamente a Proyectos Edificatorios”. Finalmente, el nivel III “es aquel cuyo impacto vial negativo es significativo, tanto cuantitativa y/o cualitativamente, ya sea de influencia distrital o metropolitana, que merezca una evaluación conjunta y especializada de otros órganos de la corporación municipal para identificar su viabilidad, así como para determinar las medidas de mitigación que puede llegar a incluir la construcción de infraestructura vial que debe de aplicarse durante su operación y funcionamiento” (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2013).

2.1.3. Etapas de un EIV

Como se indicó, los municipios son las entidades responsables de la planificación y gestión del área urbana. Es por esta razón que, en general, son las municipalidades las principales encargadas de brindar los lineamientos y exigir el desarrollo de los estudios de impacto vial (EIV). Los lineamientos brindados deben permitir a la municipalidad evaluar y supervisar los impactos que el proyecto desarrollará en el sistema vial urbano, así como las medidas de mitigación de los mismos.

El Institute of Transportation Engineers (ITE) es una asociación científica y educativa internacional fundada en el año de 1930 y que está compuesta por profesionales en el área de transporte para establecer los requerimientos de movilidad y seguridad en dicha rama (Trip Generation Manual, 2015). De esta manera, sus estudios y publicaciones han servido como base para el desarrollo de lineamientos y normativas referentes a los EIV tanto en América del Norte, como en Centro América y América del Sur, motivo por el cual existe gran similitud entre las mismas. En el caso del Perú no existe una normativa para el desarrollo de los estudios de impacto vial, siendo los municipios las entidades responsables de establecer los lineamientos para los mismos.

De esta manera, la metodología requerida para el desarrollo de un EIV dependerá tanto de variables como el ordenamiento urbano, los planes de desarrollo del lugar, los niveles de congestión; como de las políticas y planes de cada municipio o entidad encargada. Sin embargo, como se indicó, debido a que las normativas a considerar para el desarrollo de EIV en los países de la región se basan en las recomendaciones brindadas por el ITE, la metodología para el desarrollo de los EIV es similar. A continuación, se mostraran las etapas que, en general, se necesitan para realizar un EIV (Papacostas, 1993):

En principio, de acuerdo a los requerimientos de la municipalidad competente, se analiza el alcance del estudio, su extensión y el año horizonte para el análisis del impacto vial. Para lograrlo, la municipalidad debe a su vez ofrecer herramientas de acceso a la información relevante para el desarrollo de los EIV, tales como los datos del volumen de tráfico, señales existentes, historial de accidentes y las mejoras planeadas para el transporte.

A continuación, se realizan levantamientos en campo para analizar el estado del área de influencia del proyecto cuyo impacto vial se desea proyectar antes de que

este mismo sea desarrollado. Entre las observaciones requeridas para esta etapa se pueden detallar las siguientes: reconocimiento del área del proyecto, inventario y análisis de la geometría de la red vial urbana en la zona de influencia del desarrollo, así como de los dispositivos o aparatos de control de tráfico ubicados en dicha red, estudio de los tiempos de fase de los semáforos en las intersecciones semaforizadas, geometría de las vías, ubicación de los estacionamientos aledaños al proyecto, análisis de flujos de viaje hacia el desarrollo, usos de suelo en los terrenos adyacentes, entre otros.

Más adelante, se desarrollará el conteo y análisis de tráfico existente. El conteo de tráfico existente es realizado durante un periodo prudente determinado a partir de los lineamientos ofrecidos por las entidades competentes. El estudio del tránsito comprende el conteo ya sea manual o mediante equipos automáticos de los vehículos motorizados que transitan por la red vial urbana. Además, se recolectan encuestas ofrecidas a usuarios residentes en propiedades aledañas, en las cuales se analiza la distribución modal, la distribución de viajes y la asignación de tráfico usual para los usuarios de la zona de influencia del proyecto.

Una vez concluido el conteo y análisis de tráfico, se desarrolla el estudio de generación de viajes. La generación de viajes comprende por un lado los ratios o tasas de viajes que tienen como punto de origen o destino el proyecto analizado, siendo estimados mediante la experiencia empírica fruto de data histórica en la zona aplicando una distribución modal o mediante estudios locales de generación de viajes. Por otro lado, se estudia la distribución de viajes, dependiendo de las características del proyecto y de los usuarios del mismo. Posteriormente, se desarrolla la asignación de viajes de proyectos ajenos que impactan al tráfico de la red vial aledaña, para lo cual se utilizan las reglas de red de equilibrio o una técnica empírica. Estos estudios permitirán analizar la capacidad y el nivel de servicio de la

red vial de la zona de influencia y de sus intersecciones señalizadas y no señalizadas.

Finalmente, se desarrolla la revisión del plan del sitio, tanto en el escenario “Do Nothing”, mediante el cual no se altera los elementos de la zona de influencia; como en el escenario mediante el cual se proponen modificaciones y mejoras que luego serán aplicadas en la red vial urbana aledaña.

2.2. Requisitos de un EIV

2.2.1. Datos de red vial

Para el desarrollo de un EIV se deben tener en cuenta los datos de la red vial aledaña al proyecto. De esta manera, se requiere obtener las características de las vías ya sean vías primarias, secundarias y terciarias que comprenden el área de influencia del proyecto. Entre los datos de la red vial necesarios para el desarrollo de un EIV podemos señalar las características geométricas, los datos referentes a los volúmenes de tránsito y las características de operación de las vías.

Datos de la geometría

Los datos de la geometría nos permiten tener una perspectiva espacial de los elementos que conforman la red vial en la zona de influencia del proyecto. Para estudiar la geometría se pueden tomar de planos existentes del área de estudio o basarse en estudios viales previos de proyectos circundantes. Sin embargo, los datos recolectados de esta manera no representan fidedignamente la situación actual. Este es el motivo por el cual es recomendable hacer un levantamiento en campo.

Por otro lado, se recomienda elaborar un croquis de la zona de estudio, en el cual se deben dibujar las vías de tránsito y sus características. Entre las características

más relevantes de la zona de influencia podemos mencionar el uso de los terrenos, las divisiones de propiedades, las pendientes de las vías, las intersecciones, la ubicación de los paraderos del transporte público, los estacionamientos y los flujos de viajes en la red vial.

Además, se recomienda tener un registro fotográfico de la zona de influencia del proyecto que muestre las características geométricas en la red vial antes de la construcción del mismo. Esto para poder ofrecer a las partes interesadas del proyecto cuyo impacto vial está siendo estudiado las características iniciales de la red vial urbana.

Volúmenes de tránsito

El estudio de los volúmenes de tránsito de la red vial urbana en la zona de influencia del proyecto antes de la construcción del mismo es necesario para el análisis de la situación actual de la zona de estudio. Además, la información recolectada puede servir de base para la estimación de los volúmenes de tránsito futuro. Esto a su vez permite la posibilidad de realizar medidas de planificación del transporte urbano considerando un año horizonte en el cual los volúmenes de tránsito puedan ser proyectados.

Existen dos maneras de recolectar los volúmenes de tránsito. Por un lado, se pueden estudiar los volúmenes de tránsito a partir de datos históricos existentes, tales como estudios viales previos. Por otro lado, se puede desarrollar una medición directa de los volúmenes de tránsito en el área de estudio.

Estudiar los volúmenes de tránsito a partir de datos históricos existentes resulta la alternativa más económica y más rápida de realizar; sin embargo, solo es recomendable cuando se tienen datos de fuentes confiables con no más de un año de anterioridad y cuando se conocen con cierta fidelidad las tendencias de tráfico de la zona estudiada. Por otro lado, la medición directa de los volúmenes de

tránsito resulta la alternativa más costosa y requiere más tiempo en su ejecución; sin embargo, ofrece los resultados más confiables debido a que la data recolectada representa de mejor manera la situación actual de la red vial (Quintero et al., 2008).

Para la realización de la medición directa del área de estudio se pueden realizar aforos. Los aforos son conteos de los vehículos que circulan las vías urbanas cuyos volúmenes de tránsito se desean conocer. Para lograrlo, los aforos pueden servirse tanto de equipos manuales, mecánicos o electrónicos.

Los aforos manuales se hacen mediante mediciones en las cuales un observador registra la cantidad de vehículos que transitan en una zona mediante conteos manuales o utilizando dispositivos para dicho fin. Los aforos mecánicos por otro lado contabilizan y registran automáticamente los ejes de los vehículos. Por otro lado, se pueden usar técnicas más sofisticadas como son el uso de cámaras, filmaciones o equipos computarizados (Cal y Mayor, 2007).

Los días de aforo son definidos por parte de las autoridades competentes y de las empresas encargadas del desarrollo de los EIV. De acuerdo a las recomendaciones del Institute of Transportation Engineers (ITE), se obtienen resultados satisfactorios con tres días de conteos vehiculares, los cuales pueden ser dos días hábiles y un día de fin de semana. También se puede dar el caso de utilizar tres días laborables, sobre todo cuando se requieren saber los volúmenes máximos de tránsito. Por lo general, se trabaja con días representativos de la semana como martes, miércoles, jueves y sábado. Los días lunes, viernes y domingos suelen a poseer características atípicas.

Para cada medición de aforo, el ITE recomienda que los datos se recolecten en periodos de 8 horas, esto con el fin de determinar la hora de máxima demanda u hora pico. Por otro lado, nos indica que cada periodo de una hora debe ser dividido en cuatro periodos de 15 minutos cada uno. Esto con el fin de obtener las tasas de

flujo y los factores de hora pico requeridos para hacer el análisis de capacidad de las vías urbanas y sus intersecciones.

Adicionalmente, se recomienda que los conteos se realicen de manera simultánea en la red vial. De esta manera se busca juntar el balance de volúmenes y detectar posibles errores en la toma de datos. Cuando lo mencionado no sea posible, se puede sectorizar la red vial para realizar los aforos. De ser este el caso, se admiten diferencias de compensación de hasta un aproximado de 10%.

Características de operación de la red vial

Para determinar las características de operación de la red vial se debe determinar la capacidad de las vías y sus niveles de servicio. Para lograrlo, se desarrollan modelos de simulación. Dichos modelos pueden ser utilizados mediante programas como: Highway Capacity Software, Synchro, Transy, Sidra y Vissim, entre otros.

Uno de los programas más utilizados para el modelamiento de las vías urbanas para la determinación de las características de las mismas es el Highway Capacity Software. Los conceptos, guías y procedimientos computacionales necesarios para el uso del HCS 2000 se encuentran en el Highway Capacity Manual. El HCM fue desarrollado por el Transportation Research Board's (TRB) e incorpora la experiencia fruto de una gran variedad de estudios que estudian la capacidad y calidad de servicio en la infraestructura vial. A continuación, se describen los requerimientos necesarios para la aplicación del HCS 2000 (Highway Capacity Manual, 2000).

En un inicio, se debe medir los volúmenes horarios de tráfico en periodos de 15 minutos cada uno. Para ello, la persona encargada de las mediciones debe registrar, mediante conteos manuales o utilizando equipos automáticos, el número el número de vehículos al inicio de cada hora de conteo.

Posteriormente, se debe registrar las unidades de transporte público que dejan y recogen pasajeros en las zonas aledañas a las intersecciones. De acuerdo a los lineamientos contenidos en el HCM 2000, se deben considerar estos registros en el análisis de capacidad de las intersecciones con semáforos si estas ocurren 75 m encima o debajo de la intersección. Adicionalmente, se debe considerar el número de peatones y bicicletas que circulan a través de las intersecciones.

A continuación, se debe registrar la cantidad de vehículos que entran o salen de los estacionamientos cada hora. Esto debido a que los flujos generados por los estacionamientos influyen en el tráfico por lo que deben ser incluidos en el análisis.

Además, se deben conocer los patrones de llegada indicados en la tabla 16-4 del Highway Capacity Manual 2000. Estos patrones de llegada se estudian en las intersecciones con semáforos. De esta manera, pueden ser observados en campo.

Una vez analizados los aforos y las condiciones geométricas de la zona de estudio, se debe determinar según las características de uso del suelo si la intersección está ubicada en una zona con marcada tendencia comercial. Como se indicó, el uso del suelo se refiere al uso para el cual está previsto el proyecto a construirse en el terreno. En el caso de la presente tesis, el uso del suelo será residencial.

Finalmente, se deben registrar, mediante observaciones en campo, los datos de semaforización en las intersecciones de la zona de influencia. Estos datos comprenden la ubicación, los ciclos, las fases y los intervalos de cada semáforo, incluyendo aquellos variables durante el día. Por otro lado, en caso que se tenga un sistema sincronizado de semáforos en la red, se deben analizar los desfases en los tiempos de los semáforos.

2.2.2. Capacidad de Tránsito

La capacidad del tránsito de un sistema de transporte mide el número de pasajeros o la carga que puede transportar el mismo entre dos puntos en un intervalo de tiempo, sean horas o días. De esta manera, la capacidad de tránsito está en función del número de vehículos que transita una vía en un momento dado, de la capacidad de los vehículos de transporte y su velocidad (Hay, 2009).

Para determinar la capacidad de tránsito primeramente se deben tener en consideración las vías urbanas y su categorización. En el Perú, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) categoriza las vías urbanas según su funcionalidad. De esta manera, existen dos categorías principales de vías urbanas. Por un lado, se encuentran las vías provinciales, las cuales pueden ser vías expresas, vías arteriales o vías colectoras. Por otro lado, se encuentran las vías distritales o locales, las cuales se subdividen en vías locales comerciales, vías locales preferenciales, vías locales residenciales, vías locales industriales y vías peatonales.

Dentro de las vías provinciales, las vías expresas se caracterizan por sus altas velocidades de flujo interrumpido en la cual no existen cruces. De esta manera, las vías expresas unen zonas con importantes flujos de tránsito dentro de una ciudad y, además, integran la ciudad con el resto del país. Por otro lado, las vías arteriales se caracterizan por tener un flujo considerable de tránsito, el cual es ininterrumpido a distancias. Finalmente, las vías colectoras conectan las zonas urbanas con las vías tanto arteriales como expresas, motivo por el cual tienen un flujo que únicamente puede ser ininterrumpido a cortas distancias.

A continuación, se muestra la clasificación de las vías según el MTC. Dicha clasificación está acompañada por una representación esquemática en la cual las

diseño no generen demoras en el flujo vehicular. Para diseñar un ciclo óptimo se emplea la ecuación N°1 proporcionada por el HCM 2000.

$$C_o = \frac{1.5 * L + 5}{1 - \Sigma Y} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

Co: ciclo óptimo

L: tiempo total perdido por ciclo (s)

Yi: máximo valor de la relación entre el flujo observado y el flujo de saturación para el carril crítico de la fase (i)

Una vez calculado el ciclo semafórico óptimo se redistribuyen los tiempos de verde efectivo, tiempo de ámbar y tiempo de rojo, de manera que se garantice la mayor circulación vehicular en un carril sin afectar considerablemente la circulación de los demás carriles. Para distribuir adecuadamente los tiempos de verde efectivo y rojo se utiliza la ecuación N°2 proporcionada por el HCM 2000.

$$Gt = C_o - (\Sigma I + TR) \dots\dots\dots(2)$$

Dónde:

Gt: tiempo de verde efectivo total

L: tiempo perdido en todo el ciclo

li: tiempo de ámbar en la fase (i)

Las ecuaciones mostradas nos permiten diseñar el ciclo óptimo de los semáforos que se requieran tanto las vías como las intersecciones para regular el tránsito. Por otro lado, el diseño efectivo requiere tomar en cuenta además el beneficio de población vulnerable, peatones y usuarios, en orden de prioridad. De esta manera, un cruce de vía deseable se encontrará regulado por un semáforo o una señal prohibitiva o reguladora vial que permita el libre tránsito de los peatones y de los vehículos que utilizan la red vial urbana.

2.2.3. Niveles de servicio

Los niveles de Servicio o Level of Service (LOS) miden la seguridad, la comodidad, las facilidades de maniobrar y la selección del tipo de velocidad en una vía. De esta

manera, los niveles de servicio son una medida cualitativa que caracteriza diversas situaciones referentes a la facilidad de maniobrar de los usuarios (Highway Capacity Manual, 2000).

Los niveles de servicio se dividen en 6 niveles, los cuales van desde el nivel del servicio A hasta el nivel de servicio F. Cada nivel se encuentra asociado a un requisito de espacio diferente. De esta manera, el nivel de servicio A tiene condiciones de flujo libre que ofrece la libertad de velocidad y maniobra a los usuarios. Es así que a medida que disminuye el nivel de servicio el nivel de comodidad y facilidad de maniobras dentro de la vía disminuye, siendo el nivel F aquel que representa la ruptura del tráfico vehicular, en el cual los usuarios hacen colas para desplazarse por las vías viéndose forzados a disminuir su velocidad de desplazamiento y muchas veces a detenerse por tiempos considerables.

