

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS
Sección de Postgrado



**SIMULACIÓN DE UN MODELO DE ASIGNACIÓN
PEATONAL A LA RED VIAL URBANA:
CASO APLICADO EN LA CIUDAD DE LIMA**

TESIS DE MAESTRÍA

Para optar el grado académico de maestro en ciencias con mención en
ingeniería de sistemas

Ing. Ricardo Alejandro Pezo Romero

LIMA – PERU
2007

DEDICATORIA

Son muchos factores los que te van guiando y orientando para decidir caminar por el sendero de la vida, que puede ser satisfactorio o no. La vida es para la gente que quiere vivirla y disfrutarla; aprovecharla mediante las actividades o acciones que nos hacen sentir bien.

Los factores más importantes, creo yo; son: el esfuerzo, dedicación, deseos de superación, responsabilidad, perseverancia y pensar siempre en positivo; valores que, de una forma u otra, mis padres siempre me inculcaron durante mi niñez y mi juventud. En reconocimiento al cariño, dedicación, impetuosidad e inteligencia, de mi madre y amiga Rosa Mercedes Romero y de mi padre Richard Pezo Romero, quien para mi representan el esfuerzo, responsabilidad, el progreso y muchas otras cosas mas. A ellos con todo mi amor y cariño dedico la presente tesis.

Además, dedico esta tesis a mi hermana, Mercedes Pezo, una mujer con mucho potencial e inteligencia quien aún no ha despertado para ser grandiosa, pero confió en su capacidad y que algún día lo logrará.

A toda mi familia más cercana, mi hermana y la de mis padres, quienes ocupan un espacio especial en mi corazón, sin ellos, estoy seguro, que mi vida hubiera sido diferente.

A DIOS por darme la oportunidad de vivir.

AGRADECIMIENTO

El desarrollo de la presente investigación ha sido el resultado de un inmenso sacrificio, dedicación y de nuevas experiencias adquiridas, gracias al deseo de superación que llena mi vida. La conclusión de esta tesis genera en mí, una infinita satisfacción, ya que es uno de los más grandes logros en mi vida personal y profesional.

Unas breves palabras no serían suficientes para explicar el profundo agradecimiento que tengo hacia mis Padres; ellos son lo mejor que he podido tener en la vida, son mi mayor fortuna. Agradezco a Dios por haberme dado unos padres maravillosos y agradezco a mis padres por haber ideado la forma de incentivar en mí, los valores, los principios, el respeto y la responsabilidad, que ahora me llevan a ser lo que soy. No olvido las palabras que siempre me repiten y las tengo grabadas: "Se perseverante, cualquier cosa que decidas siempre te apoyaremos"

Mi agradecimiento especial a mi única hermana, por el gran cariño y el apoyo moral que siempre me ha sabido brindar; a ella le deseo los mismos éxitos y triunfos en su vida personal y profesional.

Agradezco mucho a mis Profesores que fueron mi guía durante los años de estudio y por incrementar mis conocimientos durante el proceso de mi educación.

Agradezco a mis compañeros de estudio, ya que sin ellos hubiera sido aun más difícil el terminar la Maestría.

Agradezco a Jose Luis Castro, Joseph Lingán y Richter Mendoza; amigos, colegas y socios, que me apoyaron en el desarrollo de la tesis. Su ayuda fue muy importante para mí.

Agradezco a “Cal y Mayor y Asociados S.C.”, empresa que me dio todas las facilidades para la elaboración y culminación de la presente tesis.

Agradezco a todas aquellas personas que de alguna forma han contribuido y contribuyen en mi desarrollo y en los diversos aspectos de mi vida diaria; a quienes les deseo lo mejor de la vida.

RESUMEN

La presente investigación está orientada al desarrollo y utilización de una metodología para modelos de predicción de un sistema de tránsito peatonal como herramienta para simular diversos escenarios de asignaciones de redes con peatones que transitan por vías y zonas de una ciudad que en especial se encuentre en un Centro de Negocios Central. El planteamiento de la metodología de la presente investigación fue desarrollado con una estructura similar a los modelos de planeamiento de transporte estándar, incluyendo la generación de viajes basados en las características de uso de suelo; la distribución de viajes y la asignación sobre una red basado en la aproximación al modelo de gravedad.

Con el proceso de planeamiento de los sistemas peatonales planteado en la presente investigación, se intenta ayudar a las autoridades y planificadores de las ciudades a desarrollar una red de infraestructura peatonal, particularmente en las áreas del centro de las ciudades lo cual aseguraría un intercambio efectivo para los viajes peatonales entre y/o dentro de centros de actividades

existentes y planificadas. El presente modelo de simulación puede ser usado para predecir cambios en los patrones de viaje como un resultado en las mejoras de la infraestructura peatonal o usos de suelo e identificar o priorizar acciones para las mejoras de la infraestructura.

INDICE

ÍNDICE	I
LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABLAS	V
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2. HIPÓTESIS	7
3. OBJETIVOS	8
3.1. <i>Objetivo General</i>	8
3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	8
4. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	9
5. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	12
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	15
I.1. ANTECEDENTES	15
I.2. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE APOYO A LAS DECISIONES	21
I.3. INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN	25
I.4. SIMULACIÓN DE TRANSPORTE	26
I.4.1. <i>Simulación Microscópica o Microsimulación</i>	28
I.4.2. <i>Simulación Macroscópica o Macrosimulación</i>	28
I.5. MODELACIÓN Y TOMA DE DECISIONES EN EL CAMPO DEL TRANSPORTE	29
I.5.1. <i>Decisiones Basadas en Planes Maestros</i>	29
I.5.2. <i>Teoría de Decisión Normativa o Racionalidad Substantiva</i>	30
I.5.3. <i>Teoría de la Decisión del Comportamiento</i>	31
I.5.4. <i>Toma de Decisión de Grupo</i>	32
I.5.5. <i>Toma de Decisión Adaptable</i>	33
I.5.6. <i>Estrategias de Toma de Decisión de Modo Mixto</i>	34
I.6. ESTRUCTURA DEL MODELO CLÁSICO DE TRANSPORTE	35
I.6.1. <i>Generación (Producción/Atracción)</i>	36
I.6.2. <i>Distribución de Viajes</i>	36
I.6.3. <i>Selección Modal</i>	36
I.6.4. <i>Asignación de Viajes</i>	37
I.7. SOFTWARES UTILIZADOS PARA LA CREACIÓN DEL MODELO	37
I.7.1. <i>Software EMME/3</i>	37
I.7.2. <i>Software TRANSCAD</i>	38
I.7.3. <i>Software SPSS</i>	39
CAPÍTULO II: EL TRÁNSITO PEATONAL EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO	41
II.1. GENERALIDADES	41

