

DESARROLLO DE UN MODELO DE ATRACCION DE VIAJES PARA
EDIFICIOS CON USO DE OFICINAS EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO-
BOGOTA

JULIAN ALEJANDRO BELTRÁN CRISTANCHO

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÀ
2015

DESARROLLO DE UN MODELO DE ATRACCION DE VIAJES PARA
EDIFICIOS CON USOS DE OFICINA EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO-
BOGOTA

JULIAN ALEJANDRO BELTRÁN CRISTANCHO

Trabajo de grado para optar por el título de “Ingeniero Civil”

Asesor Disciplinar:

Ing. Darío Naranjo Torres

Asesor Metodológico:

Ing. Olga Lucía Vanegas Alfonso

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
VIAS Y TRANSPORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÀ
2015

CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
3. JUSTIFICACION	10
4. OBJETIVOS	11
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
5. ANTECEDENTES	12
6. MARCO REFERENCIAL.....	15
6.1 MARCO CONCEPTUAL	15
6.1.1 Transporte	15
6.1.2 Volúmenes de tránsito	15
6.1.3 Red de Transporte.....	16
6.1.4 Planeación del transporte	16
6.1.5 Generación de viajes	18
6.1.6 Modelo de generación de viajes	19
6.1.7 Métodos para el análisis de generación/atracción de Viajes	19
6.1.8 Análisis estadístico de los datos de un modelo de generación de viajes	27
6.2 MARCO GEOGRAFICO.....	29
6.2.1 LOCALIDAD DE CHAPINERO	29
6.3 MARCO LEGAL	32
7. DISEÑO METODOLOGICO.....	33

7.1	TIPO DE INVESTIGACION.....	33
7.2	ENFOQUE DE LA INVESTIGACION	33
7.3	POBLACIÓN DE ESTUDIO	33
7.4	FUENTES DE LA INFORMACION.....	33
8.	FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO	34
9.	CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS.....	35
6.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS DE OFICINAS.....	35
6.5	ESTADÍSTICAS GENERALES	37
6.6	OBTENCION DE UN MODELO A PARTIR DE TASAS SIMPLES.....	42
6.7	OBTENCION DE LAS ECUACIONES POR EL METODO DE CLASIFICACION CRUZADA.....	43
6.8	OBTENCION DE LAS ECUACIONES POR EL METODO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE	45
6.8.1	Regresión lineal múltiple con la variable “área disponible en oficina”	45
6.8.2	Regresión lineal múltiple con la variable “numero de personas que trabajan” o “empleados”	46
6.8.3	Regresión lineal múltiple con las variables “numero de personas que trabajan” y “área”	48
10.	CONCLUSIONES.....	50
6.8.4	Modelo de tasas simples	50
6.8.5	Clasificación cruzada.....	50
6.8.6	Regresión lineal multiple.....	51
11.	BIBLIOGRAFIA.....	53

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Localización Urbanización Parque Campestre.....	30
Figura 2. Vista del edificio ubicado en la Carrera 12A No 79-27	35
Figura 3. Vista del edificio ubicado en la Carrera 13 No 77-22	36
Figura 4. Vista del edificio ubicado en la Carrera 13 No 77-22	36
Figura 5. Disposición del número de oficinas por edificio.....	38
Figura 6. Disposición del área de oficina edificio.....	39
Figura 7. Relación de promedio metros cuadrados por oficina	39
Figura 8. Porcentaje de empleados con vehículo particular	40
Figura 9. Relación de promedio metros cuadrados por oficina	41
Figura 10. Relación de m2 por empleado	41
Figura 11. Viajes en función del área disponible en cada oficina	44
Figura 12. Viajes en función del número de personas por oficina.....	44
Figura 12. Relación grafica del número de viajes en vehículo particular y el área disponible en cada oficina	46
Figura 14. Relación grafica del número de viajes en vehículo particular y el número de empleados en cada oficina.....	47

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Matriz descripción tamaño familiar	21
Tabla 2. Matriz tamaño del hogar por uso tipo de viaje.....	22
Tabla 3. Matriz de tasa de producción	22
Tabla 4. Matriz ejemplo de estrato socioeconómico.....	23
Tabla 5. Distribución de áreas y oficinas por edificio.....	38
Tabla 6. Distribución de áreas y oficinas por edificio.....	40
Tabla 7. Variables independientes y dependientes utilizadas para el cálculo de tasas de viajes.....	42
Tabla 8. Tasas de viajes en función de los empleados y las áreas.....	43
Tabla 9. Datos generales de la regresión lineal	45
Tabla 10. Datos estadísticos de la bondad de ajuste	45
Tabla 11. Datos generales de la regresión lineal	46
Tabla 12. Datos estadísticos de la bondad de ajuste	47
Tabla 13. Datos generales de la regresión lineal	48
Tabla 14. Datos estadísticos de la bondad de ajuste	48
Tabla 15. Tasas de viajes en función de los empleados y las áreas.....	50

1. GENERALIDADES

Desarrollo de un modelo de atracción de viajes para edificios con zonas de oficinas en la localidad de Chapinero-Bogotá

LINEA DE INVESTIGACION

Desarrollo de la Ingeniería Civil para ámbitos urbanos

SUBLINEA DE INVESTIGACION

Vías y Transporte

NOMBRE DEL ESTUDIANTE

Julian Alejandro Beltran Cristancho

NOMBRE DEL ASESOR DISCIPLINAR

Ing. Dario Naranjo Torres

NOMBRE DEL ASESOR METODOLÓGICO

Ing. Olga Lucía Vanegas Alfonso

LUGAR DONDE SE REALIZÓ EL ROYECTO

DEPARTAMENTO: Cundinamarca

CIUDAD: Bogotá

ZONA: Localidad de Chapinero

AÑO: 2015

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El transporte es una necesidad básica de cualquier ciudad, todas las personas en busca de objetivos o tareas diarias tienen la necesidad de desplazarse ya sea con el uso de un transporte público o por medios propios. Se puede decir que la atracción de viajes es el proceso mediante el cual se predice el número de viajes que llegarán a una determinada zona según los patrones de comportamiento de los habitantes en las zonas en estudio y los usos del suelo que se den a las áreas que brindan los servicios.

Día a día en toda la ciudad de Bogotá se construyen o desarrollan proyectos de oficinas y de usos mixtos en una misma edificación, estos edificios fomentan la atracción de viajes con diferentes propósitos en este caso el trabajo y el comercio. Con la incorporación y puesta en marcha de la nueva edificación se prevé un cambio en el funcionamiento actual y futuro de la zona en cuanto a movilidad lo que evidencia una interferencia del proyecto dentro del área en análisis.

En los últimos años se ha visto que la ciudad de Bogotá ha tenido un crecimiento en todos sus sectores económicos, debido a la implementación de nuevas economías de desarrollo en todo el distrito capital sin dejar de lado la inyección monetaria por parte del estado a las empresas generadores de empleo, este evento genera un cambio en las necesidades diarias del pueblo bogotano, una de estas es la necesidad de un buen flujo vehicular en la ciudad, por lo cual es necesario generar estudios que puedan parametrizar el comportamiento del flujo vehicular en la ciudad.

La construcción de este tipo de edificaciones fomenta la generación de empleo y eleva la calidad de vida en la ciudad, pero a la vez está generando un gran

problema en cuanto a movilidad. Generalmente el acceso a estos edificios se da por solo una vía que colinda con malla arterial de la ciudad lo que genera un gran impacto al sistema vial y al transporte, creado un gran descontento en los usuarios de las vías aledañas, los cuales se están viendo afectados por serias dificultades para el desplazamiento a sus actividades diarias. Debido a esta problemática se hace importante el conocimiento de la demanda urbana que puedan tener edificaciones de este tipo, motivo por el cual se plantea el presente estudio como una herramienta que hace posible la relación de las variables urbanas con las de transporte. A nuestro caso resulta de interés resaltar que son muy pocos los estudios que a la fecha se han realizado en concreto que busquen predecir comportamiento de viajes con motivo trabajo, lo cual es indispensable para tener un referente hacia un futuro de la movilidad sostenible y así posteriormente un soporte teórico para generar un diagnóstico del flujo vehicular. En este sentido es pertinente preguntar:

¿Cuántos viajes atrae un edificio que alberga oficina y comercio en la localidad de Chapinero de la ciudad de Bogotá?

3. JUSTIFICACION

Uno de los factores más importantes en la ingeniería de transporte tanto a nivel operacional como de planificación es la estimación de los volúmenes generados y atraídos por la implantación de nuevos urbanismos, zonas comerciales, industriales, educacionales etc. La modificación del uso del suelo debe ser estudiada para determinar su impacto sobre la vialidad existente y la necesidad de implementar mejoras sobre la misma o de construir nuevas vías para garantizar un nivel de servicio adecuado tanto conductores como a peatones.

Este proyecto se enfoca en la construcción de un modelo de atracción de viajes. En el caso de varios edificios de oficinas que a su vez albergan una zona comercial por lo cual, se pretende estudiar la forma de desplazamiento por vehículo privado o particular, el modelo permitirá identificar la cantidad de viajes atraídos en este modo de acuerdo a las áreas disponibles en la zona ya sea para transportarse hacia el trabajo, uso del hogar o desplazamientos cortos. El modelos desarrollado utiliza técnicas de modelación de la demanda tradicionales entre las cuales se pueden mencionar el cálculo de viajes a través de tasas simples, clasificación cruzada y análisis de regresión múltiple en combinatoria de diferentes variables para tratar de establecer cual es el que mejor bondad de ajuste revela.