2.2.4. Accesos a propiedades adyacentes

Se debe verificar si es permitido el acceso de forma directa al área del nuevo desarrollo. Es decir, se analizan las restricciones que puedan existir en las propiedades adyacentes, las cuales puedan impedir el acceso al desarrollo previsto. Estas restricciones pueden ser en el escenario actual o de acuerdo a los usos de suelo previstos de los terrenos aledaños.

Las restricciones para el o los accesos previstos del proyecto se pueden deber a interrupciones con propiedades adyacentes o con los accesos de las mismas. De encontrarse restricciones se debe conversar con los propietarios de manera que se pueda buscar una solución conjunta para el desarrollo de los accesos de manera que beneficie a ambas partes. Por otro lado, de no encontrar restricciones se debe prever el diseño de los accesos tanto de ingreso y salida del nuevo proyecto.

2.2.5. Sistemas de transporte público

Para el estudio del impacto vial de un proyecto previsto es importante el estudio de los sistemas de transporte público que se prevé utilizarán los usuarios del desarrollo. Para lograrlo, se debe realizar un inventario de los medios de transporte público que transitan por el área de estudio o por sus zonas aleda. Las características básicas que deben tomarse en cuenta son: el número de rutas, la capacidad de las unidades ofertadas, la frecuencia del servicio, la ubicación y capacidad de las paradas, el espacio físico de las mismas, etc. Asimismo, se debe de averiguar ante el municipio competente si es que existen planes de implementación de nuevas rutas o nuevos sistemas de transporte.

2.2.6. Estadísticas de accidentes de tránsito

El análisis de las estadísticas de accidentes de tránsito brinda una noción de la situación de la red vial aledaña al proyecto previsto. En caso de que la estadística de accidentes ocurridos sea considerable, se debe analizar las posibles causas, la severidad y el número de lesionados o fallecidos. Esta información servirá para prever los posibles efectos del nuevo proyecto en la incidencia de los accidentes y para desarrollar y ajustar las medidas de mitigación y control de tránsito previstos en el EIV. Además, permitirá sugerir a la entidad competente medidas de prevención (Quintero et al., 2008).

2.2.7. Generación, atracción y distribución de viajes

Generación de viajes

El estudio de generación de viajes es una rama de la ingeniería de transportes que se encarga de estudiar los flujos de viajes dentro de una localidad, entendiendo que estos son los responsables de la generación de tránsito en las vías urbanas. Debido a la complejidad de los flujos de viajes, para analizar la generación de viajes en una

zona es necesario hacer diversas estimaciones tanto para el tráfico propio en los proyectos en la zona como el tráfico pasante o ajeno a los mismos. Por un lado, la generación de viajes considerando el tráfico propio considera aquellos viajes que tienen su origen o destino dentro de los proyectos del área de estudio. Por otro lado, el tráfico ajeno es aquel que considera los viajes que no tienen origen ni destino en el área de estudio, es decir, aquellos viajes que atraviesan la zona generando tránsito vehicular.

Para el estudio de generación de viajes generalmente se utilizan tres procedimientos. Por un lado, se pueden recolectar datos de generación de viajes en la localidad fruto de mediciones anteriores. Por otro lado, se pueden utilizar recomendaciones brindadas por organizaciones y manuales que, en base a una recopilación de datos de generación de viajes anteriores, brindan ecuaciones de correlación para relacionar características del proyecto con su tráfico generado. Adicionalmente, se pueden realizar mediciones en el sitio las cuales resultarán en datos de tráfico generado, los cuales serán analizados mediante modelos de regresión aritméticos o logarítmicos para calcular el tráfico propio y ajeno de un desarrollo.

Atracción de viajes

Se considera que para que se desarrolle un viaje, requiere tener un origen y un destino. De esta manera, por ejemplo, un proyecto inmobiliario usualmente genera viajes, pues el origen de los desplazamientos de los residentes es generalmente el proyecto mismo. El estudio de generación de viajes es muy importante en el análisis de un problema de transporte, pues sirve para analizar el número y las características de los viajes producidos por la construcción de un proyecto. A pesar de esto, se requiere también en ciertos casos conocer los puntos de atracción de viajes que determinan los destinos previstos de los viajes generados por los usuarios del proyecto a desarrollar.

Distribución de viajes

La distribución de viajes permite identificar los flujos del tránsito dentro de la zona de estudio, es decir, permite identificar la dirección que toma un viaje al partir de su origen hasta llegar a su destino. Para poder analizar la distribución de viajes se requiere conocer la capacidad de los medios de transporte que utilizan las personas para desplazarse. La capacidad esperada de un medio de transporte se puede hallar mediante la ecuación N° 3.

$$C_{esperada} = \frac{Optimista + Pesimista + 4 (más probable)}{6} \dots\dots\dots (3)$$

2.3. Análisis de generación de viajes

El crecimiento de una ciudad va estrechamente relacionado con la inversión en infraestructura de uso privado, comercial y residencial. El desarrollo de un proyecto conlleva consigo un impacto en la red vial aledaña al mismo, generando viajes urbanos. De esta manera, en el área de transporte urbano, estos proyectos se conocen como polos generadores de viajes (PGV).

Con el objetivo de reducir el impacto vial generado por los PGV, se tienen distintas definiciones, conceptos y enfoques que analizan el tráfico como un aspecto holístico. El análisis de generación de viajes ayuda a planificar la ciudad de modo que se pueda mejorar el sistema de actividades relacionadas a los proyectos para que dichas actividades sean funcionales y generen un patrón de flujos efectivo entre los usuarios. Es decir, el análisis de generación de viajes busca lograr que el transporte de un usuario sea el más corto y el más rápido posible hacia su destino.

Para lograrlo, se requiere jerarquizar las vías urbanas en vías primarias, secundarias y terciarias (Yévenes, 2015):

En una vía primaria, se busca que se desplacen los usuarios que van de paso, de modo que puedan ir a mayor velocidad y menor roce lateral. Es por esta razón que se recomienda dar preferencia a buses interurbanos, transportes de carga y vehículos livianos.

En una vía secundaria, se busca que el usuario sienta que está pasando de una jerarquía alta hacia una baja en la ciudad. Esto se puede realizar a través de señales y características en el diseño de la vía, de modo que la velocidad de desplazamiento sea menor y su continuidad se vea afectada. Este es el motivo por el cual se recomienda dar preferencia al transporte público y a los vehículos livianos.

La vía terciaria llevará finalmente al usuario a su destino y será la que tenga mayores condiciones de accesibilidad y movilidad. Es decir, en una vía terciaria el volumen de tránsito de vehículos es bajo, motivo por el cual se busca diseñar la vía para el uso de los residentes y peatones. Generalmente, un proyecto residencial se encuentra ubicado en una vía terciaria, garantizando una transición suave hacia los accesos del mismo.

2.3.1. Polos generadores de viajes (PGV)

Un polo generador de viajes es un área urbana de dimensiones o importancia considerables, el cual genera un determinado volumen de viajes en su fase de operación, modificando así las condiciones en las cuales las redes viales adyacentes al polo funcionan (Trip generation manual, 2015). Es por esta razón que se tiene la necesidad de analizar la incidencia los PGV, debido a que tienen un fuerte impacto en el sistema de transporte.

Para evaluar el impacto vial generado debido a la construcción de un PGV a lo largo de las vías urbanas dentro de su área de influencia, se debe conocer en

primer lugar cuanto tráfico se va a generar. El tráfico generado puede ser recolectado directamente de proyectos existentes o pueden ser proyectados mediante mediciones previas.

Para lograr proyectar el tráfico generado de un proyecto se debe tener una variable conocida del proyecto y una ecuación de recurrencia producto de estudios anteriores, llamada ratio unitario de generación de viajes. El ratio unitario de generación de viajes es importante para el análisis del impacto vial, debido a que de tener una correlación inexacta de generación de viajes para los proyectos urbanos, las entidades estatales no poseen información precisa del tráfico generado en una localidad, lo cual a su vez originará que se tomen medidas inadecuadas de gestión y planeamiento urbano que pueden acrecentar el problema de congestamiento en la zona (Hirun,2014).

Los PGV han sido estudiados desde los años 1950. Sin embargo, es a partir de los años 1970 que se estudiaron los PGV de forma sistemática y con respaldo técnico. Dichos estudios estuvieron a cargo de organismos internacionales, en especial por el Institute of Transportation Engineers (ITE), de los Estados Unidos de América.

El ITE inició un programa para recolectar las características de la generación de viajes de distintos usos de suelos. Para lograrlo, partieron del análisis de la literatura disponible, la revisión de estudios no publicados y de la recolección de los resultados de los estudios de impacto vial.

La acumulación de este banco de datos durante décadas ha producido la publicación del Trip Generation Manual, el cual ha sido actualizado regularmente, siendo las publicaciones más recientes las del 2008 y 2012, incluyendo cada vez nuevos usos del suelo y mejorando los análisis y resultados. Otras iniciativas tuvieron el mismo propósito de analizar el tráfico generado de los proyectos. De

esta manera, a nivel internacional, existe una preocupación cada vez más creciente en el estudio de la generación de viajes (Da Silva y Florez, 2007).

2.3.2. Uso de suelo

En el enfoque tradicional de la ingeniería de tránsito se consideraba que las variables principales que influían en el impacto vial eran las magnitudes de las modificaciones, actividades o proyectos realizados alrededor de la infraestructura vial. Por otro lado, el nuevo enfoque de la ingeniería de tránsito indica que los usos de suelo en una localidad tienen incidencia en los flujos de tráfico de la red vial de la misma. En este nuevo enfoque, el uso del suelo urbano tiene una relación interfuncional con el sistema de transporte. De esta manera, la ingeniería de transportes en la actualidad considera tanto las características intrínsecas del proyecto, tales como el uso del suelo, como aquellas extrínsecas pertenecientes a la zona de influencia del mismo.

El “Institute of Transportation Engineers” (ITE) ha desarrollado un listado de los diferentes usos de suelo cuyo impacto vial previsto fue analizado. Se entiende como uso del suelo al fin para el cual se habilita el uso de un terreno, tenga o no un área construida. Es así que, por ejemplo, un proyecto inmobiliario tendrá un uso de suelo residencial, un terreno habilitado para la construcción de tiendas tendrá un uso de suelo comercial, etc.

La importancia del análisis de los usos de suelo radica en que el tráfico automotor es la unión de distintos viajes realizado por personas para llegar de un punto de origen a un punto de llegada. Estas preferencias de movimiento vehicular entonces pueden ser reguladas controlando los usos de suelo tanto de los lugares de origen como de los lugares de destino de los viajes, reduciendo así el tráfico vehicular (Iervasi, 2014). Es así que al analizar los usos de suelo de una localidad se pueden

desarrollar políticas de planeamiento vial urbano que puedan controlar, predecir y prevenir los posibles efectos adversos del tráfico vehicular.

Como se indicó, el uso de suelo tiene influencia en el sistema de transporte, es decir, cuando hay un cambio en el uso del suelo en una localidad, se incrementan los flujos de transporte, tanto público como privado, en la red vial urbana. Si estos incrementos son lo suficientemente considerables como para no ser soportados por la infraestructura vial existente se desarrollan los problemas de congestión y con estos el incremento de accidentes vehiculares y contaminación ambiental. Es por esta razón, que el énfasis puesto anteriormente para el estudio de la circulación del tránsito automotor de las vías urbanas fue re-direccionado hacia la investigación y análisis de los distintos usos de suelo (Sotelo, 2010).

En la presente tesis, se analizará el Impacto Vial que proyectos con tipo de uso de suelo residencial generarán en la red vial urbana para luego contrastarlas con los valores detallados en sus EIV. Es decir, se analizarán proyectos que se encuentran en fase de operación y que tienen un uso de suelo residencial, comparando los resultados de las mediciones de tráfico generado con aquellos previstos antes de su construcción.

2.3.3. Datos de generación de viajes

Se requiere tener datos de la generación de viajes de diversos proyectos en la ciudad, de modo que puedan ser utilizados para evaluar los impactos producidos por el desarrollo tanto de un proyecto en particular, como de zonificaciones y planes de urbanización en general. Además, los datos de generación de viajes para estimar volúmenes de tráfico futuros y brindar recomendaciones para mejorar el sistema de transporte de una localidad.

Los datos de generación de viaje son mediciones numéricas que analizan el número de viajes que van a comenzar o a terminar en cada zona, dentro de un área de estudio (Quintero et al., 2011). Es decir, estos datos miden la cantidad de viajes que comienzan o que terminan en diversos proyectos con similares características. Estos datos medidos son luego relacionados con las particularidades de cada proyecto mediante un análisis de regresión, cuyo propósito es obtener una función sencilla que sea capaz de representar de manera precisa la influencia de las variables de los proyectos.

El análisis de regresión depende del tipo de función que se adecúe mejor a los datos obtenidos. Aquellos análisis más utilizados y aquellos con los mejores coeficientes de correlación producto de la experiencia empírica en las mediciones de tráfico generado son la regresión lineal y la regresión logarítmica.

El ITE, a partir del año 1967, ha desarrollado el “Trip Generation Manual”. Este manual una publicación que reúne una gran cantidad de datos de generación de viaje para distintos tipos de proyectos, pertenecientes a distintos tipos de uso de suelo, diferentes contextos y ubicados en distintas localidades, principalmente en Norteamérica. Este es el motivo por el cual es la guía más completa disponible en la actualidad para el análisis de viajes generados, encontrándose actualmente en su novena edición.

En el caso de Latinoamérica, la cantidad de mediciones realizadas es considerablemente menor y varía en cada país; sin embargo, con el objetivo de unificar los datos de la región, se creó la Red Iberoamericana de Polos Generadores de Viaje, constituida por diversas instituciones académicas y gubernamentales que producen datos, mediciones e investigaciones sobre el tráfico generado por diversos tipos de TGV (Herz, Gallarraga). En el Perú, la única

institución perteneciente a esta red es la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

2.3.4. Mediciones de tráfico generado

El “Trip Generation” contiene un manual para desarrollar las mediciones de tráfico generado por un proyecto, lo cual es especialmente importante cuando no se tiene suficiente data previa, como es el caso del Perú. En dicho manual, se muestra la forma de relacionar los datos medidos con las características del proyecto.

Para lograrlo, se define una variable independiente, la cual es una unidad física y medible que describe un sitio de estudio o PGV. En el caso particular de un proyecto inmobiliario, las particularidades con las cuales se pueden contrastar los datos medidos en campo son, por ejemplo, el número de torres por conjunto residencial, la cantidad de familias que habitan o el número de estacionamientos del proyecto. Estudios previos muestran que la mejor correlación se obtiene con el número de apartamentos del proyecto y con el número de puestos de estacionamientos del mismo (Quintero et al., 2011).

El Trip Generation Manual indica que para el desarrollo de ecuaciones de recurrencia que relacionen el tráfico generado con las características de un proyecto se deben de realizar modelos de regresión usando la base de datos del Trip Generation Manual o mediante datos medidos en campo. A partir de la experiencia obtenida por los profesionales encargados del desarrollo de dicho manual, se tiene que los análisis de regresión que siendo sencillos ofrecen las mejores correlaciones son los modelos aritmético y logarítmico. Dichos modelos ofrecen ecuaciones de correlación que tienen la estructura siguiente:

En donde:

- T: Número de viajes generados
- X: Variable independiente seleccionada
- a, b: parámetros del modelo

Cuando se desea estimar el tráfico generado que será generado por el proyecto en su etapa de operación, se debe proyectar el análisis de regresión al año horizonte. Es decir, se debe considerar el aumento de tráfico que se dará en el año en el cual se desea estimar el impacto vial del proyecto. Esto se hace usando un ratio de crecimiento anual especificado o usando ratios de crecimiento histórico para el área en general. Cabe mencionar que existen herramientas de pronóstico más sofisticadas que incorporan parámetros demográficos y socioeconómicos que podrían ser empleados para desarrollos a gran escala.

Tanto el método de pronóstico como el año horizonte son requerimientos inciertos pues intentan estimar el comportamiento futuro del tráfico generado. Es por esta razón que se requieren analizar distintos escenarios de crecimiento que analicen la evolución de distintos parámetros que influyen en la generación de viajes. Por ejemplo, se puede utilizar la ecuación N° 6 para la estimación del crecimiento vehicular:

$$F = P * (1 + T)^n \dots\dots\dots (6)$$

En donde:

- P: Población Actual
- T: Tasa promedio
- n: Número de años proyectado

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación se ha planteado una metodología que incluya los siguientes pasos: revisión de literatura, selección de los conjuntos residenciales, selección de las variables independientes, selección de método de medición en campo, medición de datos en campo y procesamiento y análisis de información.