II.2.	CONCEPTOS GENERALES.....	43
II.3.	SISTEMA DE TRANSPORTE.....	44
II.3.1.	Estructura del Sistema de Transporte.....	44
II.3.2.	El Planeamiento del Sistema Vial Peatonal.....	46
II.3.3.	El Peatón.....	47
II.4.	CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA NO MOTORIZADA SEGÚN EL PLAN MAESTRO DE TRANSPORTE DE LIMA Y CALLAO.....	50
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		53
CAPÍTULO IV: MODELO DE ASIGNACIÓN DEL TRÁNSITO PEATONAL.....		59
IV.1.	MODELACIÓN Y ELECCIÓN DE LA TOMA DE DECISIONES.....	60
IV.1.1.	Toma de Decisiones.....	60
IV.2.	ESTRUCTURA GENERAL DEL MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁNSITO PEATONAL.....	61
IV.3.	DETERMINACIÓN Y SEGMENTACIÓN DEL ÁREA DEL ESTUDIO.....	64
IV.3.1.	Área de Influencia.....	64
IV.3.1.1.	Clasificación del Área de Influencia.....	65
IV.3.2.	Zonificación.....	67
IV.3.2.1.	Criterios para Zonificar.....	68
IV.3.2.2.	Usos de Suelo.....	70
IV.4.	INGRESO DE DATOS AL MODELO.....	73
IV.4.1.	Datos Históricos.....	74
IV.4.1.1.	Flujos Peatonales y Tiempos de Recorrido.....	74
IV.4.1.2.	Información Socioeconómica.....	75
IV.4.2.	Datos de Campo en Año Base.....	76
IV.4.2.1.	Red Vial Peatonal.....	76
IV.4.2.2.	Características Físicas de la Red Vial Peatonal.....	78
IV.4.2.2.1.	Inventario de Características Físicas.....	79
IV.4.2.2.2.	Datos de Campo a Recopilar.....	79
IV.4.2.3.	Características Operativas de la Red Vial Peatonal.....	82
IV.4.2.3.1.	Tiempos y Velocidades de Recorrido.....	82
IV.4.2.3.2.	Análisis de los Tiempos y Velocidades de Recorrido para el Modelo.....	83
IV.4.2.4.	Aforos Peatonales.....	84
IV.4.2.4.1.	Análisis del Flujo Peatonal en el Área de Influencia.....	86
IV.4.2.5.	Encuestas Origen - Destino.....	87
IV.4.2.5.1.	Análisis de la Encuesta O-D en el Área de Influencia.....	89
IV.4.2.6.	Encuestas de Preferencia Declarada.....	89
IV.4.2.6.1.	Valor Subjetivo del Tiempo de Viaje.....	90
IV.4.3.	Datos para Pronóstico.....	92
IV.4.4.	Modelo de Tránsito Peatonal.....	93
IV.4.4.1.	Modelo de Tres Etapas.....	96
IV.4.4.1.1.	Generación de Viajes.....	96
IV.4.4.1.1.1.	Método para Estimar el Modelo.....	99
IV.4.4.1.2.	Distribución de Viajes.....	100
IV.4.4.1.2.1.	Método para Estimar el Modelo.....	102
IV.4.4.1.3.	Asignación de Viajes.....	105
IV.4.4.1.3.1.	Método de asignación todo o nada.....	106
IV.4.4.1.3.2.	Método de asignación estocástica.....	107
IV.4.4.1.3.3.	Restricción de capacidad.....	107
IV.4.4.1.3.4.	Equilibrio de usuario estocástico (SUE).....	108
IV.4.4.1.3.5.	Algoritmo de Asignación de Equilibrio de Usuario.....	109
IV.4.4.2.	Modelo de Oferta.....	112
IV.4.4.2.1.	Atributos de la Red Vial Peatonal.....	114
IV.4.4.2.1.1.	Atributos de Nodos.....	114
IV.4.4.2.1.2.	Atributos de Enlaces.....	115
IV.4.4.2.2.	Análisis de Capacidad de la Infraestructura Peatonal y Niveles de Servicio.....	117
IV.4.4.2.3.	Síntesis del Procedimiento de Acuerdo al Highway Capacity Manual (HCM).....	120
IV.4.4.2.4.	Criterio del Ancho Efectivo de la Instalación Peatonal.....	121
IV.4.4.2.5.	Criterio del Nivel de Servicio.....	123
IV.4.4.2.6.	Descripción de los Niveles de Servicio.....	124
IV.4.4.2.7.	Análisis de vías Peatonales en el Área de Estudio.....	127

IV.4.4.2.8.	Funciones Volumen-Demora	128
IV.4.4.3.	Modelo de Demanda	133
IV.4.4.3.1.	Periodo de Modelación.....	133
IV.4.4.3.2.	Desarrollo de Matrices Origen – Destino	134
IV.4.4.3.3.	Estratificación de las Matrices de Viaje.....	135
IV.4.4.3.3.1.	Atributos para la Estratificación	136
IV.4.5.	<i>Calibración del Modelo de Tránsito Peatonal</i>	137
IV.4.5.1.	Análisis del modelo.....	139
CAPÍTULO V:	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE TRÁNSITO	
PEATONAL	141
V.1.	MÓDULOS DEL PROGRAMA	142
V.1.1.	<i>Utilidades</i>	143
V.1.2.	<i>Editor de Red</i>	144
V.1.3.	<i>Editor de Matriz</i>	144
V.1.4.	<i>Editor de Función</i>	145
V.1.5.	<i>Procedimientos de Asignación</i>	145
V.1.6.	<i>Resultados de Asignación</i>	145
V.2.	COMPONENTE GRÁFICO DEL PROGRAMA	146
V.3.	ARCHIVOS DE ENTRADA Y SALIDA	147
CAPÍTULO VI:	ESTUDIO DE CASO.....	149
VI.1.	ZONIFICACIÓN	150
VI.2.	SEGMENTOS DE DEMANDA.....	152
VI.3.	RED PEATONAL DEL MODELO	153
VI.3.1.	<i>Velocidades de la Red Modelada</i>	154
VI.4.	CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	155
VI.5.	PREMISAS PARA LAS SIMULACIONES EN EL MODELO.....	158
VI.5.1.	<i>Año Horizonte de Estudio</i>	158
VI.5.2.	<i>Planteamiento de Escenarios de Simulación</i>	158
VI.5.2.1.	Descripción del Escenario 1.....	158
VI.5.2.2.	Descripción del Escenario 2.....	159
VI.5.2.3.	Descripción del Escenario 3.....	159
VI.5.3.	<i>Periodos de Simulación</i>	159
VI.6.	FACTORES DE CRECIMIENTO PARA EL PRONÓSTICO	160
VI.7.	RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.....	161
VI.7.1.	<i>Resultados del Escenario 1</i>	162
VI.7.2.	<i>Resultados del Escenario 2</i>	167
VI.7.3.	<i>Resultados del Escenario 3</i>	172
VI.8.	CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO	175
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	176
1.	CONCLUSIONES.....	176
2.	RECOMENDACIONES.....	177
3.	RESULTADOS RESPECTO A LOS OBJETIVOS	178
BIBLIOGRAFÍA	180
ANEXOS	185