Una vez recopilada esta información es posible generar los valores de las variables explicativas de los modelos de atracción de viajes, para las diferentes dimensiones en que son tratados los viajes. Estos modelos se podrían plantear para replicarse en distintos proyectos urbanísticos que a futuro puedan presentar este problema y así poder generar una posible solución o análisis para el mejoramiento de cada sistema de transporte.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo de atracción de viajes para vehículos particulares en edificios de oficinas en la ciudad de Bogotá.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar la toma de información primaria a través de encuestas que permitan establecer la cantidad de viajes atraídos.
- Determinar las variables independientes involucradas necesarias para la generación de viajes.
- Identificar y aplicar diferentes tipos de modelos de atracción de viajes aplicables en la zona de estudio.
- Evaluar la confiabilidad cómo de los métodos implementados para los métodos ajustados.

5. ANTECEDENTES

- **Número de viajes atraídos por un colegio. Caso de estudio: zona norte de la ciudad de Bogotá D.C (Paula Henao Varona, 2009).**

Este proyecto igualmente de la Universidad de los Andes consistió en determinar el tráfico vehicular generado por la construcción de un colegio en función de las características del espacio donde se iba a construir. Para la realización de este proyecto escogieron nueve colegios de las localidades de Suba, Usaquén y Chapinero donde se realizaron conteos vehiculares en cada colegio durante un periodo de tiempo determinado.

Las variables que utilizaron para este proyecto fueron:

- Área superficial de cada colegio en m².
 - Número de estudiantes en nivel primario.
 - Número de estudiantes en nivel bachillerato.
 - Número de empleados.
 - Número de buses escolares.
 - Número de camionetas escolares.
 - Localidad distrital donde se encuentran ubicados los colegios.
 - Zona geográfica donde se encuentran ubicados los colegios.
-
- **Estudios de generación de viajes a nivel del hogar en la ciudad de Córdoba Argentina (Galarraga, Herz, Marchesini y otros, 2007).**

En este proyecto de investigación se hace un análisis de generación de viajes de las viviendas de la ciudad de Córdoba dividida en 37 zonas con encuestas en 4600 hogares.

Realizaron encuestas registrando los siguientes datos para cada vivienda:

- Cantidad de habitantes por vivienda.
- Edad de los habitantes de cada vivienda.
- Ocupación de los habitantes de cada vivienda.
- Ingreso familiar de cada vivienda.
- Vehículos propios de los habitantes de cada vivienda.

Allí se escogieron las siguientes variables independientes para el estudio:

- Número de habitantes por vivienda.
- Nivel de ingreso familiar (Bajo, Medio, Alto).
- Cantidad de automóviles en cada vivienda.

Finalmente obtuvieron los resultados de generación de viajes por persona por día hábil, generación de viajes por vehículo por cada vivienda.

- **Aglomeración económica y congestión vial: los perjuicios por racionamiento del tráfico vehicular**

Los registros específicos demuestran que la creciente urbanización y la sobrepoblación en ciudades colombianas han contribuido a la alta demanda de la congestión de vehículos debido a esto se han propuesto medidas como el pico y placa en dos ciudades con el mismo problema de tráfico donde se presenta una caracterización a nivel de sector censal de varios aspectos relevantes a la congestión del tráfico vehicular en Bogotá y Medellín resaltando las áreas de cada ciudad en las cuales la situación vehicular es más crítica.

Según el documento de Carlos Alberto Medina y Carlos Eduardo Vélez, en el 2011 efectuaron un estudio estadístico que permitió realizar modelos de estudio para observar la demanda vehicular que se presenta en las ciudades de Bogotá y Medellín, durante metodología que realizaron, plantearon ecuaciones (calidad de vida, propiedad del vehículo, racionamiento de tráfico vehicular y compensación

monetaria), a partir de estos desarrollaron unas tablas que permitieron un estudio de tráfico estadísticamente.

- **Proyecto de acuerdo 171 de 2011 "por el cual se crea en Bogotá distrito capital la tasa de congestión y se dictan otras disposiciones".**

En Bogotá se ha presentado un incremento de automóviles particulares cuyo crecimiento genera congestión en las vías de la ciudad, problemática evidenciada en grandes ciudades como Londres, Ciudad de Panamá, Santiago de Chile, entre otras ciudades, que han definido medidas y soluciones operativas para la disminución del problema, mediante la implementación de tarifas para el tránsito por ciertas vías o carreteras. Aquí en Colombia, estas medidas de cobro se han efectuado sólo en carreteras rurales, con dicho cobro se presenta una mejora a la infraestructura vial que permite un mejor desplazamiento de un punto a otro.

Este proyecto de acuerdo establece parámetros para el cálculo de una tarifa que permite disminuir el problema de congestión que se presenta en las vías de la ciudad, en este proyecto se plantea unas metodologías de cálculo para hallar una tarifa por congestión, en la metodología 1 el señor Ardila en 1995 establece una ecuación de cálculo de costos privados para un automóvil partiendo de costos variables y fijos los cuales son: lubricantes, combustibles, llantas y mantenimiento. Los costos fijos corresponden a los seguros e impuestos, y en las metodologías 2 y 3 plantea un costo de congestión partiendo del tiempo demora y estacionamiento en la vía.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO CONCEPTUAL

6.1.1 Transporte

El transporte es el movimiento de personas y de bienes para llevar a cabo sus tareas y sus objetivos, y para esto que requieren el desplazamiento de una localidad a otra. La necesidad más importante de transportarse es el factor económico, las personas buscan viajes por motivos de trabajo, estudio, comida, negocios, paseos y en general para el mejoramiento de su nivel de vida¹.

Los sistemas de transporte más utilizados son: el sistema de transporte terrestre, sistema de transporte acuático, sistema de transporte aéreo y sistema de transporte ferroviario.

6.1.2 Volúmenes de tránsito

Un volumen de tránsito es el número de vehículo y/o peatones que pasan por una sección de carretera durante un periodo de tiempo específico. Los estudios de volúmenes de tránsito se realizan cuando se quiere determinar algunas características de volumen como:

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA): promedio de conteos realizados en 24 horas todos los días del año.

Tránsito Diario Promedio (TDP): Promedio de conteos realizados en 24 horas durante un número de días mayor a 1.

Volumen de Hora Pico (VHP): número máximo de vehículos que pasan por una sección de carretera durante un periodo de 60 min consecutivos².

Los volúmenes de tránsito absolutos o totales dependiendo de la duración del periodo de tiempo en una sección de carretera:

¹ GARBER, Nicholas; HOEL, Lester. Ingeniería de tránsito y de carreteras. Cengage Learning Editores. México. 2005

Transito Anual (TA): número total de vehículos que pasan durante un año.

Transito Mensual (TM): número total de vehículos que pasan durante un mes.

Transito Diario (TD): número total de vehículos que pasan durante un día³.

6.1.3 Red de Transporte

Una red de transporte como una red compuesta por nudos, rutas y modos de conexión entre ellos. Los nudos son puntos en los que la información, los pasajeros o la carga se reciben, se clasifican y se preparan para su envío si es necesario. Las rutas que conectan los nudos son las conexiones a través de las cuales se transportan mensajes, personas o cosas. Y las conexiones es la distancia medida para llegar desde cada uno de los puntos a todos los otros puntos de la red⁴.

El diseño eficiente de una red de transporte público y de las rutas que la componen es el aspecto que más influye en el desempeño, la atracción, los resultados económicos y la operación misma del sistema.

6.1.4 Planeación del transporte

Uno de los propósitos básicos de la planificación de los transportes urbanos es mejorar las condiciones de desplazamiento de las personas y bienes garantizando el menor costo. Las mejoras pueden realizarse en la infraestructura vial, en los equipos de transporte o mejorando los impactos socioeconómicos y medio ambientales⁵.

³ ALONSO SALOMON, Lauro Ariel; RODRIGUEZ RUFINO, Gabriel J. Carreteras Volumen 8. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida. 2005.

⁴ HESKETT, James L. Cambios creativos en servicios. Ediciones Díaz de Santos. Madrid. 1993

⁵ MOLINERO MOLINERO, Ángel R; SANCHEZ ARELLANO, Luis Ignacio. Transporte público: planeación, diseño, operación y administración. UAEM. México. 1997.

El desarrollo de un proceso de planificación de transporte demuestra su mayor eficacia en economías con menores recursos económicos donde es necesario optimizarlos de la mejor manera.

Oferta del transporte: la oferta del transporte se refiere a la infraestructura que proporciona el servicio para el desplazamiento de las personas en una región urbana (vías, vehículos y reglas de operación). Por estas características la oferta es un servicio y no un bien.

La oferta de transporte se proyecta para atender cierto nivel de demanda, por eso se hace necesario que la oferta se adapte al nivel de demanda, si no es así, el beneficio se pierde⁶.

Demanda del transporte: para poder hacer una planificación del transporte es necesario conocer el comportamiento de las personas y así predecir el flujo de transporte que se va a producir.

Se generan viajes según las actividades que las personas realizan a diario, a este deseo de viaje se le denominan demanda, y es una demanda derivada porque los viajes que se realizan son por la necesidad de las personas de desarrollar sus actividades diarias y no por el simple gusto de viajar.

La demanda puede clasificarse en agregada o desagregada. La agregada son los consumidores que responden a cambios en condiciones futuras mientras que la desagregada son los consumidores simples que se toman como unidad (individuos, hogares, empresas).