3.1. Revisión de la literatura

La revisión de la literatura se realizó en el transcurso de todo el proyecto de investigación. Esta se desarrolló a base de información contenida en libros especializados en los temas de tránsito y planeamiento urbano, publicaciones académicas y tesis universitarias. Por otro lado, se consultaron proyectos de investigación y políticas estatales en otros países tanto en Latinoamérica como en el resto del mundo.

El marco teórico se basó en la obtención de información disponible y relevante a la teoría del tráfico en general. Posteriormente, se revisó literatura referente a la planificación de transporte para posteriormente centrarse en el desarrollo y requerimientos de los estudios de tráfico vial (EIV), tales como análisis de demanda, capacidad de tránsito, niveles de servicio, estudio de viajes y tráfico generado.

En primer lugar, la teoría del tráfico permitió tener un conocimiento general de la rama de la ingeniería del tráfico de acuerdo a definiciones tanto de organismos especializados como de autores independientes especializados en el área de transporte. Esto se realizó para tener las nociones principales del estudio del tráfico y de los problemas que se pueden originar en el mismo, así como de los diversos

campos que competen a la Ingeniería de Tráfico, desde la solución de problemas locales hasta la elaboración de complejos planes de transportes.

En segundo lugar, se desarrolló la revisión de literatura referente a la planificación de transporte. La planificación de transporte es la rama de la Ingeniería del Tráfico que se encarga de la planificación local y global del transporte urbano. De esta manera, es la rama que se encarga de brindar los lineamientos y requerimientos para el desarrollo de los distintos estudios de planificación de tráfico y transporte, dentro de los cuales se enfocó en los estudios de impacto vial.

En tercer lugar, se investigó sobre los estudios de impacto vial, su definición, sus antecedentes, sus etapas y los lineamientos utilizados en otros países del mundo, en Latinoamérica y luego en el Perú. Posteriormente, se centró finalmente en las características de los estudios de impacto vial exigidos por la Municipalidad Metropolitana de Lima.

En cuarto lugar, se revisó la bibliografía referente a los requerimientos para el desarrollo de un estudio de impacto vial (EIV). Dichos requerimientos son aquellos exigidos por la municipalidad y comprenden las definiciones, estudios previos y consideraciones para el desarrollo de un EIV.

Finalmente, se desarrolló la revisión de literatura referente al tráfico generado y las tasas de generación de viajes para distintos usos de suelo. Para esto, se revisaron las consideraciones del Trip Generation Manual y de las normativas vigentes. Estas definiciones nos servirán para hacer el estudio de caso de la presente tesis.

3.2. Selección de la muestra

Para la selección de los conjuntos residenciales se buscó aquellos proyectos relevantes sobre los cuales se tenía a disposición los estudios de impacto vial realizados para los mismos. Se siguieron las recomendaciones que indican que los

proyectos se deben encontrar en distintas zonas de la ciudad de Lima, de modo que se pueda tener una perspectiva general del tráfico generado por proyectos inmobiliarios que pueda ser representativa para toda la ciudad.

De esta manera, todos los proyectos seleccionados cuentan con un acceso controlado, lo cual facilitó la toma de datos al medir la cantidad de vehículos que ingresan y salen del conjunto residencial. Además, su uso es exclusivamente residencial, ya que de caso contrario las tasas de generación de viajes variarían considerablemente (Trip generation manual, 2015).

Asimismo, se escogieron al menos tres proyectos en los cuales hacer las mediciones de tráfico generado. Esto debido a que esta es la muestra mínima que permite desarrollar los modelos agregados recomendados por el ITE (Trip Generation Manual, 2015).

Los proyectos que finalmente fueron escogidos para el desarrollo de la presente tesis fueron los siguientes:

Tabla 1: Ubicación de los proyectos seleccionados

Proyecto Nº:	1	2	3	4
Ubicación:	Av. José Nicolás Rodrigo, Santiago de Surco	Puente Piedra	Av. Jorge Chávez, Santiago de Surco	Urb. Salamanca, Ate

Posteriormente se revisó los EIV de cada proyecto para que se conozca la información de las variables independientes, tales como número de estacionamientos, cantidad de viviendas, entre otros. Estas variables fueron contrastadas en campo y nos sirvieron para relacionar las características de los proyectos inmobiliarios con el tráfico generado de los mismos.

Por otro lado, se consideraron las horas punta consideradas en los EIV de cada proyecto para contrastar los valores que fueron medidos en campo con los valores que fueron considerados en los EIV de los mismos. Es decir, no se desarrollaron

mediciones de aforo a lo largo del día para determinar la hora punta real para cada proyecto inmobiliario, pues el motivo del trabajo de investigación es corroborar el tráfico generado real de los proyectos con aquellos que fueron considerados en su EIV. De esta manera, se pudieron para brindar recomendaciones para el desarrollo de los mismos en la ciudad de Lima.

3.3. Selección de variables

Una vez seleccionada la muestra sobre la cual se desarrolló el estudio de tráfico generado por los proyectos inmobiliarios, se seleccionó las variables independientes de los conjuntos residenciales que fueron analizados. Las variables independientes son aquellas características de los proyectos estudiados que fueron relacionadas mediante un estudio de regresión con el tráfico generado que un desarrollo genera en su etapa de operación.

En la presente tesis se investigó el impacto que tienen las características más utilizadas para el estudio de tráfico generado, tales como el número de viviendas y el número de estacionamientos, así como de otras características adicionales cuyo uso en el estudio de tráfico generado no es usual. Esto se desarrolló con el propósito de tener una mayor información que permita comparar resultados de diversas correlaciones de variables independientes. De esta manera, se buscó tener una mejor perspectiva de la influencia que tienen diversas características de los desarrollos en el impacto vial de los mismos.

Es así que se analizaron los datos de los proyectos considerados en sus respectivos EIV así como características de los mismos medidas en campo o deducidas. Cabe mencionar que las variables independientes a analizar deben de ser universales, de manera que puedan sean halladas para cualquier proyecto inmobiliario. Las variables independientes adicionales que fueron consideradas se detallan a continuación.

Por una parte, se consideró el número de estacionamientos del proyecto. Dicho parámetro es uno de los más usados en el estudio de generación de los viajes, siendo considerado por muchas normas como el parámetro del cual depende la ecuación de recurrencia mediante la cual se prevé el tráfico generado por un proyecto. Esto es debido a que el número de estacionamientos previsto para un desarrollo tiene una relación directa con la cantidad de vehículos particulares que, en total, poseen los habitantes, lo cual a su vez influye considerablemente al tráfico generado del proyecto.

Por otra parte, se consideró el número de viviendas del proyecto. Similarmente al número de estacionamientos, el número de viviendas o departamentos es una de las variables más utilizadas para el estudio de la generación de viajes. Esto debido a que el número de viviendas está relacionado al número de familias para el cual se proyecta la construcción de un proyecto, lo cual a su vez tiene relación con las demandas de movilidad y la cantidad de vehículos particulares que tiene un desarrollo.

Asimismo, se analizó el número de habitantes del proyecto. El número de habitantes se refiere al número máximo de residentes para el cual se diseñó el desarrollo. Este valor fue calculado teniendo en cuenta el número de habitaciones de todos los departamentos ofertados en cada proyecto inmobiliario. De esta manera se consideró que todas las habitaciones se encuentran ocupadas por una persona y que la habitación principal (matrimonial) se encuentra ocupada por dos personas.

Adicionalmente, se consideró el área total del terreno de los desarrollos estudiados. El área del terreno se considera aquella área sobre el cual se erigieron los proyectos estudiados cuyo tráfico generado se puede hallar mediante mediciones en campo.

Finalmente, se consideró el área construida total del proyecto. El área construida es una variable que toma en cuenta toda el área que fue proyectada para ser construida en el proyecto. De esta manera, incluyen el área total construida de las torres de departamentos y de las áreas comunes.

Se revisaron distintas publicaciones y estudios realizados sobre la generación de tráfico en conjuntos residenciales y también las relaciones contenidas en el Trip Generation Manual. Es así que se observó que las mejores relaciones en los análisis de regresión, es decir, aquellas con mejores coeficientes de correlación, son aquellas que consideran como variables independientes de los proyectos residenciales el número de estacionamientos y el número de apartamentos de cada proyecto, siendo las regresiones lineales las que dan mejores relaciones (Quintero et al., 2011).

3.4. Medición de datos en campo

De acuerdo a los requerimientos del estudio de generación de viajes se pueden requerir una o más mediciones de tráfico generado dentro de un proyecto. En general, a mayor información disponible mediante datos previos de generación de viaje en proyectos con contextos similares a aquel que se desea estudiar, menor la cantidad de mediciones en campo que deben realizarse para fidelizar la información. Para la selección del método de medición en campo se revisaron los lineamientos contenidos en el Trip Generation Manual para la conducción de estudios locales de generación de viajes.

Estos lineamientos recomiendan que para un estudio de generación de viajes se deben estudiar al menos tres sitios, de preferencia cinco, para poder establecer una relación de tasas de generación de viajes. Por otro lado, recomiendan analizar al menos tres sitios para validar las tasas de generación de viajes que muestra el Trip Generation Manual, de manera que dichas tasas puedan ser utilizadas en la

localidad donde los sitios se encuentran ubicados. En contraste, para combinar los datos de generación locales con datos de generación del Trip Generation se deben desarrollar estudios locales en al menos dos sitios. Por último, se requiere analizar al menos un sitio para presentar datos al Institute of Transportation Engineers (ITE), responsable del desarrollo del Trip Generation Manual.

En el caso del presente estudio, se buscó establecer una relación de tasas de generación de viajes, motivo por el cual se requirieron al menos tres sitios. De esta manera, al haber escogido cuatro sitios detallados anteriormente se siguió la primera recomendación para el desarrollo de un estudio local.

Adicionalmente, se recomienda que el tráfico generado se debe medir, de ser posible, para un periodo de siete días, para determinar los picos durante los días de semana y durante el fin de semana. Para el presente estudio, se seleccionaron cinco días de medición, debido a que se requiere tener datos de tráfico generado durante los días de semana, pues en estos días se encuentran mayores tasas de congestión.

La medición se realizó mediante conteos manuales de tráfico únicamente en los accesos de los mismos, esto debido a que las variables independientes analizadas son intrínsecas a cada proyecto, no a sus avenidas aledañas. Se contaron únicamente los vehículos privados, sean autos, taxis o las motocicletas conocidas como "mototaxis", que entren o salgan dentro del área destinada al proyecto residencial. Por esta razón, se contaron también aquellos vehículos que se estacionen en los estacionamientos tanto internos como externos con la finalidad de dejar o recoger personas que vayan a realizar alguna actividad dentro del proyecto.

No se utilizaron contadores automáticos ni se midió el tráfico generado en las vías públicas que no contengan los accesos a los proyectos pues se requiere únicamente analizar el tráfico generado en cada proyecto, no en las avenidas que se encuentren a su alrededor. Además, se encontró que la cantidad de tráfico

generado por cada conjunto residencial no era muy elevada, por lo que un conteo manual nos brindó un resultado confiable.

Para cada medición se debía medir por un lado aquellos viajes cuyo punto de atracción fue el proyecto analizado. Es decir, aquellos viajes que tenían como destino final el desarrollo estudiado. En nuestro caso, resultó la suma de los vehículos que entran por los accesos del condominio, aquellos que ingresan por los estacionamientos externos y además aquellos que ofrecen servicio de taxi y que dejan pasajeros en el proyecto.

Por otro lado, se requería registrar la suma de los viajes cuyo punto de origen es el proyecto analizado. Es decir, en nuestro caso, la suma de los vehículos que salen de los accesos del condominio, aquellos que salen de los estacionamientos externos y aquellos taxis que recogen pasajeros desde el proyecto.

Para el caso de estudio de la presente investigación, se observó que, para cada proyecto, la configuración de los accesos y estacionamientos tanto internos como externos varían. Para poder obtener una representación de los proyectos, sus accesos y sus flujos de viajes, se desarrollaron croquis de los proyectos. De esta manera, dentro de los flujos de viajes, se representaron los viajes que ingresan a los estacionamientos internos del proyecto, aquellos que salen de los estacionamientos internos, aquellos viajes que ingresan a los estacionamientos internos, los viajes de taxi que dejan pasajeros en el proyecto, aquellos que salen de los estacionamientos externos y los viajes de taxi que recogen pasajeros.

El proyecto 1 se encuentra ubicado adyacente a una vía secundaria. Dicha vía no cuenta con vehículos de transporte público por lo que el desplazamiento vehicular se hace mediante automóviles privados o aquellos que brindan servicio de taxi. Cuenta con 2 accesos vehiculares y un acceso peatonal. Los estacionamientos externos se encuentran localizados alrededor del proyecto. El croquis del proyecto 1 con los datos a registrarse para su estudio de sitio se muestra en la figura 3.

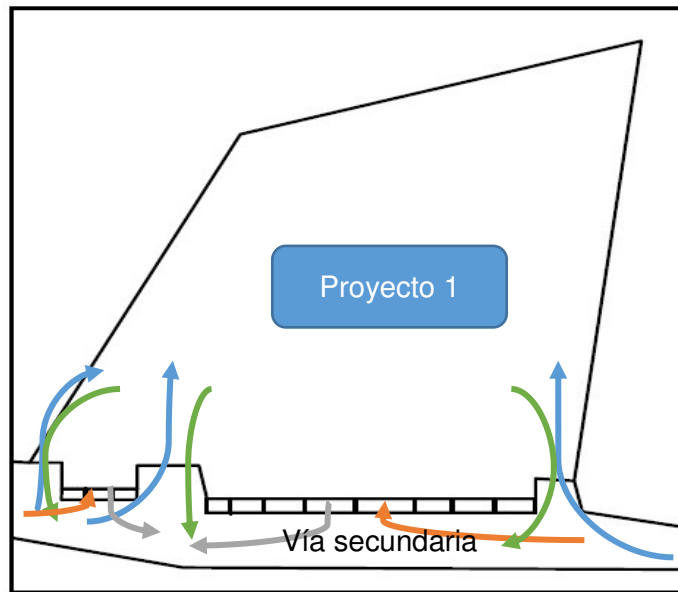


Figura 3. Flujos de tráfico generado: Proyecto 1

Por otra parte, el proyecto 2 se encuentra ubicado adyacente a dos vías, ambas secundarias. Dicha vía no cuenta con vehículos de transporte público ni un nivel de servicio elevado, por lo que el desplazamiento vehicular se hace principalmente mediante automóviles privados o las motocicletas conocidas como “mototaxis”. Por otro lado, se cuentan con 1 acceso vehicular que a su vez sirve de acceso peatonal. Los estacionamientos externos se encuentran localizados alrededor del proyecto aledaños a la vía secundaria. El croquis del proyecto 2 con los datos a registrarse para su estudio de sitio se muestra en la figura 4.

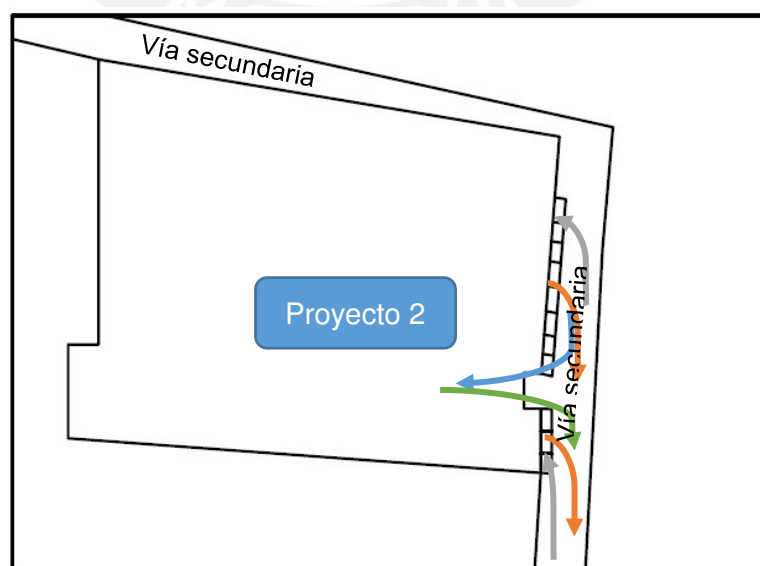


Figura 4. Flujos de tráfico generado: Proyecto 2

El proyecto 3 se encuentra ubicado adyacente a dos vías, una principal y otra una vía secundaria. La vía principal cuenta con diversas empresas que brindan servicio de transporte público; sin embargo, para la presente tesis solo se registrarán los viajes que generan los vehículos privados y aquellos que ofrecen el servicio de taxi. Por otro lado, se cuentan con 1 acceso vehicular que a su vez sirve de acceso peatonal. Adicionalmente, varios estacionamientos internos de uso exclusivo para los residentes tienen accesos directos a las vías. Es por esta razón que considerarán dichos estacionamientos como estacionamientos externos. El croquis del proyecto 3 con los datos a registrarse para su estudio de sitio se muestra en la figura 5.