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº 1.- PROPIEDAD DE BICICLETAS	51
FIGURA Nº 2.- PROPIEDAD DE BICICLETAS Y VEHÍCULOS	52
FIGURA Nº 3.- FORMATO DE INVENTARIO VEHICULAR	54
FIGURA Nº 4.- FORMATO DE AFOROS DE FLUJOS PEATONAL	55
FIGURA Nº 5.- TOMA DE DECISIONES USANDO EL MODELO DE ASIGNACIÓN DEL TRÁNSITO PEATONAL	60
FIGURA Nº 6.- ESTRUCTURA DEL MODELO DE ASIGNACIÓN DEL TRÁNSITO PEATONAL	61
FIGURA Nº 7.- ESTRUCTURA DETALLADA DEL MODELO DE ASIGNACIÓN DEL TRÁNSITO PEATONAL	63
FIGURA Nº 8.- ÁREA DE INFLUENCIA	65
FIGURA Nº 9.- PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN	69
FIGURA Nº 10.- USOS DE SUELO	71
FIGURA Nº 11.- ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	72
FIGURA Nº 12.- PUNTOS DE FLUJOS PEATONALES – DATOS HISTÓRICOS	74
FIGURA Nº 13.- RED VIAL PEATONAL	77
FIGURA Nº 14.- UBICACIÓN DE SEMÁFOROS EN EL CENTRO DE LIMA	80
FIGURA Nº 15.- PUNTOS DE AFORO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA	84
FIGURA Nº 16.- MODELO SECUENCIAL DE 3 ETAPAS	94
FIGURA Nº 17.- EJEMPLO DE FUNCIÓN DE IMPEDANCIA	102
FIGURA Nº 18.- EJEMPLO DE CALIBRACIÓN DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN GRAVITACIONAL	103
FIGURA Nº 19.- EJEMPLO DE UNA RED CON 3 ENLACES Y UN PAR O-D	108
FIGURA Nº 20.- EJEMPLO DE ALGORITMO DE COMBINACIONES CONVEXAS	110
FIGURA Nº 21.- MAPA DE UBICACIÓN DE TRABAJOS DE CAMPO	111
FIGURA Nº 22.- RED Y ATRIBUTOS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO	114
FIGURA Nº 23.- ANCHO EFECTIVO DE LA VÍA PEATONAL	120
FIGURA Nº 24.- NIVELES DE SERVICIO EN VÍAS PEATONALES	124
FIGURA Nº 25.- EJEMPLO DE COMPORTAMIENTO DE UNA FUNCIÓN BPR	130
FIGURA Nº 26.- EJEMPLO DE COMPORTAMIENTO DE UNA FUNCIÓN CÓNICA	130
FIGURA Nº 27.- PROCESO DE CALIBRACIÓN DEL MODELO	137
FIGURA Nº 28.- MÓDULOS DEL PROGRAMA	141
FIGURA Nº 29.- COMPONENTE GRÁFICO DEL PROGRAMA	145
FIGURA Nº 30.- RED PEATONAL DEL MODELO EN EMME/3	152
FIGURA Nº 31.- VELOCIDADES EN LA RED	153
FIGURA Nº 32.- CALIBRACIÓN DE FLUJOS PEATONALES DEL MODELO EN EMME/3	154
FIGURA Nº 33.- CALIBRACIÓN DE VELOCIDADES PEATONALES DEL MODELO EN EMME/3	155
FIGURA Nº 34.- COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA	158
FIGURA Nº 35.- ASIGNACIÓN DEL FLUJO PEATONAL A LA RED PEATONAL, ESCENARIO 1	161
FIGURA Nº 36.- ASIGNACIÓN DEL FLUJO PEATONAL A LA RED PEATONAL, ESCENARIO 2	166
FIGURA Nº 37.- ASIGNACIÓN DEL FLUJO PEATONAL A LA RED PEATONAL, ESCENARIO 3	171