Modelo de predicción de demanda en cuatro etapas: el modelo de predicción de demanda en cuatro etapas intenta representar jerárquicamente las decisiones de transporte que toma un usuario. A partir de un punto de origen fijo, donde se encuentra el individuo, se intenta responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cuántos viajes se realizarán (al día, a la semana,...)?
- ¿Cuál será el destino de cada viaje?

⁶ Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. Secretaría de Tránsito y Transporte. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte Tomo II Planeación del transporte urbano. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, D.C. 2005

- ¿Qué modo de transporte se utilizara?
- ¿Qué ruta concreta entre el origen y el destino se elegirá?

Las preguntas anteriores hacen referencia a las cuatro etapas del modelo:

- Etapa 1. *Generación de viajes.*
- Etapa 2. *Distribución de viajes.*
- Etapa 3. *Partición modal.*
- Etapa 4. *Asignación.*

6.1.5 Generación de viajes

La generación de viajes se define como el número total de viajes generados por los hogares de una zona específica. El número de viajes están dados en función del uso del suelo y las características socioeconómicas de la población de una zona.

En la generación de viajes no solo son importantes los realizados por las personas sino también los viajes de mercancías, por eso es por lo que normalmente se utilizan modelos para cuatro grupos que son personas, mercancías, producciones y atracciones. El análisis de la generación de viajes tiene como objetivo: 1) desarrollar una relación entre la producción de viajes y el uso del suelo, 2) estimar el número de viajes generados en una zona con nuevas condiciones del uso del suelo⁷.

Si un viaje tiene un extremo (origen o destino) en el hogar, se dice que es producido en la zona donde está el hogar y es atraído por la otra zona. Cuando se trata de otros viajes, se dicen que son producidos en la zona de origen y atraídos en la zona de destino.

Cuando uno de los extremos es el hogar, el número de viajes producidos en una zona se relaciona con variables como el tamaño de la población, el estado

⁷ ORTÚZAR, Juan de Dios; WILLUMSEN, Luis G. Modelos de Transporte. Universidad de Cantabria. Madrid. 2008.

socioeconómico, la posesión de vehículos. Mientras que los viajes atraído dependen de la actividad que se desarrolle en la zona.

6.1.6 Modelo de generación de viajes

La demanda de transporte que se da en una zona, se da por la necesidad de las personas de desplazarse de un lugar a otro (un origen y un destino) dependiendo de sus actividades diarias. Se puede dividir la demanda en demanda efectiva, demanda insatisfecha y demanda latente; y clasifica los métodos de generación en:

- Modelos agregados. Estos modelos relacionan el total de los viajes generados en una zona con variables como la población, el nivel socioeconómico, número de hogares o familias, número de vehículos, entre otros.
- Modelos desagregados. Estos modelos relacionan el total de viajes generados en los domicilios de la zona con características como: cantidad de personas de cada vivienda, número de automóviles, nivel de ingreso familiar⁸.

6.1.7 Métodos para el análisis de generación/atracción de Viajes

En el proceso de análisis de generación de viajes se prefieren los métodos basados en unidades individuales de muestra tales como personas, familias, ingresos y unidades de vehículos.

Existen varios métodos para el análisis de generación de viajes, los que se van a estudiar en este proyecto son los siguientes:

Análisis de tasas de viajes: este modelo se basa en la determinación de tasas promedio de producción y atracción de viajes generadores en la zona de estudio.

⁸ MOLINERO MOLINERO, Ángel R; SANCHEZ ARELLANO, Luis Ignacio. Transporte público: planeación, diseño, operación y administración. UAEM. México. 1997.

Las tasas de generación se asocian con las categorías relacionadas con el uso del suelo y el número de viajes generados.

Las tasas de generación deben ser conocidas dentro de cada periodo de análisis, para cada propósito de viaje y categoría del hogar.

La formulación matemática es la siguiente:

$$V_{gi} = T_i * V_{li}$$

Donde:

V_{gi} = Número de viajes generados por la actividad i

T_i = Tasa de generación de la actividad i

V_{li} = Variable independiente asociada a la actividad i (unidad en que se expresa la tasa de generación)

La tasa de generación para cada actividad se obtiene dividiendo el número total de viajes generados en la actualidad, entre la sumatoria de la variable independiente que se le asocia (áreas, viviendas, empleos, entre otras). Se expresa con la siguiente formula:

$$T_i = \frac{\sum V_{gi} \text{ actuales}}{\sum V_{li} \text{ actuales}}$$

Clasificación cruzada: el método de clasificación cruzada, para la determinación de la producción de viajes, se basa en la estratificación de n variables independientes en dos o más grupos, creando una matriz n-dimensional conteniendo los valores de la variable dependiente, en este caso las tasas de producción de viajes por propósito y por hogar.

Las variables independientes se eligen de manera de minimizar las desviaciones estándar de las tasas calculadas.

Las variables independientes habitualmente utilizadas son: i) tamaño del hogar; ii) tenencia de automóvil; iii) ingreso familiar; y iv) grado de accesibilidad. En el caso del EPMTRM (estudio preliminar de transporte del área metropolitana) las variables fueron i) nivel socioeconómico, ii) tenencia de automóvil; ii) grado de accesibilidad.

El procedimiento seguido es el siguiente:

1. Se clasifican los hogares encuestados según la estratificación seleccionada, por ejemplo por estrato socio económico y tamaño familiar y se construye una matriz como la siguiente:

Tabla 1. Matriz descripción tamaño familiar

Tamaño familiar	NSE del hogar		
	1	2	3
1			
2		NH_{ij} N° de hogares con NSE=2 y tamaño=2	
3			
4			
5 ó más			

Fuente: ORTÚZAR, Juan de Dios; WILLUMSEN, Luis G. Modelos de Transporte

En cada una de las celdas se coloca el número de hogares correspondientes.

Se determinan los viajes encuestados de acuerdo a la misma estratificación anterior y además por propósito de viaje:

Tabla 2. Matriz tamaño del hogar por uso tipo de viaje

Tamaño del hogar	NSE del hogar											
	1				2				3			
	BHT	BHE	BHO	NBH	BHT	BHE	BHO	NBH	BHT	BHE	BHO	NBH
1												
2						V_{ijk} N° de viajes						
3												
4												
5 ó más												

Fuente: ORTÚZAR, Juan de Dios; WILLUMSEN, Luis G. Modelos de Transporte

En cada celda se contabilizan los viajes correspondientes.

1. Se construye una matriz como la que sigue:

Tabla 3. Matriz de tasa de producción

Tamaño del hogar	NSE del hogar											
	1				2				3			
	BHT	BHE	BHO	NBH	BHT	BHE	BHO	NBH	BHT	BHE	BHO	NBH
1												
2						t_{ijk}						
3												
4												
5 ó más												

Fuente: ORTÚZAR, Juan de Dios; WILLUMSEN, Luis G. Modelos de Transporte

En cada celda se calcula el número de producción.

$$t_{ijk} = \frac{V_{ijk}}{NH_{ij}}$$

Dónde:

t_{ijk} = Tasa de producción de viajes de hogares de nivel socioeconómico i, tamaño j y con propósito k.

V_{ijk} = Número de viajes de hogares de nivel socioeconómico i, tamaño j y con propósito k.

NH_{ij} = Número de hogares de nivel socioeconómico i y tamaño j.

Este método supone que las tasas de producción de viajes, determinadas para cada una de las categorías definidas por los estratos de las variables independientes, permanecen invariables en el tiempo.

Las tasas de producción por el nivel de accesibilidad y estrato socioeconómico por todo propósito utilizadas son las siguientes:

Tabla 4. Matriz ejemplo de estrato socioeconómico.

Nivel de Accesibilidad (1)	Estrato Socioeconómico						Total
	Alto		Medio		Bajo		
	C/Auto	S/Auto	C/Auto	S/Auto	C/Auto	S/Auto	
I	13,55	8,95	8,93	5,75	8,09	3,82	5,69
II	12,45	8,55	9,02	5,51	6,81	4,63	7,25
III	11,84	5,32	7,08	6,05	5,41	4,14	5,47
IV	8,75	5,21	6,88	4,73	5,56	3,80	4,95
V	7,45	6,40	4,74	3,74	4,43	3,78	4,13
Promedio	10,69	6,91	7,25	5,12	5,75	3,97	5,40

Fuente: ORTÚZAR, Juan de Dios; WILLUMSEN, Luis G. Modelos de Transporte

Se observa como varían las tasas de producción de viajes según el NSE, la posesión de automóvil y la accesibilidad.

Existen tablas similares para cada uno de los propósitos considerados. El nivel socioeconómico fue medido a través del siguiente indicador.

$$I_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sqrt{P_{ij} \cdot C_{ij}}} \cdot \sqrt{\sum_k T_{ijk}}$$

Siendo:

I_{ij} = índice socioeconómico de la vivienda j en la zona i .

A_{ij} = número de ambientes, sin contar cocina y baño, con que cuenta la vivienda.

P_{ij} = número de personas que habitan en la vivienda.

C_{ij} = calidad o categoría de la vivienda.

T_{ijk} = tipo de ocupación de la persona k .