Figura 5. Flujos de tráfico generado: Proyecto 3

Por último, el proyecto 4 se encuentra rodeado de vías secundarias. Existen dos accesos vehiculares, uno de los cuales también es acceso peatonal. Adicionalmente, varios estacionamientos internos de uso exclusivo para los

residentes tienen accesos directos a las vías, este es el caso de los estacionamientos ubicados en la parte posterior de la entrada principal del desarrollo. Es por esta razón que considerarán dichos estacionamientos como estacionamientos externos. El croquis del proyecto 4 con los datos a registrarse para su estudio de sitio se muestra en la figura 6.

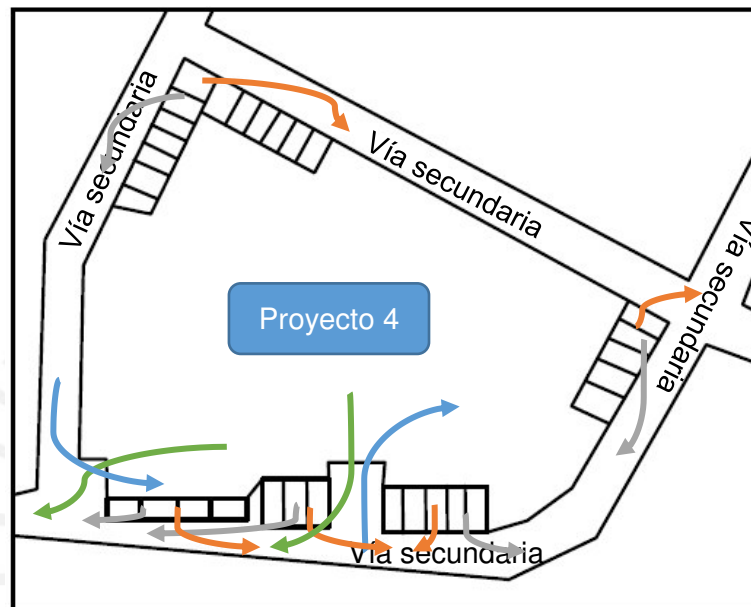


Figura 6. Flujos de tráfico generado: Proyecto 4

Una vez analizados los flujos de viaje para cada proyecto seleccionado. Se realizaron los conteos manuales durante cinco días laborables, debido a que los datos se alteran durante feriados y fines de semana. Las mediciones se realizaron durante las horas punta indicadas para cada proyecto, valores que luego fueron recolectados y analizados en conjunto mediante un análisis de regresión lineal que relacionó cada variable independiente seleccionada con el tráfico generado de cada proyecto.

3.5. Digitalización y procesamiento de la información

Posterior a la toma de datos en campo, se realizó la sistematización y procesamiento de la información, es decir, se desarrolló la transcripción de los datos de aforos obtenidos en una hoja de cálculo, para su procesamiento. En principio, se recopilaron y analizaron los datos obtenidos de los aforos medidos en los proyectos. Posteriormente, se desarrolló un análisis de regresión que relacionó el tráfico generado de los proyectos con sus variables independientes. Finalmente, se desarrolló un análisis comparativo entre los distintos tipos de regresión para las distintas variables independientes y se compararon con los valores obtenidos en los EIV de los proyectos. Esto para poder brindar recomendaciones que puedan ser aplicadas en la normativa que exija los lineamientos a seguir para un estudio de generación de viajes en la ciudad de Lima.

Análisis de tráfico generado

Para el análisis del tráfico generado, se sumaron por un lado los viajes cuyo punto de atracción fue el proyecto analizado, es decir, aquellos viajes que tenían como destino final el desarrollo estudiado. En nuestro caso, resulta la suma de los vehículos que entran por los accesos del condominio, aquellos que ingresan por los estacionamientos externos y además aquellos que ofrecen servicio de taxi y que dejan pasajeros en el proyecto. Por otro lado, se sumaron los viajes cuyo punto de origen es el proyecto analizado, es decir, en nuestro caso, la suma de los vehículos que salen de los accesos del condominio, aquellos que salen de los estacionamientos externos y además aquellos taxis que recogen pasajeros del condominio.

Análisis de regresión

Para el procesamiento de la información, se desarrolló un análisis de regresión. Se usó para dicho análisis las recomendaciones del Trip Generation Manual basadas

en los casos de estudio recolectados por el mismo. Entre las observaciones brindadas por dicho manual, se indica que las regresiones que, en general, dan una mejor correlación para la determinación de tasas de generación de viaje son la regresión lineal y logarítmica.

Para el análisis de regresión lineal, se analizó si es que existe una relación aritmética entre las variables independientes de los proyectos con el tráfico generado de los mismos. Este es el motivo por el cual se desarrolla análisis independientes para cada característica del proyecto cuyo impacto en la red vial se desea analizar.

Para lograrlo, se utilizaron distintas ecuaciones que correlacionan las distintas mediciones realizadas. Se obtuvo en principio la tasa promedio por unidad de área; posteriormente, se analizó la desviación estándar; finalmente, aplicando el principio de mínimos cuadrados, se obtuvo la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación. Las ecuaciones empleadas se muestran a continuación, donde n es el número de mediciones, X es la variable independiente y Y son los valores de tráfico generado:

Tasa promedio por unidad de área

—

Desviación estándar

$$\sqrt{\left(\frac{\quad}{\quad}\right)}$$

Ecuación de regresión

Donde:

$$a = \frac{\Sigma Xi^2 * \Sigma Yi - \Sigma Xi * \Sigma (Xi \cdot Yi)}{n * \Sigma Xi^2 - (\Sigma Xi)^2} \dots\dots\dots (10)$$

$$b = \frac{n * \Sigma XiYi - \Sigma Yi * \Sigma Xi}{n * \Sigma Xi^2 - (\Sigma Xi)^2} \dots\dots\dots (11)$$

Coefficiente de correlación:

$$R = \frac{\Sigma((Yi - \hat{Y})(Xi - \hat{X}))}{\sqrt{(\Sigma((Yi - \hat{Y})^2) * (\Sigma(Xi - \hat{X})^2))}} \dots\dots\dots (12)$$

Para el análisis de regresión logarítmico, se analizó si es que existe una relación logarítmica entre las variables independientes de los proyectos con el tráfico generado de los mismos. Este es el motivo por el cual se desarrolló análisis independientes para cada característica del proyecto cuyo impacto en la red vial se deseaba analizar. De esta manera, se utilizaron distintas ecuaciones que correlacionaron las distintas mediciones realizadas. Las ecuaciones empleadas se muestran a continuación, donde n es el número de mediciones, X es la variable independiente y Y son los valores de tráfico generado.

Ecuación de regresión

$$\ln Y = \ln a + b * \ln X \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

$$\ln a = (\Sigma \ln Y - b * \Sigma \ln X) / n \dots\dots\dots (134)$$

$$b = \frac{\Sigma \ln X * \ln Y - \frac{\Sigma \ln X * \Sigma \ln Y}{n}}{\Sigma \ln X^2 - \frac{(\Sigma \ln X)^2}{n}} \dots\dots\dots (15)$$

Coeficiente de correlación:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}}$$

Con el análisis de regresión tanto lineal como logarítmico se analizó en por un lado cuales son las variables independientes del proyecto que tienen una mayor influencia en el tráfico generado del mismo. Por otro lado, se estudiaron también cuales son los resultados que se obtendrían en el análisis de regresión si es que solo se consideraría el tráfico generado debido a los vehículos privados que ingresan a los estacionamientos internos de los proyectos.

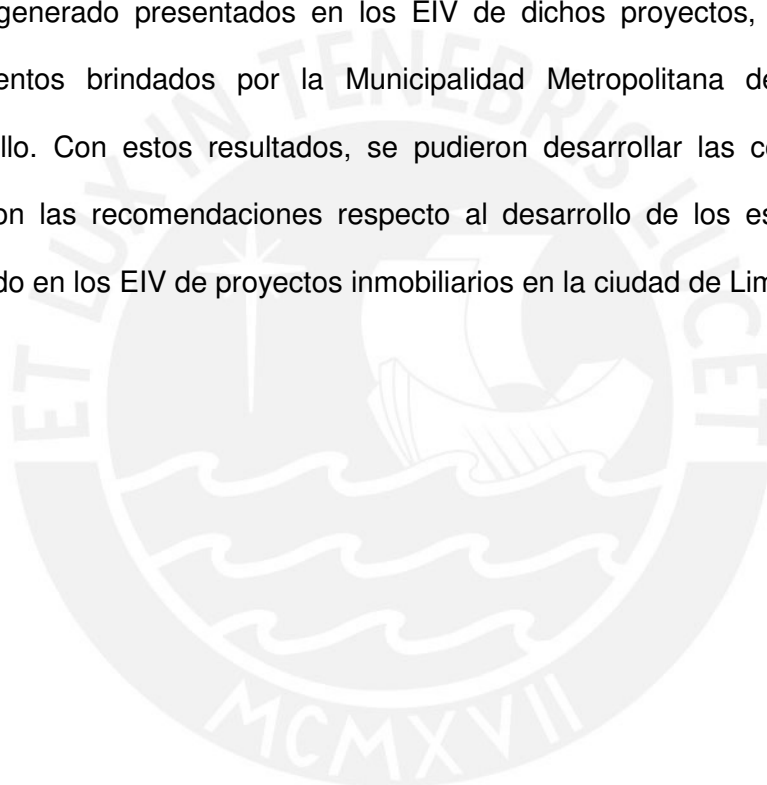
Adicionalmente, se analizaron los resultados obtenidos del análisis de regresión al considerar únicamente proyectos destinados a niveles socioeconómicos similares, esto para estimar la influencia del nivel socioeconómico en el tráfico generado de los proyectos. Para esto, se dedujeron, a partir de los precios y áreas de departamentos ofertados al momento de su construcción, aquellos proyectos con contextos similares.

Análisis comparativo

Una vez desarrollados los análisis de regresión para diversos escenarios se verificaron cuáles son aquellas relaciones que ofrecen un mejor ajuste de acuerdo a las mediciones obtenidas en campo. Para determinar la relación que estime con mejor ajuste el tráfico generado de un proyecto se analizó el coeficiente de correlación de cada tipo de análisis de regresión desarrollado. Podemos interpretar este valor como el porcentaje por el cual nuestros resultados de tráfico generado dependen de la variable independiente seleccionada.

Una vez encontradas dichas variables, se determinó cual es la mejor ecuación de correlación que estime el tráfico generado de los proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima Metropolitana, sean esta fruto del análisis de regresión lineal o logarítmico.

Finalmente, se verificaron los valores utilizados en los EIV de los proyectos con aquellos obtenidos en el estudio de medición de datos para ver si estos concuerdan. Esto se hizo con el objetivo de analizar la validez de los estudios de tráfico generado presentados en los EIV de dichos proyectos, así como de los lineamientos brindados por la Municipalidad Metropolitana de Lima para su desarrollo. Con estos resultados, se pudieron desarrollar las conclusiones y se brindaron las recomendaciones respecto al desarrollo de los estudios de tráfico generado en los EIV de proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima.



CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis de Tráfico generado

4.1.1. Características de los proyectos

Siguiendo las recomendaciones indicadas en el Capítulo 3 respecto a la selección de la muestra para un estudio de campo de generación de viajes, se seleccionaron cuatro proyectos inmobiliarios que servirán como muestra para la representación del tráfico generado de distintos desarrollos residenciales en toda la ciudad de Lima. Es por esta razón que se buscó que los proyectos pertenezcan a distintos contextos sociales, urbanos y económicos. La figura 3 muestra la ubicación de los proyectos seleccionados.

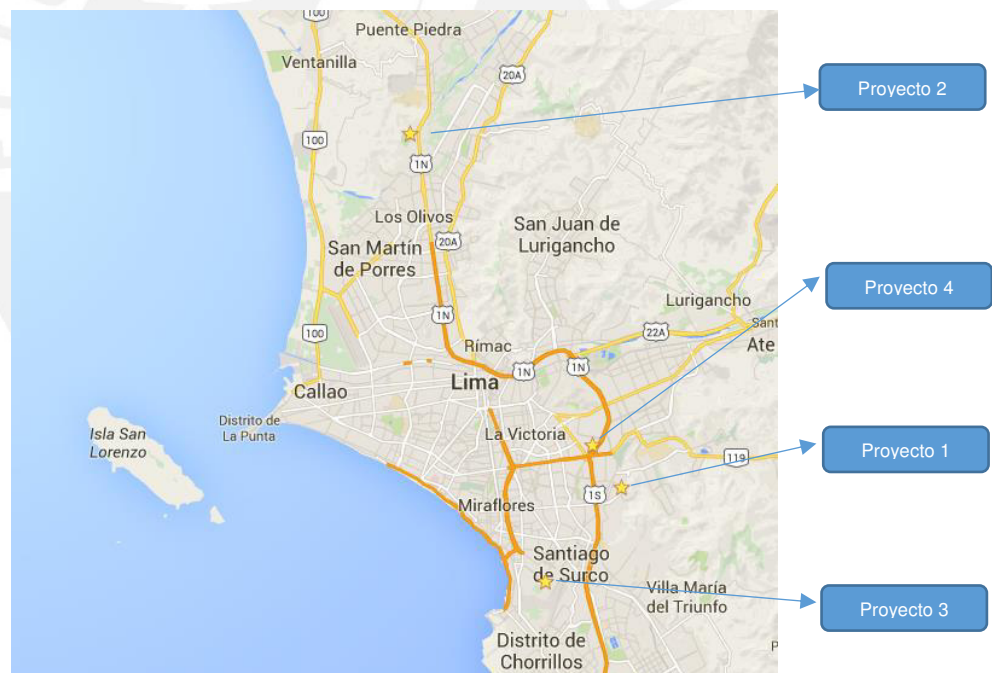


Figura 7. Ubicación de los proyectos seleccionados
Fuente: Google Maps

El proyecto 1 corresponde a un conjunto residencial destinado a sectores socioeconómicos A y B, con variedad de áreas comunes. El área total del lote consiste en 9,978 m² y el área construida asciende a 38,574.2 m². El desarrollo cuenta con 11 torres de 6 pisos cada uno, entre los cuales se distribuyen 156

departamentos con áreas de 134 m² a 262 m² y con 352 estacionamientos en total, lo que nos da un ratio de 2.25 estacionamientos por vivienda.

El proyecto 2 corresponde a un condominio destinado a los sectores socioeconómicos C y D. El área total del lote consiste en 14,410.3 m² y el área construida asciende a 27,017.2 m². El desarrollo cuenta con 10 torres de 5 pisos cada uno, entre los cuales se distribuyen 440 departamentos de 3 dormitorios con áreas de 52 m² a 63 m² y con 148 estacionamientos, lo que nos da un ratio de 2.25 estacionamientos por vivienda, lo cual nos da un ratio de 0.34 estacionamientos por vivienda.

El proyecto 3 es una residencial destinada a los sectores socioeconómicos B y C. El área total del lote consiste en 5,980.9 m². El desarrollo cuenta con 7 torres de 8 pisos cada uno, entre los cuales se distribuyen 224 departamentos de 2 y 3 dormitorios de 75 m² a 98 m² de área total y 226 estacionamientos, con lo cual se tiene un ratio de aproximadamente 1 estacionamiento por vivienda.

El proyecto 4 es un condominio destinado principalmente al sector socioeconómico C. El área total del lote consiste en 4,404 m² y el área construida asciende a 16,600 m². El desarrollo cuenta con 3 torres de 8 pisos cada uno, entre los cuales se distribuyen 168 departamentos flat y dúplex con áreas que van de 68 m² a 112 m², asimismo, cuenta con 106 estacionamientos, con lo que se obtiene un ratio de 0.63 estacionamientos por vivienda.

La Tabla 2 muestra el resumen de los datos de los proyectos seleccionados, de acuerdo a los valores considerados en sus EIV. Se observa que la hora punta consideradas en los proyectos es de 8:00-9:00 horas a excepción del proyecto 1, en el cual la hora punta considerada es de 18:00-19:00 horas.