LISTA DE TABLAS

TABLA Nº 1.- NIVELES DE SERVICIO PARA TRÁNSITO PEATONAL	48
TABLA Nº 2.- NIVELES DE SERVICIO EN ACERAS	49
TABLA Nº 3.- VIAJES NO-MOTORIZADOS EN LIMA METROPOLITANA	51
TABLA Nº 4.- RELACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL	84
TABLA Nº 5.- PROPÓSITOS DE VIAJE Y VARIABLES EXPLICATIVAS	98
TABLA Nº 6.- PARÁMETROS DEL HCM PARA ÁREAS PEATONALES	118
TABLA Nº 7.- FACTORES DE AJUSTE DEL ANCHO DE VÍA PEATONAL POR OBSTÁCULOS FLOS	121
TABLA Nº 8.- NIVELES DE SERVICIO PEATONAL EN VÍAS PEATONALES.....	122
TABLA Nº 9.- EJEMPLO DE PARÁMETROS DE LA FUNCIÓN BPR PARA EL CASO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS	129
TABLA Nº 10.- RELACIÓN DE ZONAS DE TRÁNSITO DEL MODELO	149
TABLA Nº 11.- SEGMENTOS DE DEMANDA EN EL MODELO PARA EL CASO ESTUDIADO	150
TABLA Nº 12.- FACTORES DE CRECIMIENTO POR SEGMENTO	159
TABLA Nº 13.- INDICADORES DE LA AV. EMANCIPACIÓN, ESCENARIO 1	160
TABLA Nº 14.- INDICADORES DE JR. CALLAO, ESCENARIO 1	160
TABLA Nº 15.- INDICADORES DE JR. ICA, ESCENARIO 1	161
TABLA Nº 16.- INDICADORES POR TRAMO Y SENTIDO DE LA AV. EMANCIPACIÓN, ESCENARIO 1	162
TABLA Nº 17.- INDICADORES POR TRAMO Y SENTIDO DE JR. CALLAO, ESCENARIO 1	163
TABLA Nº 18.- INDICADORES POR TRAMO Y SENTIDO DE JR. ICA, ESCENARIO 1.....	164
TABLA Nº 19.- INDICADORES DE LA AV. EMANCIPACIÓN, ESCENARIO 2	165
TABLA Nº 20.- INDICADORES DE JR. CALLAO, ESCENARIO 2.....	165
TABLA Nº 21.- INDICADORES DE JR. ICA, ESCENARIO 2	166
TABLA Nº 22.- INDICADORES POR TRAMO Y SENTIDO DE LA AV. EMANCIPACIÓN, ESCENARIO 2.....	167
TABLA Nº 23.- INDICADORES POR TRAMO Y SENTIDO DE JR. CALLAO, ESCENARIO 2	168
TABLA Nº 24.- INDICADORES POR TRAMO Y SENTIDO DE JR. ICA, ESCENARIO 2.....	169
TABLA Nº 25.- INDICADORES DE JR. ICA, ESCENARIO 3	170
TABLA Nº 26.- INDICADORES POR TRAMO Y SENTIDO DE JR. ICA, ESCENARIO 3.....	172

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de las computadoras, muchas técnicas y metodologías de análisis se han desarrollado y siguen aun desarrollándose, este es el caso de los modelos abstractos y simulaciones por computadora los cuales tienen aproximadamente 45 años de antigüedad.

En los últimos años, la utilización y el desarrollo de modelos en computadoras que representan la realidad se han fomentado en todo el mundo debido, principalmente, a que brindan un gran apoyo a la toma de decisiones sin la necesidad de recurrir en grandes gastos tratando de experimentar con situaciones físicas reales.

La presente investigación trata sobre la utilización y desarrollo de modelos orientados a los peatones que transitan por diversas vías y zonas de una ciudad. Asimismo, para la creación del modelo y el análisis de los casos se consideran el software de modelación EMME/3 y las áreas del centro de negocios debido a que en estas áreas se encuentra un nivel alto de desarrollo de diversas actividades y son áreas de gran potencial para un análisis y evaluación.

1. Planteamiento del Problema

El desinterés por la movilización de las personas en áreas de flujo peatonal elevado conlleva a problemas de accidentes de tránsito, contaminación del medioambiente por parte de los vehículos motorizados, deficiencia del diseño de las facilidades de la infraestructura urbana orientada a los peatones y prioridad al tránsito vehicular, particularmente al automóvil.

Por mucho tiempo, el vehículo ha sido la menor unidad de análisis del tránsito urbano en las ciudades. Este interés en el vehículo como unidad mínima de análisis, ha traído la poca preocupación de las autoridades del gobierno local y central por el movimiento peatonal efectivo en áreas urbanas de flujo elevado. Al no considerar este factor importante pueden surgir problemas de **accidentes y contaminación**.

En Lima Metropolitana, existen muchos lugares con elevado flujo peatonal y enormes deficiencias para su circulación, pues se da prioridad al flujo vehicular en lugar de dar las **facilidades a la personas para su movilidad**. La **falta de facilidades** para el tránsito peatonal en el área urbana causa un elevado número de **accidentes mortales y una inadecuada movilización de las personas**.

Existen casos en que muchas personas normalmente circulan por las vías destinadas para los vehículos debido a que las veredas no soportan el intenso flujo peatonal, derivando en una elevada probabilidad de ocurrencia de un **accidente mortal**.

Al darle prioridad de acceso a los vehículos a ciertas vías, se genera una aglomeración de **gases contaminantes**, que acompañado a la congestión y afluencia de personas en un mismo lugar, es más nocivo aún. Un caso real de esta situación se aprecia en el Centro de Lima en donde gran parte de la infraestructura existente está cubierta por mantos negros compuestas por Partículas Contaminantes además de otros contaminantes dañinos al ser humano.

El **mal diseño urbano** de la ciudad es otro problema que se genera por las decisiones inapropiadas de las autoridades en la planificación de las áreas urbanas. Actualmente, las autoridades se basan en modelos físicos y en la observación “in situ” en un determinado momento de lo que pasa en un área específica considerando las variables relevantes de ese momento y no se toma en cuenta muchas otras variables ni la situación que podría darse en el futuro. Esto es debido a que en el Perú así como en muchos otros países no se cuenta con modelos de estimación en la asignación del tránsito peatonal a la red vial.

Otro problema que se aprecia es la implementación de **vías contraproducentes** a la movilización de las personas. Se ha observado en muchos lugares que las vías para el tránsito peatonal en un determinado lugar no concuerdan con la cantidad de personas que transitan por dichas vías. Esta situación se nota fácilmente en los Centros de Negocios y usualmente en el Centro de la Ciudad en donde los peatones caminan por las vías destinadas al tránsito vehicular.

Por otro lado, en relación a la simulación, la construcción de modelos físicos de sistemas reales de un área determinada a ser analizada puede diferir desventajosamente de un modelo abstracto (predictivo) elaborado para representar la misma realidad. Las autoridades competentes tienden a utilizar únicamente modelos físicos (infraestructuras reales, maquetas, etc.) para la toma de decisiones en el tránsito peatonal obteniendo resultados no muy satisfactorios. Además, con un modelo físico es muy difícil estimar el comportamiento de las personas ya que no se consideran algunas otras variables involucradas en el movimiento peatonal lo cual hace que se tomen decisiones muchas veces equivocadas.