Los viajes futuros producidos por cada zona se calculan multiplicando las tasas de generación para cada categoría de hogar por la cantidad de los mismos que se prevé existirá en cada una de dichas zonas.⁹

Análisis de regresión lineal: El análisis de regresión tiene como propósito obtener una función sencilla de la variable explicativa, que sea capaz de describir lo más detalladamente posible la variación de la variable dependiente. Existen varios tipos de regresión como el lineal, logarítmico, exponencial y potencial. La regresión lineal es el modelo matemático más usado para hallar una relación entre una variable (regresión simple) o más variables (regresión múltiple) independientes $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. La expresión general de este modelo es:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots, b_nx_n + e$$

El ITE (*Institute of Transportation Engineers*) desarrollo el *Trip Generation* para estimar el número de viajes generados en diferentes tipos de usos del suelo en los Estados Unidos y Canadá que sirven como guía para cualquier modelo de generación de viajes.

El *Trip Generation* define tres métodos para realizar un modelo de generación de viajes:

⁹ Modelos de demanda de transporte, J.D. Ortuzar. Ed. alfaomega, 2000.

1. Por el dibujo de número de viajes versus el tamaño de la variable independiente relacionada con cada estudio, obteniéndose gráficamente una estimación aproximada de viajes.
2. Por la media ponderada TGPP (*tasa de generación promedio ponderada*) donde se determina una relación lineal entre el número de viajes y la variable independiente, donde se obtiene una recta que pasa por el origen con pendiente igual a la TGPP. Lo anterior quiere decir que cuando la variable es cero el número de viajes también lo es. La TGPP se calcula de la siguiente forma:

$$TGPP = \frac{\sum_i^n = 1N_i}{\sum_i^n = 1V_i}$$

Dónde: n = número de habitantes.

N_i = número de viajes generados en el conjunto.

V_i = cantidad de variable independiente en el conjunto.

Luego se calcula la desviación estándar, que se define como la dispersión de las tasas obtenidas para cada variable con respecto a la media (TGPP)¹⁰:

$$DE = \sqrt{\frac{\sum i (t_i - TGPP)^2}{n - m}}$$

Dónde: t_i = valores observados de la variable dependiente (viajes zonales)

n = número de casos

m = número de parámetros estimados en la ecuación de regresión

¹⁰ Modelos de demanda de transporte, J.D. Ortuzar. Ed. alfaomega, 2000.

Esta desviación estándar no debe superar el 110% de la TGPP: por ejemplo si la TGPP es de 40 y la DE= 60 la desviación estándar representa el 150% de la TGPP (en este caso no sería recomendable usar la TGPP).

3. Por una ecuación de regresión relacionando términos de viajes al tamaño de la variable independiente. La ecuación de regresión define la línea de mejor ajuste a los puntos de los datos obtenidos. El uso de esta ecuación permite una estimación directa de los números de viaje, basado en la variable independiente.

Según el *Trip Generation* se debe utilizar la ecuación de regresión cuando:

- La variable independiente este dentro del rango de datos y la gráfica de datos este compuesta de al menos 20 puntos.
- Cuando el coeficiente de correlación (r^2) sea mayor o igual que 0.75, la variable independiente este dentro de los datos en la gráfica y el cociente entre la desviación estándar y la tasa promedio ponderada sea menor o igual que 1.1.

Se debe usar la tasa promedio ponderada (*TGPP*) cuando:

- Existan al menos tres datos.
- La variable independiente se encuentre dentro del rango de datos.
- El cociente entre la desviación estándar y la tasa promedio ponderada sea menor o igual a 1.1.
- El coeficiente de correlación (r^2) sea menor que 0.75 o no sea provista ninguna ecuación de regresión.¹¹

¹¹ Modelos de demanda de transporte, J.D. Ortuzar.Ed. alfaomega, 2000.

6.1.8 Análisis estadístico de los datos de un modelo de generación de viajes

Para establecer un modelo de Generación de Viajes se deben tener en cuenta las siguientes medidas de variables estadísticas:

- Media aritmética: es la suma de los valores de la variable independiente dividida por el número total de valores. El valor resultante es un valor típico siendo un punto de equilibrio y además puede sustituir el valor de cada dato de la serie sin cambiar el total.

$$\mu = \frac{\sum x}{N}$$

Donde X es la variable y N el número de datos.

- Desviación estándar: es una medida de variabilidad de datos, la raíz cuadrada del promedio de las desviaciones al cuadrado a partir de la media. Se utiliza para la predicción y para la medición de una unidad estándar con relación a la media.

$$DE = \sqrt{\frac{\sum (X - \mu)^2}{N - 1}}$$

Donde X es la variable, μ la media aritmética y N el número de datos.

- Rango: es la diferencia entre el dato mayor menos el dato menor dentro de un conjunto de datos.

$$R = X_{MAX} - X_{MIN}$$

Donde Xmax es el valor máximo de la serie de datos y Xmin es el valor mínimo de la serie de datos.

- Coeficiente de correlación: es la medida de la intensidad de la relación lineal entre dos variables. El valor del coeficiente de correlación puede tomar valores desde menos uno hasta uno, indicando que entre más cercano sea a uno, más fuerte es la relación lineal entre las dos variables y entre más cercano a cero sea el valor del coeficiente de correlación más débil es la relación lineal entre las dos variables.

$$r = \frac{\sum_i(Y_i - Y) - (X_i - X)}{\sqrt{[\sum_i(Y_i - Y)^2] [\sum_i(X_i - X)^2]}}$$

Donde Y_i es la variable dependiente, X_i es la variable independiente, Y es la media de la variable dependiente y X la variable independiente.

- Ecuación de regresión: esta ecuación define la línea que mejor se ajusta a los datos de los puntos obtenidos. El uso de esta ecuación permite una previsión directa de los términos de viaje, basado en la variable independiente.

$$Y = a + bX$$

Donde a es el valor de Y cuando $X=0$, b es la pendiente de la recta y X es la variable independiente.

- Principio de mínimos cuadrados: es la técnica empleada para obtener la ecuación de regresión, mediante un ajuste objetivo de una línea recta a una serie de datos. Este método suma las desviaciones verticales de los valores observados a partir de la línea recta ajustando los valores a cero y suma los cuadrados de todas las desviaciones obteniendo un valor menor que la suma de las desviaciones verticales al cuadrado a partir de cualquier otra línea recta.

$$a = \frac{\sum_i x_i^2 \sum_i y_i - \sum_i X_i \sum_i X_i y_i}{n \sum_i x_i^2 - (\sum_i X_i)^2}$$

Donde Y es la media de la variable dependiente, X la media de la variable independiente y b la pendiente de la recta.

$$b = \frac{n\sum_i Y_i X_i - \sum_i Y_i \sum_i X_i}{n\sum_i x_i^2 - (\sum_i X_i)^2}$$

Donde n es el número de datos, X es el valor de la variable independiente y Y el valor de la variable dependiente¹².

6.2 MARCO GEOGRAFICO

6.2.1 LOCALIDAD DE CHAPINERO

La localidad de Chapinero es la número 2 de Bogotá, está ubicada en el centro-oriente de la ciudad y limita, al norte, con la calle 100 y la vía a La Calera, vías que la separan de la localidad de Usaquén; por el occidente, el eje vial Autopista Norte-Avenida Caracas que la separa de las localidades de Barrios Unidos y Teusaquillo; en el oriente, las estribaciones del páramo de Cruz Verde, la Piedra de la Ballena, el Pan de Azúcar y el cerro de la Moya, crean el límite entre la localidad y los municipios de La Calera y Choachí. El río Arzobispo (calle 39) define el límite de la localidad al sur, con la localidad de Santa Fe. Chapinero tiene una extensión total de 3.898,96 hectáreas con un área rural de 2.664,25 ha (68%) y un área urbana de 1.234,71 ha (32%).

¹² Modelos de demanda de transporte, J.D. Ortuzar. Ed. alfaomega, 2000.

Figura 1. Localización Urbanización Parque Campestre



Fuente: http://www.bogotamicidad.com/_Images/mapa.gif

Datos demográficos

- Número de habitantes: 131.027
- Extensión: 3.899 Hectáreas

UPZ

- 88 El Refugio
- 89 San Isidro Patios
- 90 Pardo Rubio
- 97 Chicó Lago
- 99 Chapinero
- UPR (Unidad de Planeación Rural): Vereda El Verjón¹³.

¹³ Descripción general de localidad de Chapinero, [artículo en internet] <http://www.bogota.gov.co/localidades/chapinero>

La localidad cubre 3.899 hectáreas, el 35,1% es considerado área urbana; el 23,1%, área amanzanada; el 20,4%, Área residencial, y el 21,2%, área rural protegida.

En su aspecto geomorfológico, se presentan dos unidades claramente distinguibles. La zona plana, suavemente ondulada, y el piedemonte de los cerros, constituido por una llanura cuaternaria de origen fluvio-lacustre. Y la zona montañosa, vertiente oriental de la Cordillera Oriental, compuesta estratigráficamente por formaciones sedimentarias de rocas arenosas, duras y resistentes a la erosión, y por rocas arcillosas blandas, con edades del cretáceo superior al terciario. Las rocas más antiguas, cretáceas, de Chipaque, sobre las cuales se ubica el grupo Guadalupe, y, en orden ascendente, las formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá, de origen terciario. Finalmente, estos grupos pueden estar cubiertos superficialmente por depósitos recientes cuaternarios de diferente composición y espesor.

La localidad se encuentra dividida en cuatro zonas (cada una con su respectiva desagregación por sectores) de acuerdo con criterios de estratificación socioeconómica y división geomorfológica.

Zona 1: área rural, compuesta por tres sectores y una vereda.

Zona 2: área urbana del piedemonte de los Cerros Orientales, habitada por sectores populares, compuesta por cuatro sectores.