Tabla 2. Resumen de los datos de los proyectos seleccionados considerados en su EIV

Proyecto N°:	1	2	3	4
Ubicación:	Av. José Nicolás Rodrigo, Santiago de Surco	Puente Piedra	Av. Jorge Chávez, Santiago de Surco	Urb. Salamanca, Ate
Área del lote (m ²):	9,978.26	14,410.28	5,980.88	4,403.99
Número de viviendas	156	440	224	168
Cantidad de estacionamientos:	352	148	226	106
Tráfico generado considerado en el EIV:	74 en hora punta	148 en hora punta	57 en hora punta	106 en hora punta
Hora punta:	18:00-19:00 horas	8:00-9:00 horas	8:00-9:00 horas	8:00-9:00 horas

4.1.2. Mediciones de aforos

Una vez seleccionados los proyectos inmobiliarios, se realizó las mediciones de tráfico generado durante cinco días laborables para cada proyecto, la medición se realizó de forma manual en las horas punta consideradas en los EIV de los proyectos, para así poder comparar aquellos que fueron considerados en los mismos con los valores reales de tráfico generado hallados en el trabajo de campo.

Se recolectaron para cada medición 6 datos. Por un lado, se midió entrada y salida de vehículos en los accesos del proyecto. Por otro lado, se registraron los vehículos que prestan servicio de taxis o las motocicletas conocidas como “mototaxis” que recogen y dejan pasajeros en el desarrollo. Adicionalmente, se midieron la cantidad de vehículos que entraban y salían de los estacionamientos externos de los proyectos. La Tabla 3 muestra los resultados de las mediciones realizadas en cada uno de los proyectos seleccionados:

Tabla 3. Mediciones de tráfico generado por proyecto

MEDICIONES	ACCESOS		TAXIS		ESTACIONAMIENTOS EXTERNOS	
	Fecha	entran	salen	dejan pasajeros	recogen pasajeros	entran
Proyecto 1 - 18:00 a 17:00						
12-Nov	39	17	8	1	20	15
17-Nov	43	13	13	2	23	15
19-Nov	35	22	15	1	22	13
23-Nov	47	20	10	3	18	14
25-Nov	36	18	18	2	18	16
Proyecto 2 - 8:00 a 9:00						
26-Nov	2	14	7	18	3	3
14-Dic	3	17	9	16	4	3
17-Dic	1	13	5	20	4	4
21-Ene	2	14	6	15	2	4
22-Ene	3	15	7	16	3	3
Proyecto 3 - 8:00 a 9:00						
06-Nov	2	23	0	3	3	3
10-Nov	2	21	1	2	1	1
13-Nov	3	18	2	3	2	4
19-Nov	3	17	0	3	4	5
23-Nov	1	20	0	2	2	5
Proyecto 4 - 8:00 a 9:00						
05-Nov	1	15	2	0	4	7
09-Nov	2	18	1	0	3	9
16-Nov	2	14	3	0	5	6
20-Nov	3	12	6	2	6	8
24-Nov	3	16	5	1	5	3

A partir de las mediciones realizadas se pueden hacer las siguientes observaciones. En primer lugar, las mediciones de los accesos incluyen tanto los ingresos vehiculares principales del proyecto, como aquellas entradas o salidas de automóviles de los estacionamientos ubicados dentro del condominio con acceso privado (puertas automáticas), como es el caso de los proyectos 3 y 4.

En segundo lugar, en el caso de las mediciones de viajes realizados por taxis y aquellos medidos en los estacionamientos externos, se consideraron únicamente aquellos cuyos pasajeros tenían como destino u origen el proyecto estudiado, esto para evitar tergiversaciones en los datos pues se quiere considerar únicamente el

impacto que tienen los dichos proyectos en el tráfico generado de la zona, no de aquellos viajes que tienen como destino u origen otros desarrollos residenciales o comerciales ubicados en los alrededores.

En tercer lugar, en el caso del proyecto 2, el transporte no privado de uso frecuente son los “moto taxis”, motivo por el cual estos fueron considerados en las mediciones, al ser considerados por el Trip Generation Manual como vehículos motorizados.

En cuarto lugar, el proyecto 4 se encuentra en una avenida no principal, motivo por el cual no existe una fuerte influencia de taxis en el tráfico generado, pues estos no suelen transitar por la avenida adyacente al proyecto.

Finalmente, se observa que el proyecto 1 es el único que tiene hora punta en la noche, motivo por el cual las mediciones de entradas de vehículos a sus accesos son mayores que las salidas de los mismos.

4.1.3. Tráfico generado de los proyectos

Posteriormente se procede a desarrollar las mediciones de tráfico generado para cada día medido y para cada proyecto analizado. Se tiene por un lado la suma de los viajes cuyo punto de atracción fue el proyecto analizado, es decir, aquellos viajes que tenían como destino final el desarrollo estudiado. En nuestro caso, resulta la suma de los vehículos que entran por los accesos del condominio, aquellos que ingresan por los estacionamientos externos y además aquellos que ofrecen servicio de taxi y que dejan pasajeros en el proyecto.

Por otro lado, se tiene la suma de los viajes cuyo punto de origen es el proyecto analizado, es decir, en nuestro caso, la suma de los vehículos que salen de los accesos del condominio, aquellos que salen de los estacionamientos externos y además aquellos taxis que recogen pasajeros del condominio. La Tabla 4 resume tanto los viajes atraídos por los proyectos como aquellos originados en los

proyectos, siendo la suma de ambos el tráfico generado en cada medición realizada.

Tabla 4. Tráfico generado por los proyectos

	Entran	Salen	Tráfico generado
Proyecto 1	67	33	100
	79	30	109
	72	36	108
	75	37	112
	72	36	108
Proyecto 2	12	35	47
	16	36	52
	10	37	47
	10	33	43
	13	34	47
Proyecto 3	5	29	34
	4	24	28
	7	25	32
	7	25	32
	3	27	30
Proyecto 4	7	22	29
	6	27	33
	10	20	30
	15	22	37
	13	20	33

4.1.4. Variables independientes analizadas

Como se indicó, las variables independientes son aquellas características intrínsecas de los proyectos sobre las cuales se intentará deducir correlaciones con el tráfico generado de los mismos. De acuerdo al Trip Generation Manual, las variables independientes de los proyectos que muestran una mejor correlación con el tráfico generado de los mismos son el número de viviendas y el número de estacionamientos. Para propósitos de la presente tesis también se abordarán otras variables independientes, de manera que se puedan comparar y determinar cuáles son aquellas variables más representativas (Trip Generation Manual, 2015).

De esta manera se analizarán como variables independientes las siguientes características del proyecto: El número de viviendas (departamentos) del proyecto, el número de estacionamientos del proyecto, el área total del terreno en el cual se encuentra ubicado el proyecto, el área total construida del proyecto y el número de habitantes para los cuales fue diseñado el proyecto.

Una vez que se tienen los datos de tráfico generado, se comparan con las variables independientes seleccionadas para los proyectos analizados, esto para iniciar el análisis de regresión. La Tabla 5 muestra los datos de las variables de los proyectos con los resultados de tráfico generado para cada medición.

Tabla 5. Tráfico generado y variables independientes de cada proyecto

Conjunto Residencial	Tráfico Generado (Y)	Número de viviendas (X1)	Número de estacionamientos (X2)	Área total del terreno (m ²) (X3)	Área construida (m ²) (X4)	Número de habitantes (X5)
Proyecto 1	100	156	352	9,978.26	38,574	624
	109	156	352	9,978.26	38,574	624
	108	156	352	9,978.26	38,574	624
	112	156	352	9,978.26	38,574	624
	108	156	352	9,978.26	38,574	624
Proyecto 2	47	440	148	14,410.28	27,017.18	1,320
	52	440	148	14,410.28	27,017.18	1,320
	47	440	148	14,410.28	27,017.18	1,320
	43	440	148	14,410.28	27,017.18	1,320
	47	440	148	14,410.28	27,017.18	1,320
Proyecto 3	34	224	226	5,980.88	<u>35,847</u>	672
	28	224	226	5,980.88	<u>35,847</u>	672
	32	224	226	5,980.88	<u>35,847</u>	672
	32	224	226	5,980.88	<u>35,847</u>	672
	30	224	226	5,980.88	<u>35,847</u>	672
Proyecto 4	29	168	106	4,403.99	16,600	504
	33	168	106	4,403.99	16,600	504
	30	168	106	4,403.99	16,600	504
	37	168	106	4,403.99	16,600	504
	33	168	106	4,403.99	16,600	504

Podemos observar que, al tener 5 días de medición de aforos, se tienen 5 filas para cada proyecto, mientras que los valores de sus variables independientes permanecen constantes. Esto debido a que las variables independientes son intrínsecas al proyecto, no al tráfico generado en los días de estudio.

Por otro lado, podemos hallar los ratios unitarios de tráfico generado por variable independiente. Es decir, podemos calcular la tasa de vehículos que generan viajes en la hora punta de los proyectos respecto a diferentes características de los mismos; esto para tener una idea de la relación geométrica que tienen ambos. La tabla 6 muestra la relación entre el tráfico generado con las variables independientes de los proyectos.

Tabla 6. Ratios de generación de viajes por variable independiente de los proyectos

Conjunto Residencial	Número de vehículos/hora por vivienda (Z=Y/X1)	Número de vehículos/hora por estacionamientos (Z=Y/X2)	Número de vehículos/hora por hectárea de terreno (Z=Y/X3)	Número de vehículos/hora por hectárea construida (Z=Y/X4)	Número de vehículos/hora por número de habitantes (Z=Y/X5)
Proyecto 1	0.64	0.28	100.22	25.92	0.16
	0.70	0.31	109.24	28.26	0.17
	0.69	0.31	108.24	28.00	0.17
	0.72	0.32	112.24	29.03	0.18
	0.69	0.31	108.24	28.00	0.17
Proyecto 2	0.11	0.32	32.62	17.40	0.04
	0.12	0.35	36.09	19.25	0.04
	0.11	0.32	32.62	17.40	0.04
	0.10	0.29	29.84	15.92	0.03
	0.11	0.32	32.62	17.40	0.04
Proyecto 3	0.15	0.15	56.85	9.48	0.05
	0.13	0.12	46.82	7.81	0.04
	0.14	0.14	53.50	8.93	0.05
	0.14	0.14	53.50	8.93	0.05
	0.13	0.13	50.16	8.37	0.04
Proyecto 4	0.17	0.27	65.85	17.47	0.06
	0.20	0.31	74.93	19.88	0.07
	0.18	0.28	68.12	18.07	0.06
	0.22	0.35	84.01	22.29	0.07
	0.20	0.31	74.93	19.88	0.07

Adicionalmente, podemos calcular el tráfico generado promedio y la desviación estándar de las 5 mediciones realizadas para cada proyecto. Así como los ratios promedios hallados para cada variable independiente. Los resultados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Resumen de datos de tráfico generado

Conjunto Residencial	Tráfico generado promedio	Desviación estándar	Número de vehículos/hora por vivienda (Z=Y/X1)	Número de vehículos/hora por estacionamientos (Z=Y/X2)	Número de vehículos/hora por hectárea de terreno (Z=Y/X3)	Número de vehículos/hora por hectárea construida (Z=Y/X4)	Número de vehículos/hora por número de habitantes (Z=Y/X5)
Proyecto 1	107.4	4.45	0.69	0.31	107.63	27.84	0.17
Proyecto 2	47.2	3.19	0.11	0.32	32.75	17.47	0.04
Proyecto 3	31.2	2.28	0.14	0.14	52.17	8.70	0.05
Proyecto 4	32.4	3.13	0.19	0.31	73.57	19.52	0.06
PROMEDIO	54.55	3.26	0.24	0.26	60.41	18.89	0.05

Cabe mencionar que los ratios hallados solo son confiables si es que los coeficientes de correlación producto de los análisis de regresión son aceptables. Es decir, se tiene que identificar primero cuál de las variables independientes seleccionadas tiene una relación directa con el tráfico generado del proyecto para poder afirmar la existencia de un ratio de generación de viajes con estas variables. Esto se logra mediante el análisis de regresión.

4.2. Análisis de regresión

Una vez que tenemos los datos de generación de viaje y las variables independientes definidas, podemos iniciar el análisis de regresión. Para el caso de estudio de la presente tesis, usaremos las recomendaciones del Trip Generation Manual basadas en los casos de estudio recolectados por el mismo. En este manual se indica que las regresiones que, en general, dan una mejor correlación para la determinación de tasas de generación de viaje son la regresión lineal y logarítmica.

El análisis de regresión lineal, también conocido como aritmético, es el análisis más usado para la determinación de tasas de generación de viaje. Esto debido a que usualmente brinda las ecuaciones de correlación más representativas y sencillas. Se utilizarán las ecuaciones del análisis de regresión lineal para cada una de las variables independientes seleccionadas, las cuales fueron descritas en el capítulo 3: Metodología.

Adicionalmente, se desarrollarán los análisis de regresión logarítmica para las mismas variables independientes. Esto para analizar cuál de los dos análisis de regresión ofrece mejor correlación con el tráfico generado de los proyectos.

4.2.1. Tráfico generado vs. Número de estacionamientos

La figura 8 nos muestra los resultados del análisis de regresión lineal del tráfico generado para los proyectos analizados considerando el número de estacionamientos como variable independiente:

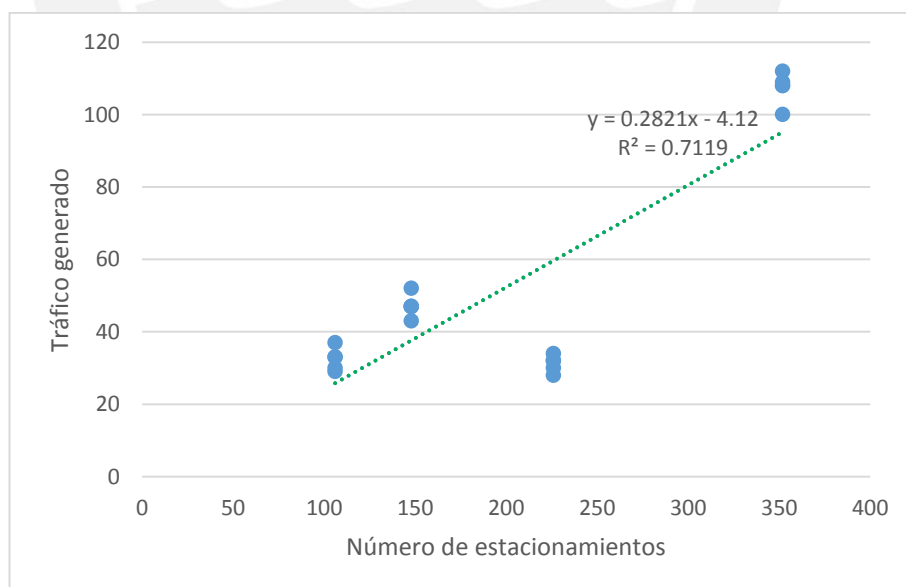


Figura 8. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Número de estacionamientos

Por otro lado, la figura 9 nos muestra los resultados del análisis de regresión logarítmico considerando como variable independiente el número de estacionamientos:

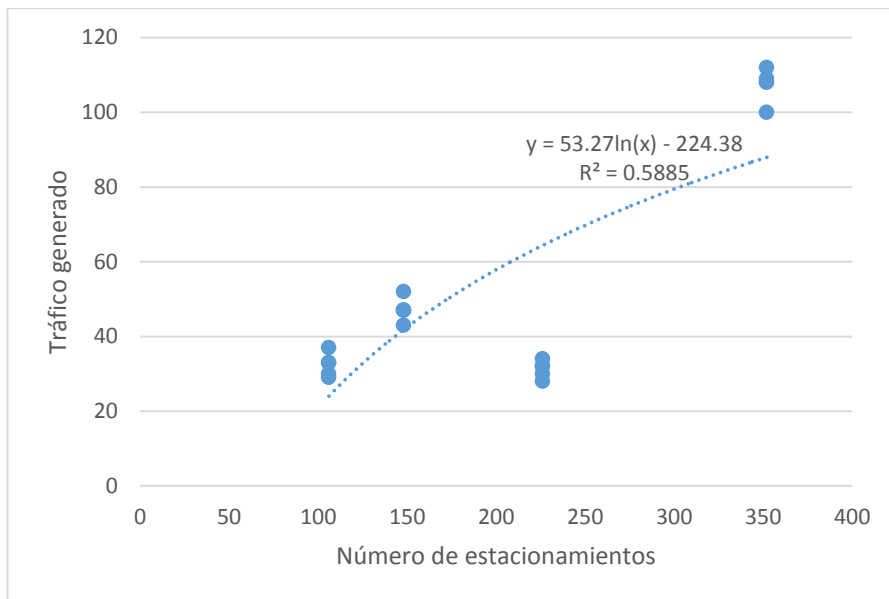


Figura 9. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Número de estacionamientos

Se observa que el número de estacionamientos nos da, en general, una relación directa con el tráfico generado, tanto en el análisis de regresión lineal como regresión logarítmica. Esto era previsible puesto a que el número de estacionamientos tiene una relación directa con la cantidad de vehículos que poseen los propietarios, el cual a su vez es una medida que influye de gran manera en la generación del viaje en el proyecto.