La elección de un modelo físico trae sus desventajas en la realización de proyectos para la implementación de obras. Por lo tanto, podría

contribuir a la generación de otros problemas adicionales por la falta de variables y parámetros a ser evaluados:

- **Son Costosos:** Se necesita tener a un equipo especializado de técnicos para implementar la infraestructura adecuada y realizar pruebas y mediciones por días o semanas en diferentes horarios. Además, la implementación de un proyecto mediante el análisis de un modelo físico, podría resultar en un gasto innecesario si es que la obra no es justificada.
- **Son Engorrosos:** La investigación bajo situaciones especiales como fenómenos climáticos, congestión de vías de acceso, accidentes y otros, obligan a retrasar el avance de las pruebas hasta que se den las condiciones requeridas.
- **Son Incompletos:** Ciertos parámetros no son objeto de evaluación en un modelo físico, como velocidades y aceleraciones promedio, tiempo de viaje, tiempo medio de espera, desviaciones de ruta, etc.
- **Son Peligrosos:** El nivel de desconocimiento de la vía por la que se circula es normalmente uno de los indicadores probabilísticos a favor de los accidentes. Realizar pruebas no permanentes de señalizaciones, semáforos y cambios de sentidos de calles puede resultar confuso y causar accidentes.

Por todo lo expuesto, se plantea las interrogantes:

¿Cómo representar, mediante un modelo, la distribución y comportamiento del tránsito peatonal en la Red Vial Urbana y poder analizar los impactos de posibles cambios o variaciones en la red para una mejor toma de decisiones?

¿Cómo evaluar el diseño de la infraestructura de caminata y apoyar al planeamiento estratégico, táctico y operativo del Sistema de Transporte en áreas con elevado flujo vehicular y peatonal?

¿Cómo cuantificar los efectos del tránsito peatonal mediante un modelo de simulación macroscópico que represente el comportamiento peatonal en las vías de flujo elevado destinadas a su circulación y nos brinde parámetros de evaluación de una situación real o futura utilizando las herramientas disponibles del sector transporte?

¿Qué vías dentro del área de estudio necesitan o necesitarán ser peatonalizadas de acuerdo a las características actuales y futuras de la ciudad y a su uso de suelo?

¿Qué vías peatonales dentro del área de estudio tienen o tendrán los niveles de servicio (relación entre los flujos y la capacidad de las vías) más elevados?

2. Hipótesis

Cuantificando el número de viajes en el modelo de simulación de tránsito peatonal se pueden tomar mejores decisiones y medidas para mejorar las facilidades por donde circulan los peatones en vías urbanas.

El diseño de las facilidades de infraestructura urbana en las ciudades del Perú obedece a diseños o modelos físicos que no proveen un adecuado dimensionamiento de la infraestructura sobre la base de modelos de simulación dinámica de los flujos peatonales teniendo en cuenta la densidad (peatones/m²) y la velocidad de desplazamiento peatonal. Es a partir de este problema que se pretende adecuar los modelos de simulación macroscópica para cuantificar el número de viajes en el modelo de simulación de tránsito peatonal, con lo cual se puedan tomar decisiones y medidas técnicas para mejorar las facilidades por donde circulan los peatones en vías urbanas.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Desarrollar un modelo de asignación del tránsito peatonal a la red vial urbana en un área de elevado flujo peatonal utilizando un modelo a nivel macroscópico de tal forma de conocer el comportamiento y la elección de ruta del peatón y poder tomar decisiones resolviendo los problemas planteados. Asimismo, la presente investigación y el modelo desarrollado servirán de sustento técnico, económico y tecnológico en la toma de decisiones de las diferentes autoridades del sector urbano y transporte de la ciudad de Lima y Callao mediante la Gestión de Transporte usando las Tecnologías de Información.

3.2. Objetivos Específicos

- Asignar la matriz de viajes peatonales en la red vial urbana con el objeto de cuantificar el número de viajes y definir las medidas a tomar para la mejora de las facilidades del tránsito peatonal.

- Conocer la aplicación que puede tener la tecnología, en especial los modelos de asignación del tránsito peatonal, para la comprensión y cuantificación del comportamiento de

los flujos peatonales en el entorno urbano con gran concentración de peatones.

- Diseñar un marco referencial que oriente a los diferentes investigadores, estudiantes, autoridades y personas interesadas en el uso de las Tecnologías de Información como herramienta de apoyo a las decisiones en la circulación del flujo de tránsito peatonal.

- Cuantificar los efectos e impactos del tránsito peatonal en las vías peatonales. El visualizar estos efectos, ayudará a identificar el problema, causas y efectos como por ejemplo la presencia de cuellos de botella, distancias de caminata larga y tiempos de caminata largos.

4. Importancia de la Investigación

El transporte no motorizado está conformando por los modos caminata (peatón) y bicicleta. En cuanto al primero, los viajes tienen mucha representatividad respecto del total de viajes producidos en la Ciudad de Lima y Callao, mientras que en el segundo, sucede lo contrario. Según el Plan Maestro de Transporte Urbano¹ (PMTU), el

¹ Plan Maestro de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú (PMTU) desarrollado por Yachiyo Consultants y Pacific Consultants International (Empresas Japonesas) con fondos del Japan International Cooperation Agency (JICA)

25.4% del total de viajes generados en Lima y Callao se movilizan caminando mientras que el 0.5% lo hace en bicicleta.

En el Perú, no se ha dado la debida importancia al tránsito no motorizado y es visto como un factor secundario en el problema de transporte. Sin embargo, el 25.4% de viajes en la ciudad de Lima que son realizados a pie, representan una cantidad muy considerable en la urbe para darle relevancia en la toma decisiones que afecten a este tipo de movilización. No obstante, nadie se ocupa de ellos por lo que muchas veces, entre otras cosas, se diseñan vías peatonales que no concuerdan con los flujos de tránsito.

Por otro lado, se puede agregar que la importancia del presente trabajo de investigación en el desarrollo de un modelo de simulación para la asignación del tránsito peatonal, radica en la incorporación de nuevas tecnologías en el campo de la planificación urbana y transporte (diseñadores y planificadores) que permiten el desarrollo de proyectos que den realismo a eventos, creando en las personas impresiones inolvidables e información de ingreso muy valiosa que en el momento parecen sin importancia pero que al momento de actuar son de mucho impacto, proporcionando una mayor seguridad y apoyo a la toma de decisiones.