Zona 3: área urbana de conformación múltiple, comprendida entre el límite de los Barrios populares de los cerros y la Avenida Caracas, de la calle 39 a la calle 67, compuesta por dos sectores.

Zona 4: área urbana de conformación múltiple, comprendida entre el límite de los Cerros Orientales y la Avenida Caracas y su prolongación por la Autopista Norte, desde la calle 67 hasta la calle 100, compuesta por tres sectores.

Esa zonificación y estratificación social en el ámbito local muestra una concentración de la población en los estratos 4, 5 y 6 y su distribución entre las zonas 3 y 4, pero una porción de población se sitúa en el estrato 2, entre las zonas 1 y 2, que constituye el conglomerado social zonal más vulnerable¹⁴

6.3 MARCO LEGAL

De acuerdo a las disposiciones legales vigentes en territorio colombiano y en contexto relacionados con el uso del suelo en la ciudad de Bogota se encuentran las siguientes disposiciones legales vigentes que fueron de aplicabilidad para el desarrollo del proyecto:

NORMATIVA	CONTENIDO RELACIONADO
DECRETO 619 DE 2000	Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para Santa Fe de Bogotá, Distrito Capital.
DECRETO 469 DE 2003	Por el cual se revisa el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.
DECRETO 190 DE 2004	Por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003.
DECRETO 1469 DE 2010	Por el cual se reglamentan las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos y se expiden otras disposiciones.

¹⁴ Descripción general de localidad de Chapinero, [artículo en internet]
<http://www.bogota.gov.co/localidades/chapinero>

7. DISEÑO METODOLOGICO

En este capítulo se presenta la metodología que permitió desarrollar el presente trabajo. Se detallará aspectos como el tipo de investigación, las técnicas y procedimientos que fueron utilizados para llevar a cabo dicha investigación.

7.1 TIPO DE INVESTIGACION

El tipo de investigación de este proyecto es mixto ya que reúne características las cuales son aportes cualitativos y cuantitativos como tal de la población en general de la localidad de Chapinero.

7.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION

La presente investigación tiene un enfoque mixto debido a que es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio con una serie de investigaciones para responder al planteamiento del problema.

7.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población del proyecto de investigación la constituyen las personas que trabajan en la localidad de Chapinero.

7.4 FUENTES DE LA INFORMACION

Las fuentes de información de la investigación que se utilizaron en la investigación y modelación que nos permitieron tener la facultad técnica, teórica y práctica permitiendo el acceso y aplicación de los conocimientos adquiridos sobre el tema de estudio. En este caso se trabajo con información primaria tomadas directamente de las administraciones de los edificios de oficinas objeto de estudio.

8. FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO

FASE 1	
Selección de los edificios de oficinas	
No.	ACTIVIDAD
1	Vista preliminar a varios que se encontraban dentro de la localidad de Chapinero donde se evidencie que se tiene un uso para oficinas
2	Acercamiento a las administraciones de los edificios para explicar la naturaleza del proyecto y explorar factibilidad de realización de censo
3	Selección de edificaciones en función de la respuesta obtenida

FASE 2	
Recopilación de información	
No.	ACTIVIDAD
1	Obtención de las áreas netas de oficina por cada piso a través de consultas realizadas a los administradores
2	Consulta del numero de estacionamientos disponibles en cada oficina que pertenece al edificio
3	Censo de medio de transporte en el que llegaron los empleados a la oficina

FASE 3	
Análisis, desarrollo y calibración de los modelos	
No.	ACTIVIDAD
1	Digitalización de la información recopilada en una base de procesamiento de cálculo tipo Excel
2	Análisis de la base datos para obtener las tendencias generales asociadas a patrón de viajes
3	Desarrollo y calibración de los modelos por el método de tasas,

	clasificación cruzada y regresión lineal múltiple
4	Análisis de los resultados obtenidos y selección de los modelos con mas ajuste
5	Generación de conclusiones y recomendaciones

9. CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

6.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS DE OFICINAS

Para la selección de los edificios de oficinas se realizaron una serie de visitas a diferentes edificaciones que se encontraban dentro de la localidad de Chapinero, buscando el acercamiento a las administraciones de los mismos con el fin de obtener datos relacionados con las áreas disponibles así como información asociada a los empleados adscritos a cada oficina.

En este sentido se logro obtener los datos necesarios de tres (3) edificaciones que se relacionan continuación:

- Edificio 1: Carrera 12A No 79-27

Figura 2. Vista del edificio ubicado en la Carrera 12A No 79-27



Fuente: Elaboración propia

- Edificio 2: Carrera 13 No 77-22

Figura 3. Vista del edificio ubicado en la Carrera 13 No 77-22



Fuente: Elaboración propia

- Edificio 3: Calle 68 No. 12-21:

Figura 4. Vista del edificio ubicado en la Carrera 13 No 77-22



Fuente: Elaboración propia

Considerando que las administraciones guardan cierta restricción sobre la información asociada a sus edificaciones solo fue posible acceder a la siguiente información:

- Número de oficinas total en el edificio
- Número de oficinas por piso en cada oficina
- Área neta de cada oficina en conjunto medida en m²
- Número total de empleados por oficina
- Número total de empleados por piso
- Número de empleados que llegaron a la oficina en vehículo particular (moto o auto)

Los datos asociados a la llegada en vehículo particular corresponden a un día normal de trabajo, por lo cual los resultados para los modelos trabajados corresponden a viajes atraídos por día y motivo trabajo.

La información anteriormente mencionada fue consolidada en una base de datos con ayuda de Microsoft Excel a partir de la cual se inicio el procesamiento de la información.

6.5 ESTADÍSTICAS GENERALES

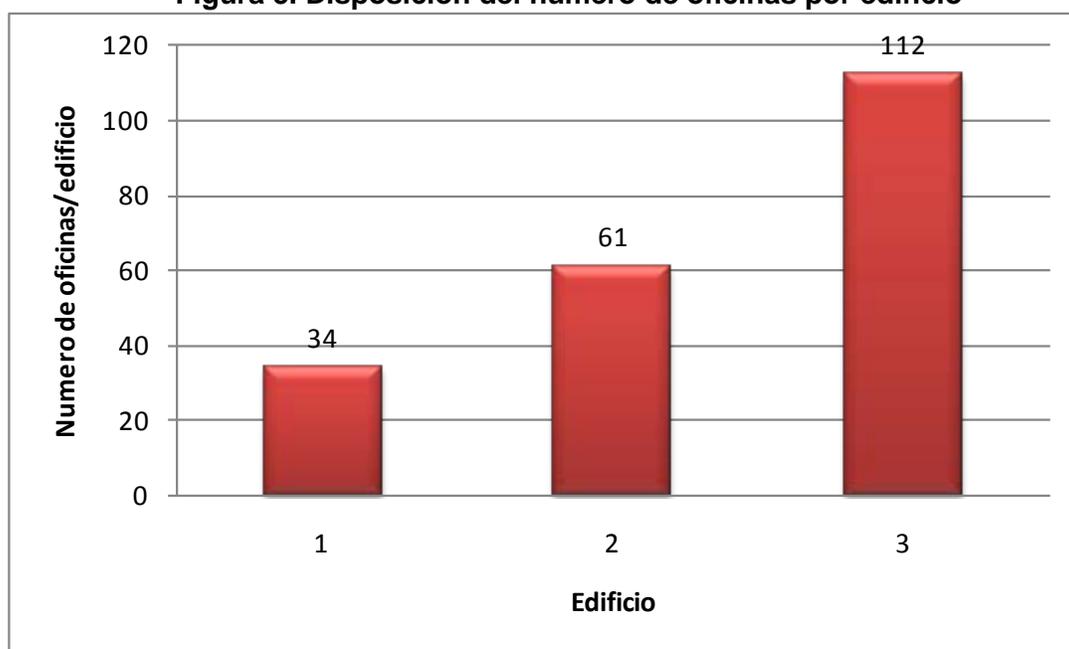
Tal y como se menciona párrafos atrás, se realizó una toma de información en tres (3) edificios de oficinas de la localidad de Chapinero, a su vez se realizó un inventario del área de oficinas del que disponía cada edificación el cual se resume a continuación:

Tabla 5. Distribución de áreas y oficinas por edificio

Edificio	Número de oficinas	Área bruta de oficinas (m2)	Promedio metros cuadrados por oficina (m2/oficina)
1	34	2483	73
2	61	3674	60,2
3	112	7578	67,7
Total	207	13735	66,9

Fuente: Elaboración propia

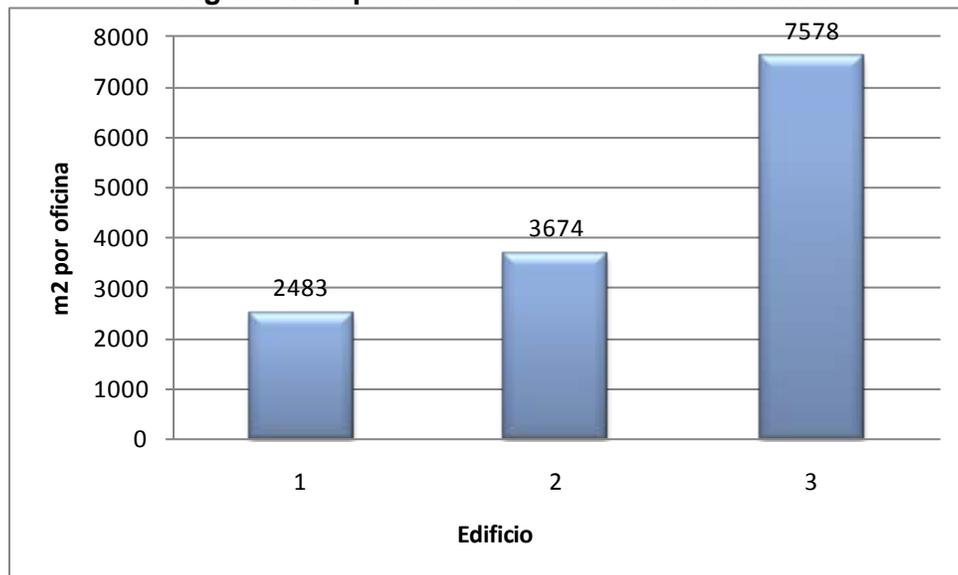
Figura 5. Disposición del número de oficinas por edificio



Fuente: Elaboración propia

En total se tiene una base de 207 oficinas que conforme se evidencia en la Figura 5 y la Figura 6 totalizan 13735 m2, en este caso el área por edificio es proporcional al número de oficinas disponibles..