El Trip Generation Manual considera como requisito para la aceptación de datos de medición de tráfico generado aquellos que tengan al menos un coeficiente de correlación de 0.5. Podemos observar que el coeficiente de correlación para la variable independiente del número de estacionamientos tiene un valor de 0.71 para la regresión lineal y de 0.59 para la regresión logarítmica. Observamos que ambas regresiones ofrecen un ajuste aceptable del tráfico generado con el número de estacionamientos, siendo la regresión aritmética la que ofrece una mejor correlación. De esta manera, el cual de R^2 de 0.71 es un valor adecuado para un análisis de regresión para la generación de viajes. Podemos interpretar este resultado infiriendo que el tráfico generado depende en un 70% del número de estacionamientos del mismo, mediante una relación aritmética.

4.2.2. Tráfico generado vs. Número de viviendas

Primeramente, analizaremos la correlación entre la variable independiente del número de viviendas y el tráfico generado. La figura 10 nos muestra los resultados de tráfico generado para los proyectos analizados mediante el método de regresión lineal:

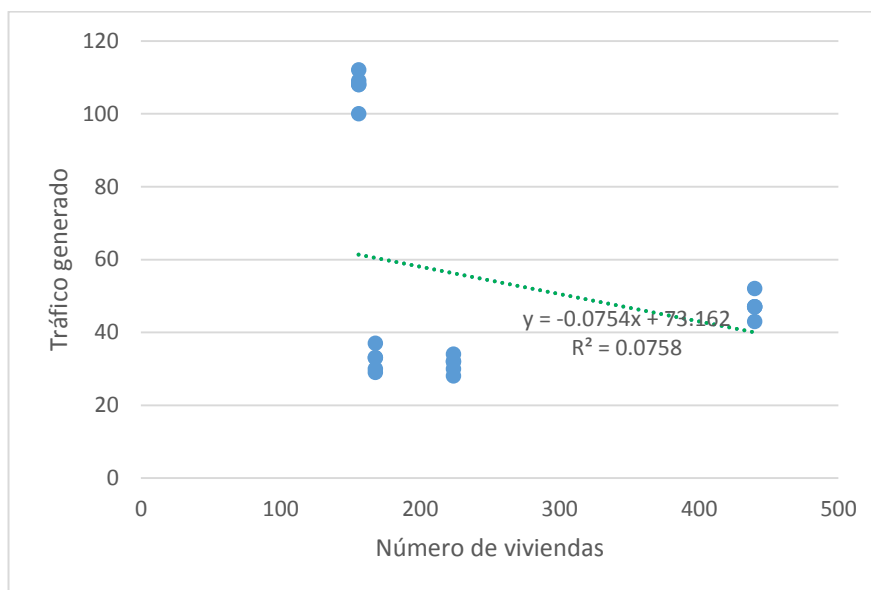


Figura 10. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Número de viviendas

A continuación, se desarrolla del análisis de regresión logarítmico considerando como variable independiente el número de viviendas. La figura 11 nos muestra los resultados de dicho análisis:

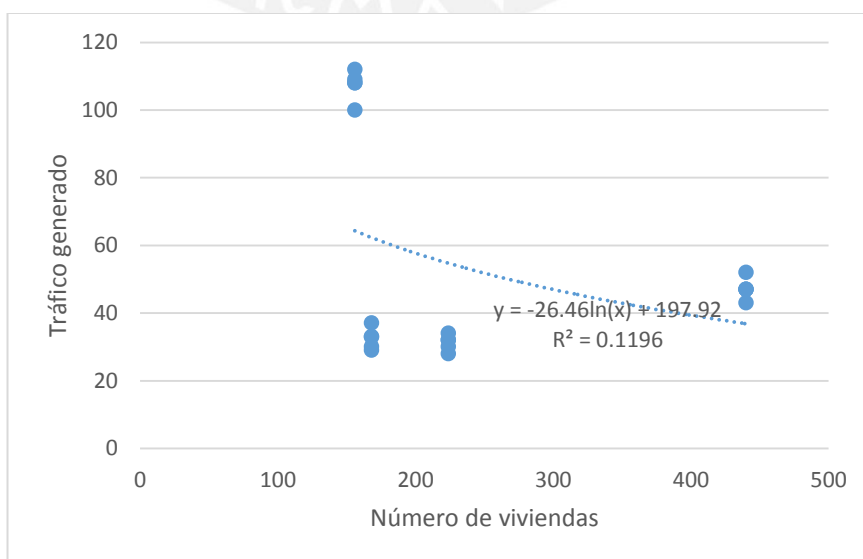


Figura 11. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Número de viviendas

Podemos observar por un lado que el análisis de regresión del tráfico generado considerando como variable independiente el número de viviendas genera una relación inversa entre ambos, tanto para el análisis lineal como para el análisis logarítmico. Es decir, nos indica que para la muestra de conjuntos residenciales seleccionados, el tráfico generado es menor mientras mayor sea la cantidad de viviendas del conjunto residencial.

Por otro lado, se observa que el coeficiente de correlación R^2 es muy pequeño para ambas regresiones, lo cual nos indica la variable del número de viviendas no tiene una correlación aceptable. Ambas observaciones nos permiten concluir que tanto el modelo lineal como el modelo logarítmico utilizando únicamente el número de viviendas como variable independiente de un proyecto inmobiliario son insuficientes para determinar de manera fiable el tráfico generado que el mismo pueda generar.

La razón por la cual podemos deducir que el número de viviendas como variable independiente es insuficiente para predecir el tráfico generado del mismo es debido a las diversas características socioeconómicas de los proyectos. Por ejemplo, en el proyecto 1 se tienen departamentos designados a los sectores socioeconómicos A y B, con 156 departamentos con áreas de 134 m² a 262 m² y con 352 estacionamientos en total lo que nos da un ratio de 2.25 estacionamientos por vivienda; mientras que el proyecto 2 está destinado a los sectores socioeconómicos C y D, con 440 departamentos de 3 dormitorios de 52 m² a 63 m² y con 148 estacionamientos, lo cual nos da un ratio de 0.34 estacionamientos por vivienda.

Vemos así que el número de vehículos que se utilizan no tiene una relación directa con el número de viviendas de los proyectos. Es por esta razón que se requieren analizar otras variables independientes que relacionen mejor el tráfico generado.

4.2.3. Tráfico generado vs. Número de habitantes

El número de habitantes se refiere al número máximo de residentes para el cual se diseñó el proyecto. Este valor fue calculado teniendo en cuenta el número de habitaciones de todos los departamentos ofertados en cada proyecto inmobiliario. De esta manera se consideró que todas las habitaciones se encuentran ocupadas por una persona y que la habitación principal (matrimonial) se encuentra ocupada por dos personas. La figura 12 nos muestra los resultados del análisis de regresión lineal considerando esta variable. Por otro lado, la figura 13 nos muestra los resultados del análisis de regresión logarítmico considerando como variable independiente el número de habitantes.

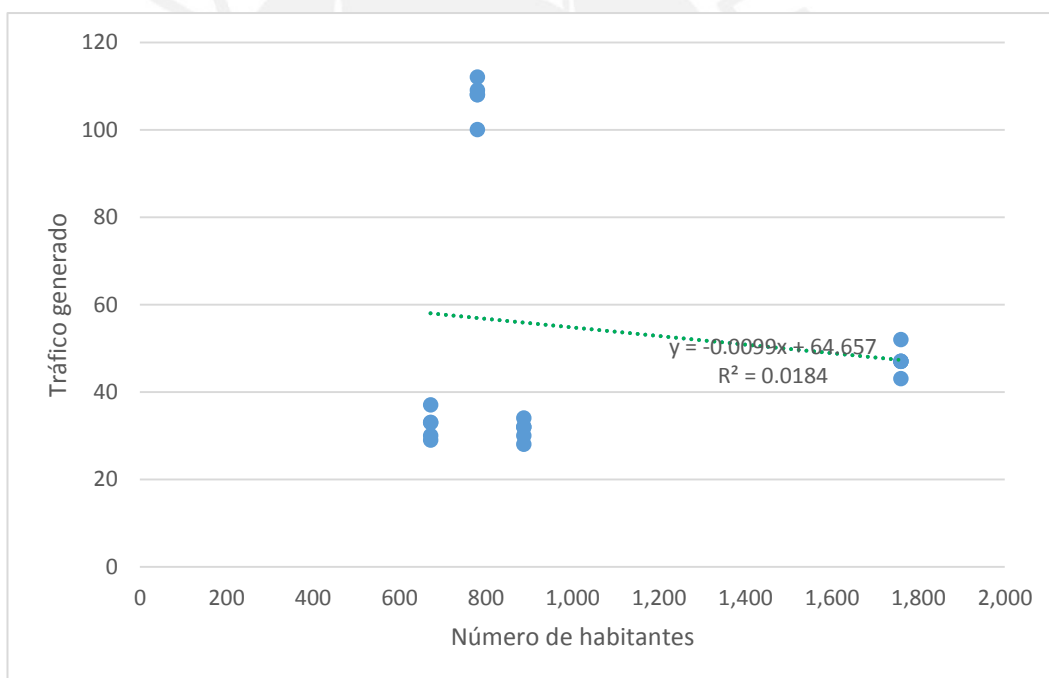


Figura 12. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Número de habitantes

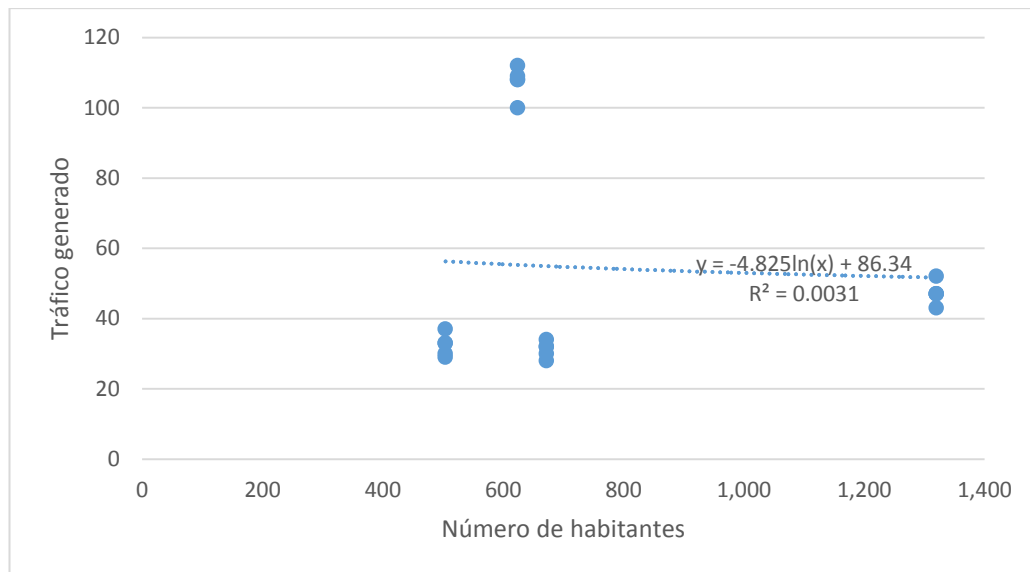


Figura 13. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Número de habitantes

Se observa que la correlación del tráfico generado es inversa al número de habitantes. Es decir, a mayor número de habitantes existe un menor tráfico generado, la cual es una afirmación no coherente. Por otro lado, se puede observar que ambos tipos de regresiones ofrecen correlaciones R^2 muy bajas, siendo de 0.018 para la regresión lineal y de 0.003 para la regresión logarítmica.

Estas observaciones nos permiten afirmar que la variable independiente de número máximo de habitantes no es recomendable para el análisis del tráfico generado. Esto puede deberse, al igual que en el caso del número de viviendas, a que los desarrollos inmobiliarios están proyectados para usuarios de niveles socioeconómicos diferentes, con ratios de número de vehículos por vivienda diferentes.

4.2.4. Tráfico generado vs. Área total del terreno

El área total del terreno se refiere a aquella área sobre la cual se erigió el desarrollo, incluyendo los accesos considerados para los mismos. La figura 14 nos muestra los resultados de regresión lineal del tráfico generado para los proyectos analizados considerando el área total del proyecto como variable independiente, así como su ecuación y coeficiente de correlación lineal.

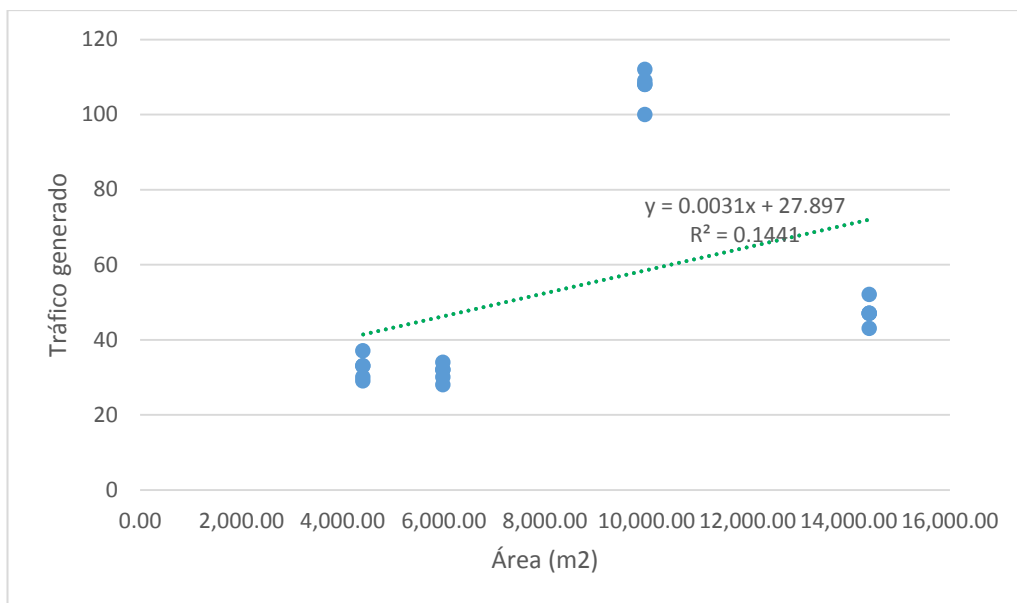


Figura 14. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Área del terreno

Se observa que el coeficiente de correlación R^2 es muy bajo, lo cual indica que existe un bajo ajuste en los datos. Esto a su vez se puede deber a que las áreas de los terrenos no tienen relación con el tráfico generado o que la regresión lineal no es la más óptima para su estudio. De esta manera, se realizó el análisis de regresión logarítmico con el fin de buscar un mejor factor de correlación. La figura 15 nos muestra los resultados del análisis de regresión logarítmico considerando como variable independiente el área del terreno

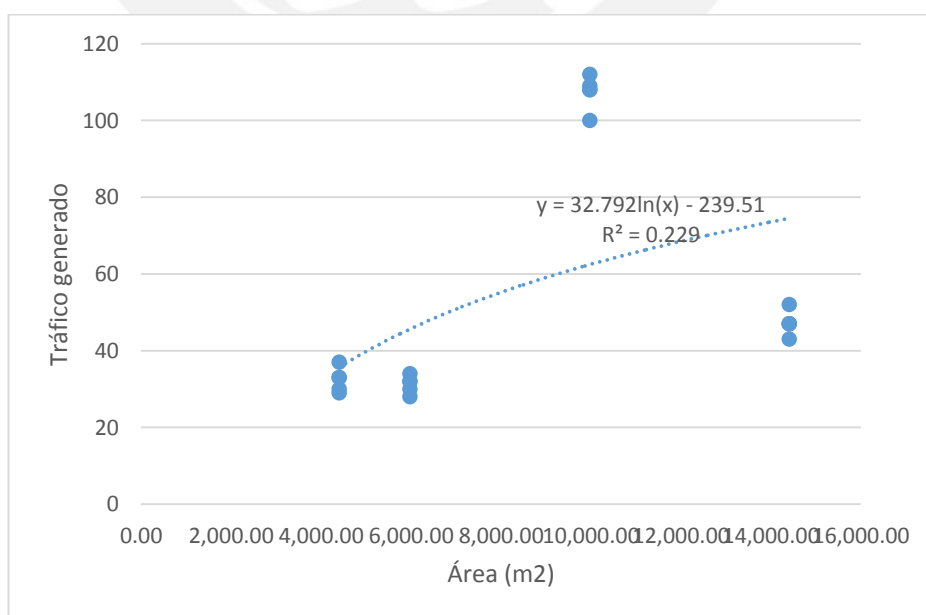


Figura 15. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Área del terreno

Podemos observar que, en general, el tráfico generado aumenta a medida que incrementa el área del terreno de los proyectos analizados, como era de esperarse. Sin embargo, podemos observar que el coeficiente de correlación R^2 es muy bajo para ambas regresiones. Siendo del orden de 0.144 para la regresión lineal y de 0.229 para la regresión logarítmica. Estos valores nos indican que los datos de tráfico generado no tienen una buena relación con los valores del área del terreno, a pesar de que se tenga una mejor correlación mediante el análisis de regresión logarítmico.