La mayoría de las veces es peligroso y hasta imposible, sobretodo en países en vías de desarrollo, el realizar experimentos con modelos físicos de sistemas reales. Para las simulaciones interactivas ciertas pruebas experimentales requerirían de prototipos costosos, que inclusive podrían destruirse durante el experimento.

Los modelos de simulación son por lo general más baratos y seguros que la realidad que éstos simulan. Dado que estos modelos son una descripción adecuada de la realidad, experimentar con ellos producen los mismos resultados deseables que al experimentar con la realidad sin poner en peligro grandes inversiones ni la seguridad de las personas, permitiendo inclusive realizar pruebas sobrepasando los límites de seguridad que se imponen en la realidad.

Por lo expuesto, debido a lo relevante de los viajes generados mediante la caminata y a la importancia que debe brindarse al tránsito peatonal, la realización de esta investigación contribuye inmensamente con el desarrollo de las labores de los tomadores de decisiones en las Instituciones competentes del sector transporte y urbanismo en el planeamiento, implementación, control y monitoreo de nuevos proyectos no solo en la Ciudad de Lima y Callao sino también en otras ciudades del país y del mundo.

5. Descripción del contenido

El presente documento cuenta con 7 capítulos cuyo contenido se describe a continuación:

Introducción

En este capítulo se dan a conocer datos importantes como son introducción, planteamiento del problema, hipótesis, objetivo, justificación, importancia de la investigación y un breve resumen del contenido del presente documento.

Capítulo I

En el capítulo I, se presentan los antecedentes acerca de las investigaciones y proyectos realizados respecto a Simulación, Modelación, Asignación de Redes y Toma de Decisiones. Asimismo, se presenta una introducción brindando un marco teórico y conceptual sobre la presente investigación; con lo cual, se muestran definiciones y fundamentos importantes acerca de Simulación y Modelación en Transporte.

Capítulo II

En este capítulo, se da una descripción de la situación actual del Tránsito Peatonal en el Sistema de Transporte Urbano, su importancia dentro del sistema y la forma como se planifica en la actualidad. Además, se presenta una descripción del Plan Maestro de Transporte

Urbano para Lima y Callao, la cual fue una herramienta muy esencial para la elaboración de esta tesis.

Capítulo III

Se muestra la metodología desarrollada para la elaboración de la presente investigación desde el inicio con la búsqueda de información hasta el final con la aplicación del modelo y la elaboración del documento.

Capítulo IV

Luego de establecer la metodología, se presenta el esquema de realización para el Modelo de Asignación de Tránsito Peatonal. Además, se describen las variables y parámetros que deben incluir el modelo para la representación de la realidad a ser modelada y posteriormente simulada.

Para ello se describen los módulos y las formas como se implementan las principales características y funcionalidades, así como también, los datos de entrada del modelo, los reportes de salida y las herramientas complementarias que facilitan la manipulación de información.

Capítulo V

Contiene la explicación de los módulos y componentes del programa utilizados para implementar el modelo de simulación desarrollado en la presente investigación. En este capítulo se trata de mostrar mediante gráficos el proceso de implementación del modelo al introducir la oferta y la demanda del sistema.

Capítulo VI

Se presenta un caso aplicado a la ciudad de Lima y se comentan los resultados de las simulaciones realizadas sobre escenarios de evaluación previstos para diversos periodos de tiempo por la Municipalidad Metropolitana de Lima, tanto en lo que se refiera a la calidad de la información como al rendimiento del sistema. Las pruebas realizadas sirven tanto para probar al modelo como para afinar la precisión de sus algoritmos frente a la realidad simulada. Estas pruebas fueron realizadas en cooperación, conjuntamente con los técnicos del área de Planificación de la Gerencia de Transporte Urbano de la Municipalidad Metropolitana de Lima.

Capítulo VII

Se presentan las conclusiones y recomendaciones de la realización de la investigación, así como también, los resultados de los objetivos establecidos en la presente investigación.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

I.1. Antecedentes

La ciudad de Lima y Callao está conformada por 49 distritos y se ha convertido en los últimos años en una ciudad con muchos problemas urbano-ambientales² serios generados por el transporte mal organizado. Esta ciudad tiene una superficie aproximada de 70,000 has. como área urbanizada y una población aproximada de 8'043,256 habitantes estimados al año 2004².

Las principales avenidas con problemas generados por el transporte son las avenidas Abancay, A. Ugarte, Grau, Arequipa, Garcilazo de la Vega, Tacna entre otros. Además, existe una excesiva oferta en la ciudad con la operación de alrededor de 600³ rutas de transporte público autorizadas por la Gerencia de Transporte Urbano (GTU) en Lima y la Gerencia General de Transporte Urbano (GGTU) en Callao. La antigüedad de la flota de las rutas de transporte bordea los 18

² Estimaciones del Plan Maestro de Transporte Urbano de Lima y Callao

³ Gerencia de Transporte Urbano, <http://www.dmtu.munlima.gob.pe/>

años circulando a intervalos de 4 minutos en promedio trabajando durante un periodo de 19 horas aproximadamente en toda la ciudad lo cual incrementa la congestión además de otros problemas sobretodo en las Áreas Centrales de Negocio o Centro de la Ciudad.

Por otro lado, las simulaciones se están convirtiendo en los últimos años en una gran herramienta para la predicción de diversas situaciones y para el apoyo a la toma de decisiones por sus bajos costos y relativamente fácil construcción en relación a la implementación de un prototipo o de la infraestructura lo cual podría resultar en un desperdicio de dinero y pérdida de tiempo si la obra resulta intrascendente.

En cuanto a las investigaciones relacionadas al tema de tesis, se tiene que las Simulaciones de Transporte se han experimentado en muchas ciudades del mundo considerándose en ciertos casos una obligación el hacer simulaciones antes de tomar decisiones por la implementación de un nuevo proyecto. Sin embargo, la gran mayoría de estas investigaciones han sido orientadas a la movilización motorizada dejando de lado la prioridad que debería tener el tránsito no motorizado.