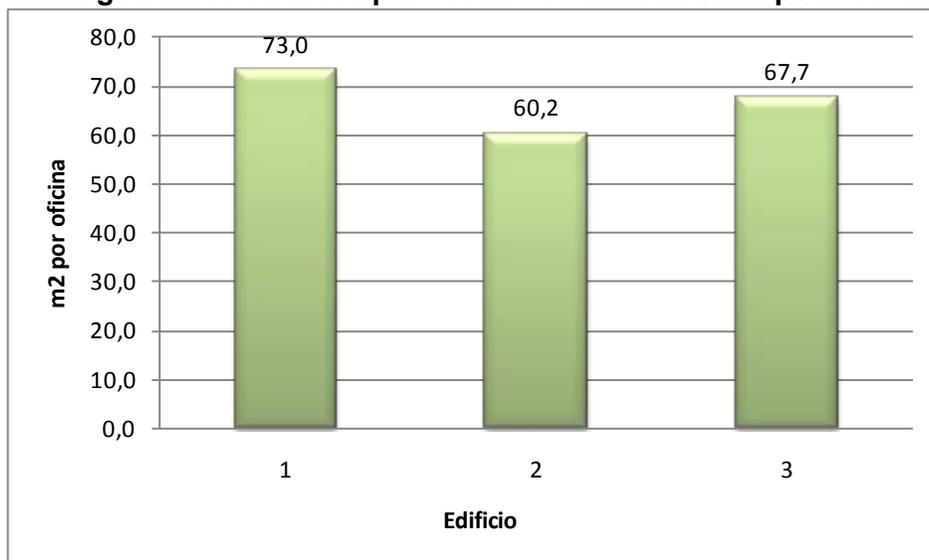
Figura 6. Disposición del área de oficina edificio



Fuente: Elaboración propia

Al realizar un análisis de los metros cuadrados que en promedio dispone cada oficina se tiene que el mismo oscila entre los 60,2 m2 y los 73 m2 por cada una, esto indica que existe un patrón establecido para el ara promedio en la localidad de Chapinero.

Figura 7. Relación de promedio metros cuadrados por oficina



Fuente: Elaboración propia

Si se realiza un análisis del número de personas que laboran (empleados) y el número de ellos que poseen vehículos se tienen las siguientes tendencias:

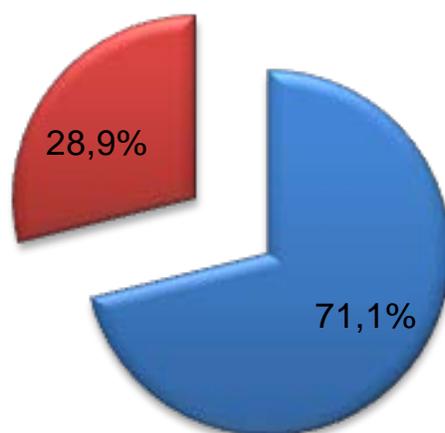
Tabla 6. Distribución de áreas y oficinas por edificio

Edificio	Total empleados por edificio	Total empleados por edificio con vehículo propio	Promedio metros cuadrados por oficina (m2/oficina)
1	157	108	73
2	240	177	60,2
3	492	347	67,7
Total	889	632	66,9

Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Porcentaje de empleados con vehículo particular

■ Con vehículo particular ■ Sin vehículo particular

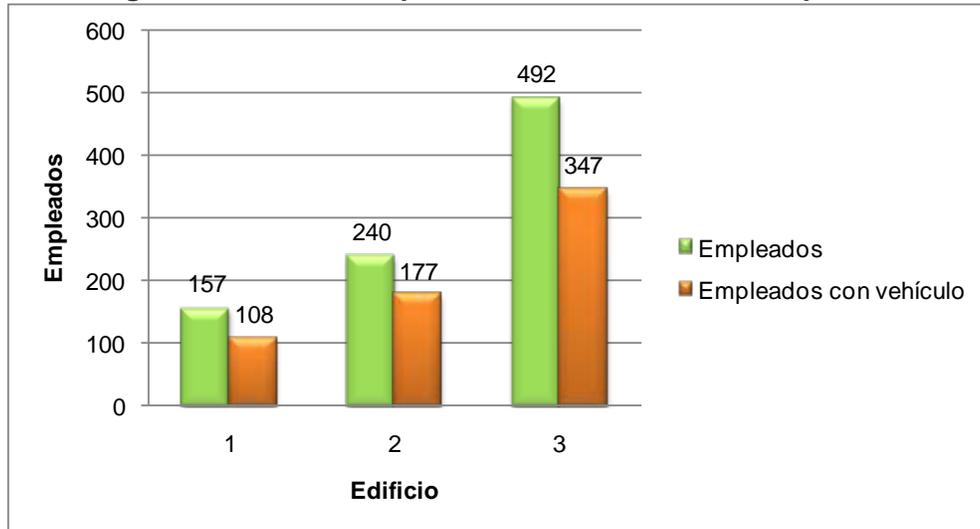


Fuente: Elaboración propia

En el caso especial de la localidad e Chapinero objeto de análisis de este proyecto, se identifica que la tenencia de vehículo particular para personas que

desarrollan labores de índole administrativa, es bastante alta, más de un 70% de estos trabajadores poseen vehículo o moto propia que les permite movilizarse.

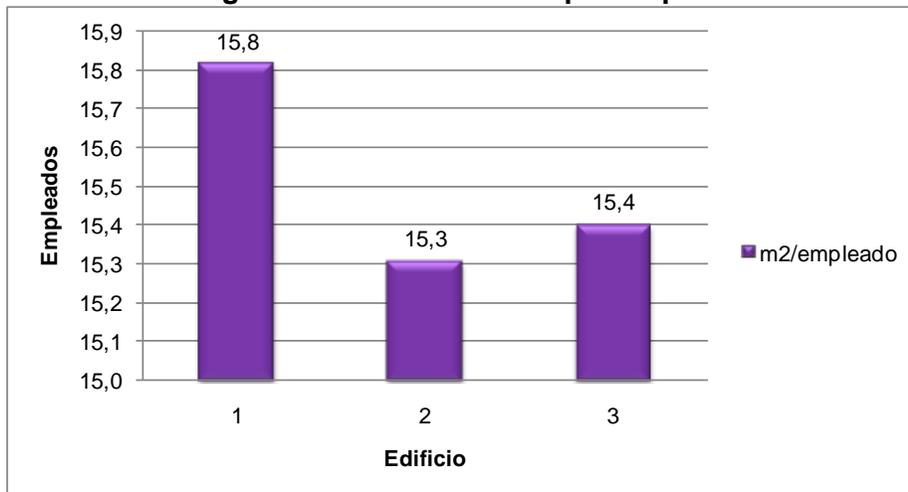
Figura 9. Relación de promedio metros cuadrados por oficina



Fuente: Elaboración propia

De lo presentando en la Figura 9, el número de empleados con vehículo propio es equivalente al número de viajes en vehículo particular, lo anterior suponiendo que cada uno de ellos lo utiliza para desplazarse hacia su lugar de trabajo.

Figura 10. Relación de m2 por empleado



Fuente: Elaboración propia

A partir de ahora se presenta el desarrollo de los diferentes modelos de atracción de viajes que toman como variable independiente el área de oficinas y el número de empleados y la variable dependiente el número de viajes atraídos por día.

Es importante mencionar que cada uno de los procesos mostrados a continuación toma como base el día es decir que el modelo explica el total de viajes producidos con motivo trabajo para un día de normal comportamiento.

6.6 OBTENCION DE UN MODELO A PARTIR DE TASAS SIMPLES

El modelo de tasas simples se basa en calcular relaciones directas entre las variables dependientes e independientes, en este caso la variable dependiente correspondió al número de viajes o número de personas con vehículo particular y la variable independiente las áreas netas de oficina así como la población total o número de empleados.

Tabla 7. Variables independientes y dependientes utilizadas para el cálculo de tasas de viajes

Edificio	Viajes vehículo particular por día	Área bruta de oficinas (m2)	Total empleados
1	108	2483	157
2	177	3674	240
3	347	7578	492
Total	632	13735	889

Fuente: Elaboración propia

Tal y como se muestra en la Tabla 8 se puede deducir que en promedio se atraerán 0,046 viajes/m² de oficina disponible y un promedio de 1,41 viajes por cada empleado contratado o que allí labore.