De esta manera podemos afirmar que la variable de área del terreno seleccionado no es adecuada para relacionar el tráfico generado de un proyecto. Esto puede deberse a que los proyectos están destinados a poblaciones de diversos contextos socioeconómicos. Es decir, es probable que para un público objetivo emergente se busquen desarrollar proyectos que aprovechen el área del terreno para construir más departamentos de manera que estos se encuentren a un precio asequible. Mientras que, por otro lado, para un público de nivel socioeconómico elevado usualmente se prioriza las áreas libres y los espacios comunes.

4.2.5. Tráfico generado vs. Área construida

El área construida es una variable que toma en cuenta toda el área que fue proyectada para ser construida en el proyecto, incluyendo las torres de departamentos y las áreas comunes. La figura 16 nos muestra los resultados del análisis de regresión lineal del tráfico generado para los proyectos analizados considerando el área construida del proyecto como variable independiente:

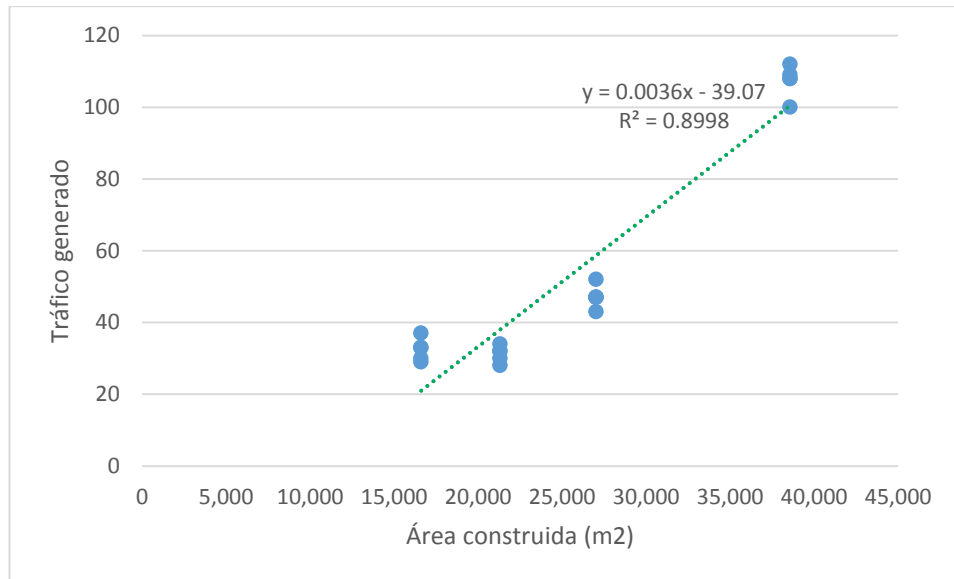


Figura 16. Regresión lineal: Tráfico generado vs. Área construida

Podemos observar que para los valores de área construida, la relación lineal tiene una correlación muy elevada. Esto se ve representado de mejor manera con el coeficiente de correlación R^2 , el cual nos da un valor de aproximadamente 0.9. Para el desarrollo de modelos de generación de viajes, un valor de 0.9 inusual y deseable. Aun así, realizaremos el análisis de regresión logarítmico para contrastar los valores del coeficiente de correlación. La figura 17 nos muestra los resultados del análisis de regresión logarítmico considerando como variable independiente el número de estacionamientos:

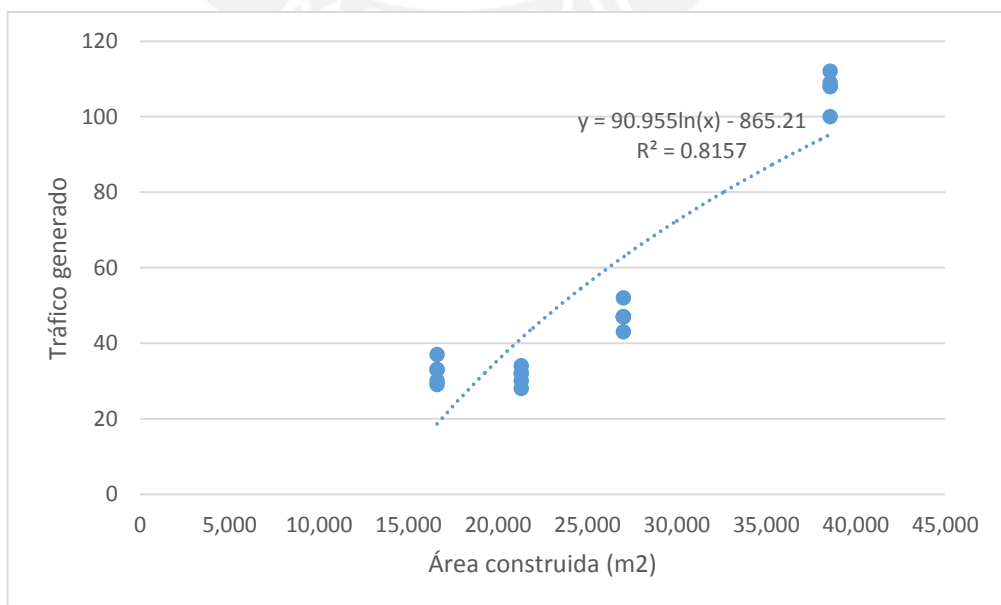


Figura 17. Regresión logarítmica: Tráfico generado vs. Área construida

Se observa que el valor del coeficiente de correlación es 0.816, menor a aquel que resultó del análisis de regresión lineal. Esto indica que el modelo más recomendable, además de sencillo, es el modelo de regresión lineal. Como se indicó, el Trip Generation Manual indica que para una medición en el sitio un coeficiente de correlación aceptable es de 0.5 y uno deseable es de 0.7.

De esta manera, un valor de R^2 de 0.9 nos infiere que el tráfico generado tiene una relación lineal de casi 90% con los valores del área construida del proyecto. Esto se puede deber a que el área construida por habitante de un proyecto es mayor mientras mejores sean las condiciones socioeconómicas de los usuarios, motivo por el cual este factor deja de ser un factor restrictivo, como sucedió en varios de los análisis de regresión con otras variables.

4.3. Análisis comparativo

4.3.1. Tráfico generado considerado en los EIV de los proyectos

Debido a que no existen lineamientos ofrecidos por la Municipalidad Metropolitana de Lima ni estudios previos en la ciudad de que permitan estimar el tráfico generado por un proyecto, las empresas encargadas del desarrollo de los EIV de los proyectos usualmente consideraron relaciones abstractas entre el número de estacionamientos con el tráfico generado de un proyecto. Es decir, para la estimación del tráfico generado por los proyectos inmobiliarios en los EIV, se consideró que los viajes que iban a ser generados por los desarrollos tenían una relación directa con el número de estacionamientos que estos tenían. Este es el motivo por el cual se consideró que el tráfico generado podía estimarse como un porcentaje del número de estacionamientos de los proyectos.

En la siguiente tabla podemos observar los porcentajes de los números de estacionamientos de los proyectos que se proyectaron en los EIV como los viajes que iban a ser generados por los mismos durante su etapa de operación.

Tabla 8. Porcentaje considerado para estimación tráfico generado en EIV

Conjunto	Tráfico Generado EIV	Número Estacionamientos	Porcentaje
Proyecto 1	74	352	21%
Proyecto 2	148	148	100%
Proyecto 3	57	226	25%
Proyecto 4	106	106	100%

Se observa que los porcentajes del número de estacionamientos considerados para la generación de viajes podían ser hasta del 100%, debido a que se consideraba que únicamente los viajes se generaban debido a los vehículos privados dentro de los proyectos inmobiliarios.

Después de haber analizado los datos de tráfico generado medidos en los proyectos debido a los viajes que tienen como origen o destino el área del desarrollo, incluyendo sus accesos, se procedió a comparar dichos resultados con los valores de tráfico generado considerados en los EIV de los proyectos. De esta manera, se pretende observar la fidelidad de las estimaciones de tráfico generado previsto para el desarrollo de los EIV de los proyectos analizados.

La siguiente tabla muestra los resultados de los valores de tráfico generado promedio de las 5 mediciones realizadas con los valores de tráfico generado considerados en sus respectivos EIV.

Tabla 9. Tráfico generado real vs Tráfico generado EIV

Conjunto Residencial	Tráfico Generado real	Tráfico Generado EIV	Variación (%)
Proyecto 1	107.4	74	145.14%
Proyecto 2	47.2	148	31.89%
Proyecto 3	31.2	57	54.74%
Proyecto 4	32.4	106	30.57%

Se puede observar que los valores considerados en los EIV de los desarrollos inmobiliarios no concuerdan con los valores reales medidos en la fase de operación de los mismos. Además, las diferencias no solo son considerables, sino que además tienen una dispersión elevada, pues no se mantienen en el mismo rango. De esta manera, el tráfico generado real tiene diferencias que oscilan entre -70% a +50% de aquellos valores considerados en los EIV.

Por otro lado, se observa que sólo existe un proyecto cuyo tráfico generado real es mayor que aquel considerado en su EIV, este es el proyecto 1. Se puede intuir de esta manera que generalmente el tráfico generado de un proyecto es menor que aquel considerado en su EIV.

Finalmente, podemos analizar la relación entre el tráfico generado real de los proyectos estudiados con la cantidad de estacionamientos de los mismos. Los resultados de dicho análisis se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 10. Porcentaje real para estimación de tráfico generado

Conjunto	Tráfico Generado real	Número Estacionamientos	Porcentaje
Proyecto 1	107.4	352	31%
Proyecto 2	47.2	148	32%
Proyecto 3	31.2	226	14%
Proyecto 4	32.4	106	31%

Se observa que los valores de tráfico generado real son menores en todos los proyectos al número de estacionamientos de los mismos y, a excepción del proyecto 3, representan un porcentaje similar de aproximadamente 30% del número de estacionamientos del proyecto. Se entiende que debido al número limitado de proyectos a estudiar, dicha relación no necesariamente es fiable y requiere ser corroborada en estudios posteriores.

4.3.2. Tráfico generado total

Una vez desarrollados los análisis de regresión, se compararán los resultados obtenidos en cada tipo de análisis con cada variable independiente seleccionada para observar aquellos que brinden las mejores correlaciones. Posteriormente, se determinará la correlación más confiable para el tráfico generado. Finalmente, se compararán estos valores con aquellos considerados en los EIV de los proyectos analizados.

El resumen de resultados del análisis de regresión lineal, tales como la tasa promedio de tráfico generado, la desviación estándar de las mediciones, la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación por variable independiente se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Resultados de regresión por variable independiente

Resultado/ Variable independiente	Número de estacionamientos	Número de apartamentos	Área total del terreno	Área construida	Número de habitantes
Tasa promedio (Tráfico generado por variable)	0.26	0.24	60.41	18.89	0.05
Ecuación de regresión lineal	$y = 0.2821x - 4.12$	$y = -0.0754x + 73.162$	$y = 0.0031x + 27.897$	$y = 0.0036x - 39.07$	$y = -0.0099x + 64.657$
Coeficiente de correlación (R^2) lineal	$R^2 = 0.7119$	$R^2 = 0.0758$	$R^2 = 0.1441$	$R^2 = 0.8998$	$R^2 = 0.0184$
Ecuación de regresión logarítmica	$y = 53.27\ln(x) - 224.38$	$y = -26.46\ln(x) + 197.92$	$y = 32.792\ln(x) - 239.51$	$y = 90.955\ln(x) - 865.21$	$y = -10.5\ln(x) + 126.58$
Coeficiente de correlación logarítmica (R^2)	$R^2 = 0.5885$	$R^2 = 0.1196$	$R^2 = 0.229$	$R^2 = 0.8157$	$R^2 = 0.0153$

Como se indicó, el coeficiente de relación R^2 brinda una medida cuantitativa que indica si el modelo empleado tiene un buen ajuste a la variable independiente y si este es suficiente para determinar el comportamiento de la variable analizada

(Bernal y Macorra, 2011). En el caso de análisis de regresión para tráfico generado, se considera que una buena relación se da para un R^2 cercano a 0.70. Por otro lado, un bajo coeficiente de correlación puede indicar una pobre relación entre la variable independiente (X) y el tráfico generado (Y) o que el modelo considerado no es el mejor para relacionar ambas variables.

Podemos interpretar los valores de R^2 como los porcentajes mediante los cuales nuestros resultados de tráfico generado dependen de la variable independiente seleccionada. De esta manera, se puede observar que, dentro de todas las mediciones de tráfico generado, existen relaciones que tienen coeficientes de correlación muy pequeños, lo cual indica que algunas de las variables seleccionadas tienen una escasa relación con el tráfico generado del proyecto. Esto se puede deber a que los datos no tienen un buen ajuste a las variables seleccionadas o que los modelos de regresión seleccionados no fueron los adecuados.

De esta manera, podemos afirmar que las únicas variables independientes que tienen una correlación aceptable con el tráfico generado de los proyectos son el número de estacionamientos y el área construida del proyecto. En ambas variables el mejor ajuste se hace siguiendo un modelo de regresión lineal, siendo los resultados del coeficiente de correlación R^2 de 0.72, para el número de estacionamientos y de 0.9, para el área construida.

Como se mencionó, la Municipalidad Metropolitana de Lima no ofrece una ecuación de correlación que relacione las variables independientes de un proyecto con el tráfico generado del mismo. Es por esta razón que se requiere desarrollar recomendaciones para el estudio de generación de viajes de un proyecto inmobiliario. De esta manera, a partir de los resultados de la presente investigación se pueden determinar las ecuaciones de correlación que predicen de mejor manera

el tráfico que generará el desarrollo de un proyecto. Estas ecuaciones se muestran a continuación.

$$Y = 0.2821E - 4.12.....(17)$$

$$Y = 0.0036A - 39.07.....(18)$$

Donde:

Y : Tráfico generado del proyecto

E : Número de estacionamientos del proyecto

A: Área construida del proyecto (m²)

4.3.3. Tráfico generado en accesos de proyectos

Para el análisis de tráfico generado se consideraron aquellos los viajes que se originan y aquellos que tienen como destino los proyectos inmobiliarios estudiados, sean estos mediante vehículos privados con estacionamiento dentro del desarrollo, vehículos privados sin estacionamiento dentro del proyecto, o vehículos que prestan el servicio de taxi para dejar o recoger pasajeros. Estos viajes representan de mejor manera el tráfico generado por los viajes que desarrollan los habitantes de los proyectos inmobiliarios.

Sin embargo, se pueden obtener mejores correlaciones si sólo se consideran los viajes que ingresan y salen de los proyectos únicamente por los accesos de los mismos. Es decir, si únicamente se consideran los viajes que partan y se dirijan hacia los estacionamientos internos de los proyectos, es probable que se encuentren mejores relaciones de las características del desarrollo con el tráfico generado del mismo, especialmente para la variable independiente del número de estacionamientos.

De esta manera, se desarrolló el estudio de tráfico generado considerando únicamente las mediciones de aforos en los accesos de los proyectos. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12. Tráfico generado en accesos de proyectos

	Entran	Salen	Tráfico generado
Proyecto 1	39	17	56
	43	13	56
	35	22	57
	47	20	67
	36	18	54
Proyecto 2	2	14	16
	3	17	20
	1	13	14
	2	14	16
	3	15	18
Proyecto 3	2	23	25
	2	21	23
	3	18	21
	3	17	20
	1	20	21
Proyecto 4	1	15	16
	2	18	20
	2	14	16
	3	12	15
	3	16	19

Para el análisis de regresión se consideraron las mismas variables independientes analizadas en los acápites anteriores y se relacionaron con el tráfico generado mediante regresiones lineales y logarítmicas.