Según Winnie Daamen, PhD., en su trabajo de investigación *“Research on pedestrian traffic flow in the Netherlands”* del 2003

manifiesta: *“Anteriormente, no han sido realizadas Investigaciones experimentales a gran escala en cuanto a flujos peatonales. No solo las investigaciones sobre peatones en la forma de experimentos es una importante innovación, sino también es única la escala de los experimentos y la cantidad de información muy detallada sobre los peatones. No solo la tecnología de observación tiene aspectos únicos, sino también no existe un software especialmente desarrollado para el rastreo automatizado de los peatones. Innovaciones adicionales en teoría son el desarrollo de modelos de control óptimo y la descripción del comportamiento de los peatones en cuellos de botella”*. De acuerdo a lo que declara Winnie Daamen, el desarrollo de modelos de simulación para el tránsito peatonal no es común, sobretodo en países en desarrollo, ya que no existen o son prácticamente escasas las herramientas desarrolladas para este tipo de análisis.

Algunos estudios, investigaciones y artículos realizados en diversos países serán utilizados para la elaboración de esta investigación. Estos estudios son presentados a continuación como parte del estado del arte:

1. “Research on pedestrian traffic flow in the Netherlands” (Investigación del Flujo de Tránsito Peatonal en Holanda), esta investigación evalúa el diseño de la infraestructura de caminata en estaciones de transferencia, centros comerciales, estadios de

deporte, etc. así como también apoya el planeamiento de horarios o itinerarios del transporte público, mediante el uso de un modelo de flujo peatonal macroscópico y microscópico.

2. “Pedestrian Behaviour Modeling” (Modelación del Comportamiento Peatonal), el cual introduce un estudio de modelación del comportamiento del peatón que incorpora ideas sobre sistemas basados en agente y los modelos de tráfico basados en la teoría de maximización de la utilidad.
3. “Introduction to Simulation” (Introducción a la Simulación), en donde se explica las bases y fundamentos para realizar simulaciones incluyendo la estructura, la función, la generación de datos y el uso adecuado.
4. “Some Issues Concerning The Use of Simulation Advanced Traffic Management System” (Algunos Problemas en relación al Uso de la Simulación del Sistema de Administración de Tránsito Avanzado), este artículo trata sobre algunas arquitecturas de gestión de tráfico que usan el micro simulador AIMSUN2 para este propósito y describe la estructura de un traductor que automáticamente construye el modelo de simulación AIMSUN2 del escenario seleccionado.
5. “Simulación Microscópica de Tráfico Urbano y su Aplicación en un Area de la Ciudad de Zaragoza”, el objetivo principal de este artículo ha sido el de obtener una herramienta para simular tráfico

urbano con el fin de observar el comportamiento de la red viaria ante variaciones de parámetros que configuran su funcionamiento.

Los estudios mencionados anteriormente, son estudios muy importantes que se desarrollan para resolver ciertos problemas del sector transporte pero no se orientan específicamente a la solución de problemas del tránsito peatonal como accidentes, contaminación, mal diseño urbano y vías inadecuadas.

En el Perú, específicamente en Lima Metropolitana, el uso de herramientas de simulación no está muy difundido en las diferentes organizaciones relacionadas con el campo del planeamiento, administración y control del transporte y más aún el desarrollo de modelos de simulación para el tránsito peatonal. Sin embargo, en los últimos años se han realizado proyectos importantes para la ciudad con modelos de transporte a nivel estratégico para Lima Metropolitana usando herramientas de simulación con modelos estáticos para diversos periodos del día pero ni uno se enfoca a modelos de asignación peatonal para resolver problemas como de infraestructura, diseño vial peatonal, entre otros. Entre los proyectos realizados se pueden mencionar:

1. “Estudio de Factibilidad de la Línea 1 del Tren Urbano de Lima”, desarrollado el 2001 por la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico

(AATE) en el cual se utiliza la herramienta EMME/2 para hacer simulaciones de diversos escenarios con un modelo estático a nivel estratégico.

2. El “Estudio de Corredores Segregados de Alta Capacidad” desarrollado en el 2002 por PROTRANSPORTE usando la herramienta TransCAD y tiene las mismas características que el modelo anterior.
3. “Estudio de Simulación de la Concentración y Dispersión de Contaminantes producidos por Fuentes Móviles en Lima” elaborado por el Comité de Gestión Iniciativa de Aire Limpio en el año 2002, en el cual se realiza simulaciones con un modelo estático para encontrar las emisiones de contaminantes de los vehículos.
4. “Plan Maestro de Transporte Urbano de Lima y Callao”, desarrollado desde el 2004 hasta mediados del 2005. Fue desarrollado con fondos del JICA por Empresas Japonesas y utilizan un modelo estático a nivel estratégico con una herramienta llamada JICA STRADA.

Para la investigación, ya que se debe crear un modelo de simulación macroscópica, se ha creído por conveniente utilizar como fuentes teóricas lo siguiente:

1. “Manual del Usuario del EMME/2”, el cual contiene la información necesaria para la implementación de un modelo de simulación macroscópico y la utilización del software.
2. “Manual de Criterios de Diseño Urbano” el cual es una guía que orienta a las personas no especializadas en el enfoque y solución de problemas urbanos.
3. “Modelos de Demanda de Transporte”, este libro brinda los conocimientos necesarios para elaborar un modelo de simulación de transporte urbano a nivel estratégico orientado a vehículos.

I.2. Introducción a los Sistemas de Apoyo a las Decisiones

Han existido a través de los años muchas definiciones y conceptos de un sistema de apoyo a las decisiones, pero podríamos entenderlo como *“Un sistema que complementa los recursos intelectuales de los individuos con las capacidades de las computadoras para aumentar la calidad de las decisiones”* (Turban, 2002).

Los Sistemas de Soporte Administrativo (MSS), tienen su aparición formal en la década de los 70's, cuando el “boom” informático se comienza a dar en las grandes empresas de países desarrollados y existe la necesidad de clasificar en las organizaciones los diferentes sistemas que soportan la toma de decisiones en base a su tipo, ya sean estructuradas, semi-estructuradas o complejas. Es entonces

cuando clasifican diferentes herramientas o tipos de sistemas que apoyan a la decisión, entre los que destacan:

- Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS)
- Sistemas de Soporte Grupal (GSS)
- Sistemas de Información Ejecutiva (EIS)
- Sistemas Expertos (ES)

Con el tiempo y los avances tecnológicos, aparecieron nuevas técnicas de desarrollo que permitieron construir sistemas más avanzados, como Redes Neuronales, Inteligencia Artificial, Administración del Conocimiento, entre otros.