Tabla 8. Tasas de viajes en función de los empleados y las áreas

Edificio	Viajes vehículo particular por día en función del área de oficina(viajes/m2)	Viajes vehículo particular por día en función del número de empleados (viajes/empleador)
1	0,043	1,45
2	0,048	1,36
3	0,046	1,42
Promedio	0,046	1,41

Fuente: Elaboración propia

6.7 OBTENCION DE LAS ECUACIONES POR EL METODO DE CLASIFICACION CRUZADA

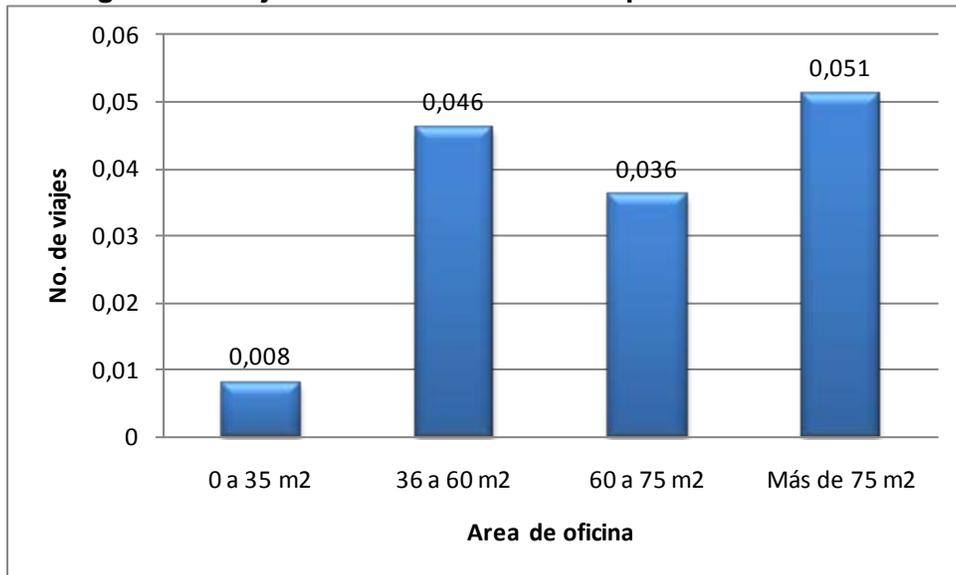
Las clases o segmentos consideraron una partición de dos variables: la áreas por oficina y el número de personas que viajan o con vehículo particular en cada oficina, en este sentido se subcategorizaron cuatro (4) segmentos para cada variable. De acuerdo al método analizado en el capítulo del marco conceptual, siguiendo el análisis de clasificación cruzada se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 9. Tasas de viajes por el método de clasificación cruzada

Número total de personas en la oficina	Area por oficina (m2)				
	0 a 35 m2	36 a 60 m2	60 a 75 m2	Más de 75 m2	Promedio
1 a 3 personas	0,030	0,038	0,025	0,022	0,029
4 o 6 personas	0,000	0,061	0,045	0,038	0,036
7 a 9 personas	0,000	0,083	0,075	0,057	0,054
10 o más personas	0,000	0,000	0,000	0,087	0,022
Promedio	0,008	0,046	0,036	0,051	0,035

Fuente: Elaboración propia

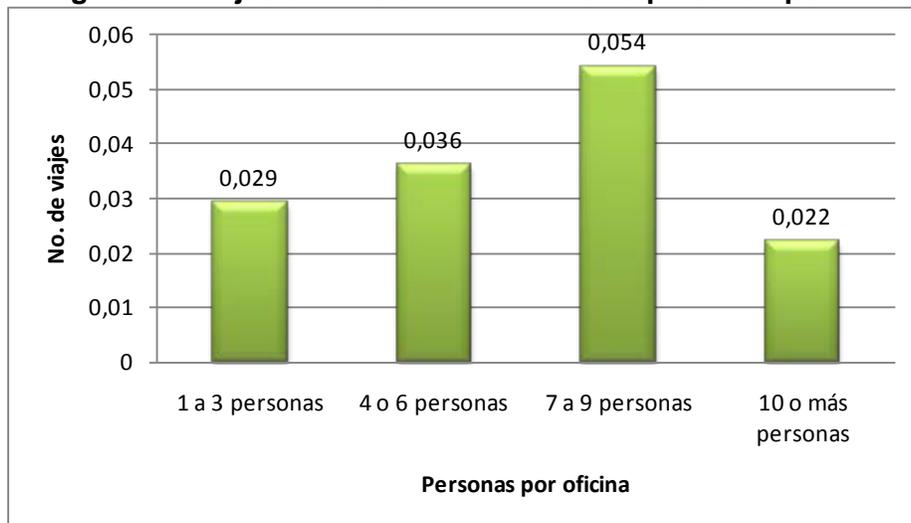
Figura 11. Viajes en función del área disponible en cada oficina



Fuente: Elaboración propia

La clasificación cruzada permite realizar análisis de tasas de viajes para diferentes categorías es así como la tabla anterior presenta el promedio de viajes particulares que se esperan lleguen o sean atraídos a un edificio de oficinas en función del área disponible, en este caso el promedio se encuentra alrededor de los 0,035 viajes/m² de oficina disponible.

Figura 12. Viajes en función del número de personas por oficina



Fuente: Elaboración propia

6.8 OBTENCION DE LAS ECUACIONES POR EL METODO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE

Para este caso se tendrán en cuenta dos variables (2) variables dependientes siendo las mismas

- El área disponible en oficina, medida en m²
- El número de personas que trabajan en esta cada oficina.

La variable independiente corresponde al número de viajes de personas que llegan en vehículo particular.

6.8.1 Regresión lineal múltiple con la variable “área disponible en oficina”

Tabla 9. Datos generales de la regresión lineal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,438762213
Coeficiente de determinación R ²	0,192512279
R ² ajustado	0,188573315
Error típico	0,906057996
Observaciones	207

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Datos estadísticos de la bondad de ajuste

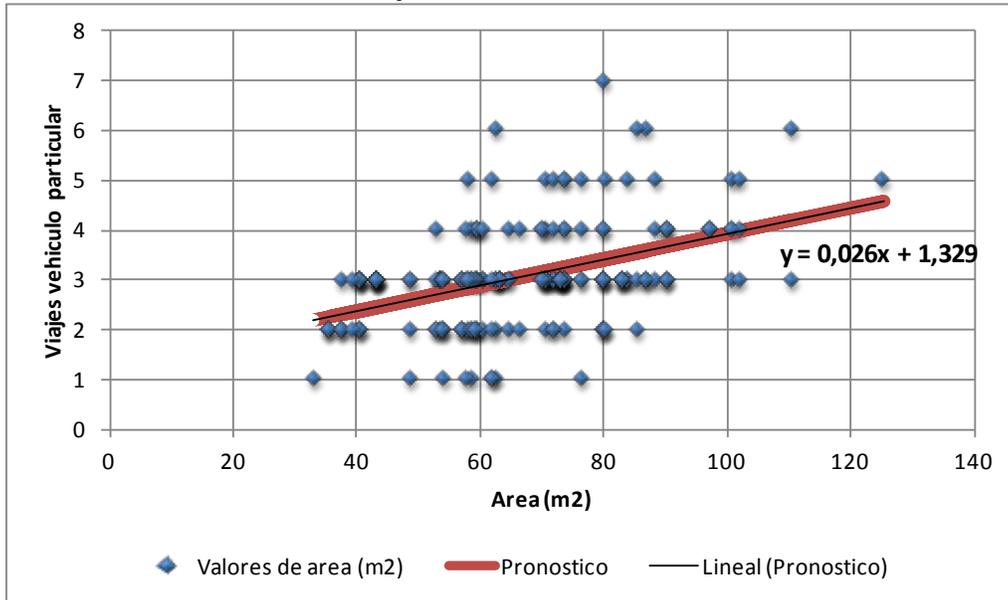
<i>Criterio</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	1,328963288	0,25454197	5,220998668
Variable area	0,025982987	0,003716643	6,990982021

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 9 y la Tabla 10 presentan los resultados de análisis estadísticos de la base de datos para una regresión con un ajuste del tipo lineal tomando una sola variable independiente, en este caso el área disponible en cada oficina. Como resultado se evidencia que los coeficientes de ajustes (Coeficiente de determinación R²) son muy bajos y le Error Típico demasiado alto lo cual revela

que no existe una relación que pueda correlacionar el comportamiento de una variable respecto a la otra.

Figura 13. Relación grafica del número de viajes en vehículo particular y el área disponible en cada oficina



Fuente: Elaboración propia

Dando validez a lo expuesto anteriormente se ha realizado una grafica que presenta las dos variables analizadas poniendo en evidencia que no existe una correlación ya que las dispersiones entre las variables medibles y las proyectadas distan mucho de tener una tendencia de ajuste.