De esta manera, se calculó la tasa promedio de generación de viajes por variable, la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación tanto para la regresión lineal como logarítmica. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla y

serán comparados con aquellos resultados obtenidos considerando el tráfico generado total de los proyectos obtenidos:

Tabla 13. Resultados de regresión en accesos del proyecto

Resultado/ Variable independiente	Número de estacionamientos	Número de apartamentos	Área total del terreno	Área construida	Número de habitantes
Tasa promedio (Tráfico generado por variable)	0.13	0.15	36.41	10.48	0.04
Ecuación de regresión lineal	$y = 0.1707x - 7.0066$	$y = -0.0746x + 46.921$	$y = 0.0006x + 23.13$	$y = 0.0018x - 19.113$	$y = -0.0176x + 42.214$
Coefficiente de correlación (R^2) lineal	$R^2 = 0.8449$	$R^2 = 0.2405$	$R^2 = 0.019$	$R^2 = 0.7542$	$R^2 = 0.1032$
Ecuación de regresión logarítmica	$y = 32.7\ln(x) - 142.73$	$y = -22.89\ln(x) + 152.53$	$y = 9.9083\ln(x) - 60.354$	$y = 45.419\ln(x) - 430.79$	$y = -13.16\ln(x) + 115.18$
Coefficiente de correlación logarítmica (R^2)	$R^2 = 0.7187$	$R^2 = 0.29$	$R^2 = 0.0677$	$R^2 = 0.6591$	$R^2 = 0.0743$

Se observa que considerando únicamente el tráfico generado en los accesos del proyecto, se obtienen mejores valores de los coeficientes de correlación R^2 para las variables independientes de número de estacionamientos (+20%), número de apartamentos (+200%) y número de habitantes (+400%). Por otro lado, se tienen se obtienen menores valores de los coeficientes de correlación R^2 para las variables independientes de área total del terreno (-80%) y área construida (-16%).

Se puede deducir que en aquellas variables en las cuales influye la distribución de los habitantes el factor de ajuste al considerar únicamente las mediciones de aforos en los accesos del proyecto aumenta. Por otro lado, aquellas en las cuales lo requerimientos de los habitantes no juegan como un factor importante, tales como

el área del terreno y el área construida, la correlación disminuye al considerar únicamente los datos de tráfico generado en los accesos.

Adicionalmente, se observa que, al igual que los análisis de tráfico generado total, las variables independientes que ofrecen las mejores correlaciones son el número de estacionamientos y el área construida. De esta manera, podemos afirmar que el número de estacionamientos está relacionado con el tráfico generado total del proyecto debido a que la generación de viajes en los accesos se deben principalmente a los viajes que tienen como destino u origen los estacionamientos del proyecto. Esto se puede interpretar al deducir que el tráfico generado en los accesos de un proyecto depende en un 85% de los estacionamientos internos del mismo, de acuerdo a los resultados del análisis de regresión lineal.

4.3.4. Tráfico generado en proyectos con contextos socioeconómicos similares

Del análisis de regresión del tráfico total que genera el proyecto, se puede observar que, en general, los resultados se ven fuertemente distorsionados por un proyecto. Se dedujo que dicha distorsión se debía probablemente a las diversas características socioeconómicas del proyecto. Esta afirmación se ve sustentada además en los resultados del Trip Generation Manual, en el cual se indica que los estudios de generación de viajes se deben hacer en proyectos con contextos similares.

En la presente tesis se analizaron proyectos de distintos contextos debido a que se busca hallar una relación que pueda servir de base para cualquier proyecto inmobiliario en la ciudad de Lima. Sin embargo, se buscará analizar el impacto que tienen proyectos con contextos similares en el tráfico generado para tener una noción de la influencia de los mismos en su estudio. Para lograrlo, se entiende que a pesar de que todos los proyectos son diferentes el uno del otro, existe un

proyecto cuyas características son muy diferentes a las del resto, siendo este descartado del análisis del tráfico generado.

De esta manera, se analizaron las características de los proyectos para seleccionar aquel proyecto cuyas variables difieran sustancialmente de los demás. Las características analizadas fueron los precios de un departamento modelo por metro cuadrado, la ubicación, el área de los departamentos y el ratio de estacionamientos por vivienda. Es así que se encontró que el proyecto 1 era el proyecto con las características más heterogéneas.

Al descartar un proyecto de la muestra, se tienen 3 proyectos a partir de los cuales se deducirán correlaciones de tráfico generado. El Trip Generation Manual indica que para un estudio de generación de viajes en un sitio que no contiene datos previos, se requiere al menos una muestra de 3 proyectos, condición que está siendo respetada.

El proyecto 1 está destinado al sector socioeconómico A y B, se encuentra en una exclusiva zona en Santiago de Surco, posee 156 viviendas que van desde los 134 m² a los 220 m² con 3 dormitorios familiares y 1 dormitorio para el personal de servicio. Además, tiene un ratio de estacionamientos por departamentos de 2.25, mientras que los demás proyectos contienen un ratio de menos de 1 estacionamiento por departamento. Los resultados del análisis de generación de viajes obtenidos al descartar el proyecto 1 de la muestra se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 14. Resultados de regresión en proyectos con contextos similares

Resultado/ Variable independiente	Número de estaciona mientos	Número de apartamen tos	Área total del terreno	Área construida	Número de habitantes
Tasa promedio (Tráfico generado por variable)	0.25	0.15	17.82	2.46	0.01
Ecuación de regresión lineal	$y = -0.0346x + 42.474$	$y = 0.0599x + 20.321$	$y = 0.0016x + 23.557$	$y = 0.0015x + 5.1473$	$y = 0.02x + 20.321$
Coefficiente de correlación (R ²) lineal	R ² = 0.0497	R ² = 0.8271	R ² = 0.8472	R ² = 0.6558	R ² = 0.8271
Ecuación de regresión logarítmica	$y = -3.174\ln(x) + 52.89$	$y = 16.858\ln(x) - 56.473$	$y = 13.752\ln(x) - 85.285$	$y = 30.069\ln(x) - 262.64$	$y = 16.858\ln(x) - 74.994$
Coefficiente de correlación logarítmica (R ²)	R ² = 0.0162	R ² = 0.7757	R ² = 0.8003	R ² = 0.5993	R ² = 0.7757

Se observa que todos los análisis de regresión ofrecen cambios drásticos en su coeficiente de correlación, siendo la única variable independiente con valores de correlación no aceptables el número de estacionamientos. Esto es un indicador de que el contexto de un proyecto inmobiliario tiene una incidencia importante en el tráfico generado del mismo.

De esta manera, se observa que todas las variables independientes consideradas, a excepción del número de estacionamientos, tienen valores de ajuste deseables. Esto debido a que todas estas variables independientes tienen un coeficiente de correlación R² mayor a 0.5 y, a excepción del área construida, dichos coeficientes son mayores a 0.7.

Estos resultados nos brindan indicios para observar que, de considerarse proyectos con contextos similares, el tráfico generado tiene una relación directa con una variedad de características del proyecto. Sin embargo, existen distintas fuentes de error e insuficiencia en los datos analizados que no nos permiten afirmar la validez de dicha afirmación. Por un lado, el análisis de regresión se realiza únicamente con

una muestra de 3 proyectos inmobiliarios, con lo cual no se puede generalizar los resultados a todos los proyectos de la ciudad de Lima. Por otro lado, una variable que pudo influir en la insuficiencia del número de estacionamientos para predecir el tráfico generado es el hecho de que el proyecto 1 es el único proyecto cuya hora punta considerada en su respectivo EIV es de 6:00 pm a 7:00 pm, mientras que en los demás la hora punta considerada es de 8:00 am a 9:00 am. De esta manera, los resultados hallados en la presente investigación sientan un precedente que debe ser ampliado mediante el desarrollo de una base de datos más precisa de generación de viajes.

Resulta interesante notar que las únicas variables independientes que ofrecen correlaciones bajas son las únicas con coeficientes de correlación aceptables considerando el tráfico generado total de los 4 proyectos inmobiliarios analizados. En el caso del número de estacionamientos, es probable que la razón por la cual sucede es debido a que en los proyectos analizados restantes, el ratio de estacionamientos por vivienda varían considerablemente, siendo de 0.3, 1 y 0.6, lo cual nos da una idea de la prioridad que se da al transporte privado en cada proyecto. Finalmente, podemos intuir que el motivo por el cual los factores de ajuste de estas variables son bajos, es debido justamente a que son características que relacionan el tráfico generado en cualquier tipo de proyecto inmobiliario.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El crecimiento de una ciudad va estrechamente relacionado con el desarrollo del sector constructivo, sea mediante edificios u obras civiles. Por esta razón, el desarrollo de proyectos conlleva consigo un impacto en el contexto en el cual se ubica. Un estudio de impacto vial (EIV) es aquel procedimiento técnico que tiende a identificar, interpretar y alertar sobre los efectos en el corto, mediano y largo plazo que las actividades, proyectos, programas o emprendimientos puedan causar en la infraestructura vial urbana, así como en los peatones o usuarios de la misma (Sotelo, 2010).

Las regulaciones gubernamentales son las encargadas de solicitar y revisar los EIV. Estas regulaciones pueden ser exigidas tanto por el gobierno central, los gobiernos estatales o las municipalidades. En el caso de la ciudad de Lima, la Municipalidad Metropolitana de Lima es la encargada de brindar los requerimientos para el desarrollo de los EIV, considerando diversas etapas. Sin embargo, los lineamientos brindados son inadecuados y usualmente, no detallados.

En el caso de los desarrollos residenciales, su construcción conlleva consigo un impacto en la red vial aledaña al mismo, debido a que desarrolla viajes urbanos. A dichos desarrollos se les conoce como polos generadores de viaje (PGV). Para evaluar el impacto vial generado debido a la construcción de un PGV, se debe conocer en primer lugar el tráfico que genera la construcción del mismo. El tráfico generado es la suma de los viajes que tienen como origen o destino el proyecto. Estos viajes pueden deberse tanto a vehículos privados o particulares que transporten pasajeros desde o hacia el área destinada a la operación del proyecto.

Debido a la ausencia de una red fiable de datos de generación de viajes en la ciudad de Lima, se desarrollaron estudios de sitio en una muestra de 4 proyectos inmobiliarios. Dichos proyectos pertenecen a diversos contextos urbanos y

socioeconómicos a lo largo de la ciudad de Lima. Se desarrollaron 5 mediciones de tráfico generado en las horas puntas consideradas en sus EIV del proyecto. Posteriormente, se analizaron los datos de tráfico generado medidos para compararlos con sus EIV.

Se encontró que las mediciones de tráfico generado real de los proyectos difieren en gran manera de aquellos considerados en su EIV, teniendo variaciones que oscilan entre -70% a +50%. Adicionalmente, se observó que sólo existe un proyecto cuyo tráfico generado real era mayor que aquel considerado en su EIV. De esta manera, se puede afirmar la hipótesis que afirmaba que el tráfico generado real de un proyecto era generalmente menor a aquel considerado en su EIV.

Posteriormente, se desarrolló un análisis de regresión tanto lineal como logarítmico para buscar relaciones entre el tráfico generado por un proyecto con las características del mismo. Se consideraron como variables independientes el número de estacionamientos, número de viviendas, número de habitantes, área del terreno y área construida de los proyectos.

Se analizaron las recomendaciones del Trip Generation Manual que nos indica que para que un estudio de generación de viajes sea aceptado, se requiere que su coeficiente de correlación R^2 sea al menos 0.5, siendo un valor de R^2 cercano a 0.70 una correlación deseable, de acuerdo a la experiencia recolectada por los profesionales especialistas en el estudio de generación de viajes. Con estas consideraciones, se observó que las variables que ofrecen un mejor ajuste son el número de estacionamientos y el área construida.

La variable independiente del número de estacionamientos tiene un coeficiente de correlación R^2 de 0.712, para una regresión lineal; y de 0.59 para una regresión logarítmica. Por otro lado, la variable independiente del área construida tiene un coeficiente de correlación R^2 de 0.9, para una regresión lineal; y de 0.82 para una

regresión logarítmica. Se concluye que la regresión lineal es la más adecuada para la estimación del tráfico generado. De esta manera, se comprueba la hipótesis principal del proyecto, la cual indicaba que el tráfico generado tenía una relación directa con alguna de las características del proyecto.

Se seleccionaron las ecuaciones de correlación que predicen de mejor manera el tráfico que generará el desarrollo de un proyecto. Estas ecuaciones se muestran a continuación. Se observa que en los requerimientos de la municipalidad para el desarrollo de los EIV no se encuentran ecuaciones de correlación para estimar el tráfico generado, comprobándose así la hipótesis que afirmaba que la metodología para determinar el tráfico generado en los proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima es inadecuada:

Donde:

Y : Tráfico generado del proyecto

E : Número de estacionamientos del proyecto

A: Área construida del proyecto (m^2)

Debido a la experiencia recolectada de estudios previos y a las recomendaciones del Trip Generation Manual, se tiene que la variable independiente más utilizada para la determinación del tráfico generado es el número de estacionamientos del mismo. Este es el motivo por el cual se recomienda utilizar la ecuación 19 como lineamiento exigido por la Municipalidad Metropolitana de Lima para la estimación del tráfico generado en el desarrollo de los EIV de nuevos proyectos inmobiliarios.

Finalmente, se reconoce la necesidad de mayores estudios y una muestra significativa para encontrar ecuaciones de generación de viajes más cercanos a la realidad.

REFERENCIAS

- Bernal, Arturo; Zamora, Mireya (2011). ¿Cómo Y Cuándo Realizar Un Análisis de Regresión Lineal Simple? Aplicación E Interpretación.
- De Leániz, Cristina (2008). Relación existente entre la producción de viajes en el municipio de Madrid y los usos urbanísticos.
- Galarraga, Jorge J (2013). Generación de viajes en diferentes tipos de emprendimientos residenciales.
- Hay, William (1998). Ingeniería de Transporte. 2º ed. México.
- Herz, Marcelo; Galarraga, Jorge (2013). Análisis de tasas y modelos para generación de viajes en hipermercados y supermercados. Journal of Transport Literature 8.3: 172-198.
- Hirun, Wirach (2015). Trip Rates for Condominium Construction Project. Journal of Urban and Environmental Engineering 9.1 73–81. Web.
- Institute of Transportation Engineers (2015). Trip Generation Manual. 9th ed. Washington, DC. Print.
- Lic.wisc.edu (2015). Traffic Impact Analysis; From "Community Guide To Development Impact Analysis" By Mary Edwards'. N.p.Web. 5 Oct. 2015.
- Ministerio de Construcción, Vivienda y Saneamiento (2006). Decreto Supremo N° 611-2006-MCVS: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Municipalidad Distrital de Lima (2009). Ordenanza N° 1268 que regula los estudios de impacto vial en Lima Metropolitana.

- Municipalidad Distrital de Lima (2010). Ordenanza N° 1404 que reglamenta el procedimiento de aprobación de los estudios de impacto vial en Lima Metropolitana.
- Municipalidad Distrital de Lima (2013). Ordenanza N° 1694 que modifica la ordenanza N° 1404 que reglamenta el procedimiento de aprobación de los estudios de impacto vial en Lima Metropolitana.
- Papacostas, Constantinos; Pevedouros, Panos (1993). Transportation Engineering and Planning. 2nd edition. New Jersey. Print.
- Quintero, Ángela; Palmar, Matilde; Andueza, Pedro; Casanova, Leonardo (2008). Evaluación de La Experiencia Obtenida En Los Estudios de impacto vial Y Propuestas Para Su Ejecución E Implementación. 29.3: 243–248.
- Quintero, Ángela; Angulo, Carlos; Guerrero, José (2011). 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.
- Sotelo, Javier E (2010). Análisis de impactos del desarrollo de proyectos urbanos en el sistema vial y de transporte
- State Of California Department Of Transportation (2002). Guide for the preparation of traffic impact studies. California: N.p. Print.
- Transportation Research Board (2000). Highway Capacity Manual. Washington, DC
- Vaughan, Bill (1983). Traffic generation: Users'guide and review of studies. No. Monograph.
- Yévenes, Mónica (2015). Transporte urbano: un modelo a seguir. Revista Urbano 6.7: 24-30.