6.8.2 Regresión lineal múltiple con la variable “numero de personas que trabajan” o “empleados”

Tabla 11. Datos generales de la regresión lineal

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,950841041
Coefficiente de determinación R ²	0,904098686
R ² ajustado	0,903630875
Error típico	0,312248466
Observaciones	207

Fuente: Elaboración propia

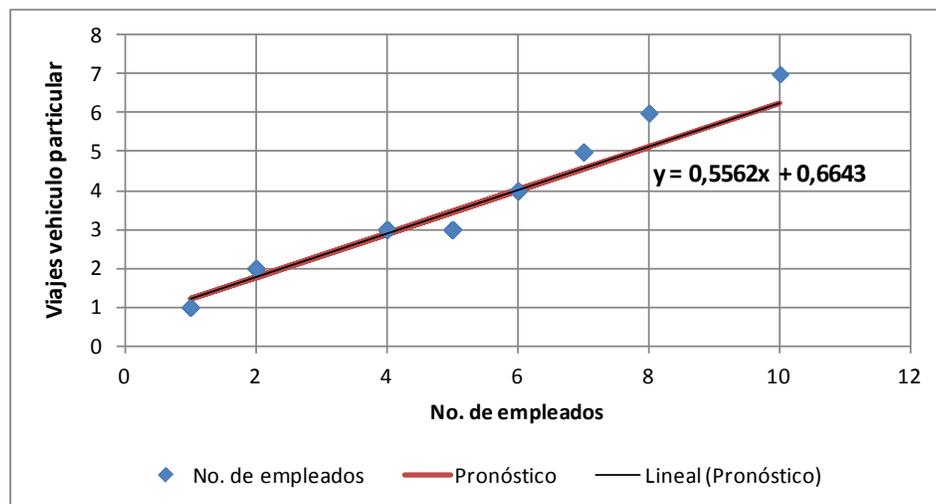
Tabla 12. Datos estadísticos de la bondad de ajuste

<i>Criterio</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	0,664300219	0,058513037	11,35302916
Variable area	0,556231558	0,012652695	43,96150691

Fuente: Elaboración propia

Paralelamente se realizó un análisis estadístico para una regresión con un ajuste del tipo lineal tomando la otra variable independiente: “número de personas que trabajan en cada oficina”. Como resultado se evidencia que los coeficientes de ajuste (Coeficiente de determinación R^2) son mejores que el análisis realizado con la variable “área disponible en oficina”, nótese que proporcionalmente el Error Típico disminuyo.

Figura 14. Relación grafica del número de viajes en vehículo particular y el número de empleados en cada oficina



Fuente: Elaboración propia

La Figura 14 presenta el grafico de la línea de ajuste respecto a los valores encontrados dentro de la base de datos, allí se observa una tendencia lineal de los datos observados y de la ecuación que interpola estas diferencias.

6.8.3 Regresión lineal múltiple con las variables “numero de personas que trabajan” y “área”

Finalmente se decidió realizar un ajuste lineal múltiple para las dos variables de manera simultánea, siguiendo la metodología antes expuesta se calcularon las estadísticas asociadas a este proceso. En la Tabla 14 se resumen los coeficientes que acompaña a cada variable que de acuerdo a los análisis se resumiría de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l} \# \text{ de viajes en} \\ \text{vehículo particular} \end{array} = 0.002 * (\text{Área} \\ \text{disponible en cada} \\ \text{oficina}) + 0.566 * (\# \text{ de} \\ \text{empleados por} \\ \text{oficina})$$

En este caso el coeficiente de determinación R^2 es superior al 90% conforme se aprecia en la Tabla 13 y a su vez el error típico es relativamente bajo. Paralelamente se encuentra que el intercepto de la ecuación es bajo, lo cual deriva en hacerlo un modelo “mejor” toda vez que si los valores de las variables tienden a cero no sobreestimarán viajes por cuanta de la aplicación de esta ecuación.

Tabla 13. Datos generales de la regresión lineal

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,95136504
Coeficiente de determinación R^2	0,905095439
R^2 ajustado	0,904165002
Error típico	0,311381942
Observaciones	207

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Datos estadísticos de la bondad de ajuste

<i>Criterion</i>	<i>Coefficients</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	0,76202502	0,08866889	8,59405187

Área (m2)	0,00214527	0,00146561	-1,46374467
Número de empleados	0,56662374	0,0144779	39,137161

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se verifica la correspondencia de los estadísticos t, en este caso presentan una bondad de ajuste que sobrepasa una prueba de hipótesis de dos colas con un nivel de confianza mayor al 95%, de acuerdo a la tabla t-estudent

10. CONCLUSIONES

En total se realizar tres (3) análisis de modelos para atracción de viajes: Modelos de tasas simples, Clasificación cruzada y Regresión lineal múltiple a partir de los cuales se tiene los siguientes resultados:

6.8.4 Modelo de tasas simples

Tal y como se resume en la Tabla 15, si se desea estimar cuantos viajes atrae un edificio de oficina en la localidad de chapinero se estimo una tasas de 0,046 viajes/m² disponible; de otra parte si se desea estimar el numero de viajes atraídos en función de las personas que laboras se tiene una tasa de 1,41 viajes/empleado.

Tabla 15. Tasas de viajes en función de los empleados y las áreas

Edificio	Viajes vehículo particular por día en función del área de oficina(viajes/m²)	Viajes vehículo particular por día en función del número de empleados (viajes/empleado)
1	0,043	1,45
2	0,048	1,36
3	0,046	1,42
Promedio	0,046	1,41

Fuente: Elaboración propia

6.8.5 Clasificación cruzada

Tal y como se resume en la Tabla 15, si se desea estimar cuantos viajes atrae un edificio de oficina en la localidad de chapinero se estimo una tasas de 0,046 viajes/m² disponible; de otra parte si se desea estimar el número de viajes atraídos en función de las personas que laboras se tiene una tasa de 1,41 viajes/empleado.

Tabla 9. Tasas de viajes por el método de clasificación cruzada

Número total de personas en la oficina	Area por oficina (m2)				
	0 a 35 m2	36 a 60 m2	60 a 75 m2	Más de 75 m2	Promedio
1 a 3 personas	0,030	0,038	0,025	0,022	0,029
4 o 6 personas	0,000	0,061	0,045	0,038	0,036
7 a 9 personas	0,000	0,083	0,075	0,057	0,054
10 o más personas	0,000	0,000	0,000	0,087	0,022
Promedio	0,008	0,046	0,036	0,051	0,035

Fuente: Elaboración propia

Respecto al modelo de tasas simples se puede evidenciar desagregación en función de las personas que trabajan y el área medida en metros cuadrados para la oficina disponible. Si se analiza desde la perspectiva del área se evidencia que la tasa máxima de atracción correspondió a un área de más de 75 m2 con un valor de 0,051 viajes/m2 que viene siendo un poco mayor al modelo de tasas simples, no obstante también se presentan valores muy bajo en este caso para una oficina con menos de 35 m2 con una tasa de 0,008 viajes/m2.

El análisis en función de los empleados o las personas que laboran en la oficina presento la mayor tasa para una oficina de 7 a 9 personas con valores de 0,022 viajes/empleado que es mucho más bajo que el modelo de tasas simples que asciende a 1,41

6.8.6 Regresión lineal multiple

Este análisis se realizó para las dos variables en 3 combinaciones diferentes:

- Solo la variable área
- Solo la variable empleados
- Las dos variables al mismo tiempo

Así las cosas en la tabla que sigue se resume los principales parámetros estadísticos:

Tabla 9. Resumen de parámetros para los análisis de regresión lineal

Variable utilizada	R² ajustado	Error típico	Estadístico t
Área	0,188573315	0,906057996	6,990982021
Empleados	0,903630875	0,311381942	43,96150691
Dos variables	0,904165002	0,311381942	-1,46374467=area 39,137161=empleados

Fuente: Elaboración propia

En este caso se tiene varias alternativas de regresiones, no obstante la literatura consultada recomienda utilizar modelos con al menos dos variables, en este caso se daría como recomendación en el caso de realizar un pronóstico de tracción de viajes utilizar la expresión que sigue, toda vez que sus bondades estadísticas lograrían un buen ajuste.

$$\begin{array}{l} \# \text{ de viajes en} \\ \text{vehículo particular} \end{array} = 0.002 * (\begin{array}{l} \text{Área} \\ \text{disponible en cada} \\ \text{oficina}) + 0.566 * (\begin{array}{l} \# \text{ de} \\ \text{empleados por} \\ \text{oficina}) \end{array}$$

Cualquiera de los modelos anteriormente desarrollados es susceptible de utilización, todo dependerá de la información disponible para realizar el pronóstico, en este caso se resalta la bondad del trabajo desarrollado toda vez que las variables utilizadas son de fácil consecución.

La selección del modelo dependerá del propósito adicionalmente, recordando que cualquiera de ellos pretende realizar un pronóstico de la demanda futura esperada por lo cual una buena opción puede ser trabajarlos para tener escenarios optimistas y pesimistas de demanda esperada.

11. BIBLIOGRAFIA

- Introducción al planeamiento del transporte, Michael J. Bruton. Ed. Troquel, 1975
- MÉTODOS ESTADÍSTICOS EN INGENIERÍA DE TRÁNSITO. Departamento de Ingeniería Universidad del Estado de Ohio - USA. Johannes F. Schwar y José Puy Huarte. 1975.
- MODELOS DE TRANSPORTE. Juan de Dios Ortuzar, Luis G. Willumsen. Ediciones de la Universidad de Cantabria, 2008.
- OPERACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Dustano Peña Nieto, Tunja, 1996.
- PLANIFICACION DEL TRANSPORTE, Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Daniel Humberto Cárdenas. Tunja. 1996.
- TRANSPORTE PUBLICO: PLANEACION, DISEÑO, OPERACIÓN Y ADMINISTRACION. Angel Molinero, Luis Ignacio Sanchez Arellano. Universidad Autonoma del Estado de Mexico, 1997.