Con la aparición de las computadoras personales junto con herramientas comerciales de hojas de cálculo y bases de datos, todo tipo de organizaciones tienen mayor acceso al desarrollo e implementación de estos sistemas. Aparece una gran variedad de herramientas que pueden apoyar las decisiones de sus ejecutivos, permitiéndoles aumentar las capacidades de sus empresas, reducir costos, aumentar la productividad, ahorro de tiempos y por consiguiente lograr posición dentro de su mercado, al grado de que muchas empresas formadas tan solo hace 5 años son ahora grandes consorcios mundiales y posicionadas entre las mejores en su categoría.

Ningún país incluyendo al Perú, son ajenos a esta situación. Las empresas, ya sean estatales o privadas con fines sociales o lucrativos, deben contar con Sistemas de Apoyo a las Decisiones en todos sus niveles para obtener ventaja competitiva.

En nuestro medio no muchas empresas cuentan con Sistemas de Apoyo a las Decisiones. Esta falta de uso de las Tecnologías de Información se debe probablemente al riesgo que toman los ejecutivos de aplicar tecnologías de información con la confianza de implementar sistemas que apoyen a las decisiones y la resistencia al cambio.

Por naturaleza humana tenemos una resistencia al cambio, muchos ejecutivos piensan que tener una computadora resolverá muchos problemas; pero no toman en cuenta que la computadora es en sí una herramienta. Es necesario vertir parte de la experiencia de las personas y la necesidad de información a los sistemas para que puedan tomar las decisiones que ayuden al crecimiento de la organización.

Una forma de aminorar esta resistencia al cambio es a través del convencimiento de los altos ejecutivos para capacitar y desarrollar a su personal en el manejo de riesgos y oportunidades, en el uso de la

información, y por último en el reconocimiento de los logros del personal. (Caldera, 2001)

Otro factor, también importante, es la cultura de análisis de información basada en computadoras la cual es reciente en nuestro país. Si nos ponemos a reflexionar, esta cultura de análisis comenzó a desarrollarse después de la mitad de los años 70's cuando algunas universidades tenían carreras profesionales que apoyaban, en algunos cursos, el uso de herramientas computacionales como simuladores, procesadores de texto, algunas bases de datos, generadores de gráficas, entre otros.

Los profesionales que cursaban carreras administrativas comenzaron a apoyar sus materias en computadoras a partir de los inicios de los años 90's y para la segunda mitad de los 90's podríamos decir que todas las carreras profesionales en casi todas las universidades ya se utilizaban.

Con lo anterior podemos deducir que muchos de los ejecutivos y administradores que toman sus decisiones apoyadas en sistemas, son personas que cursaron sus estudios con el apoyo de herramientas computacionales que les permitió crecer profesionalmente con estas herramientas, y que les permite tener confianza en desarrollar, adquirir e implementar dentro de sus

organizaciones sistemas que apoyen a las decisiones. Otras personas, aunque no tuvieron esa oportunidad, han sabido tomar el riesgo y involucrarse en la realidad tecnológica en que vivimos.

Es por lógica pensar que, después de 10 años, los grandes ejecutivos y altos administradores que tendrán sobre sus espaldas el peso del crecimiento de las organizaciones ya están tomando posiciones estratégicas, y esto conviene mucho al país, aunque sería de mayor impacto que todas las organizaciones, grandes y pequeñas hicieran el esfuerzo por desarrollar más a su personal y no esperar a que el futuro los alcance.

I.3. Introducción a la Simulación

Simulación, de acuerdo a Robert E. Shannon (1975), es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y conducir experimentos con este modelo para el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar las varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de criterios) para la operación del sistema. De acuerdo a esta definición, una simulación puede ser de eventos discretos o estáticos. Muchas personas están familiarizadas con el término simulación MRP (Material Requirements Planning). Este es un modelo (actualmente una copia) del sistema real (el sistema MRP de registros) en el cual experimentos (o escenarios)

pueden ser corridos para evaluar varias estrategias (tales como responder a un cambio drástico en la predicción).

La diferencia, y el poder de la simulación de eventos discretos es la habilidad de representar las dinámicas del sistema real. Muchos modelos, incluyen modelos de optimización de alto poder que no pueden tomarse en cuenta las dinámicas del sistema real. Es la habilidad de representar las dinámicas del sistema real lo que da a la simulación de eventos discretos su estructura, su función, y su única manera de analizar resultados.

Así que para tomar libertades con uno de los mentores en este campo, diremos que la simulación es el proceso de diseñar un modelo dinámico o estático de un sistema dinámico actual con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de límites impuestos por un criterio o grupo de criterios) para la operación del sistema. Estas simulaciones pueden ser de eventos discretos (usualmente usado en microsimulación) o estáticos (usualmente usado en macrosimulación)

I.4. Simulación de Transporte

El elevado volumen de vehículos circulando por las ciudades hace imprescindible que existan sistemas de gestión semafórica que

intenten que la circulación sea la mejor posible. Estos sistemas son los centros de control de tráfico, en los cuales un ordenador establece cual es la política de control adecuada para las circunstancias del tráfico en cada momento y lugar, definiendo distintas estrategias de control adecuadas a las circunstancias de tráfico y buscando los parámetros de control semafórico que permitan que la circulación se desarrolle en forma óptima. Estos son uno de los muchos estudios, en tránsito y transporte, que se apoyan en técnicas de optimización y simulación de tráfico, herramientas que permiten al ingeniero de tráfico determinar los parámetros de regulación semafórica adecuados.

La simulación de tráfico o transporte es una herramienta fundamental en la ingeniería de transportes, bien como parte del bucle de optimización – simulación, bien como base para experimentar estrategias de control previamente definidas, analizar situaciones de tráfico, estudiar la señalización horizontal y vertical, prever la repercusión de las obras en la vía pública o bien para la planificación de las políticas de urbanismo en las ciudades.

Existen dos tipos principales de simulación de tráfico que están relacionadas con la profundidad del análisis a realizar. Estos tipos son la simulación macroscópica y la microscópica.

1.4.1. Simulación Microscópica o Microsimulación

Considera el movimiento de cada vehículo individualmente, requiere una gran cantidad de datos, los modelos que utiliza son bastantes complejos y los costos computacionales requeridos son muy elevados, por el contrario ofrece resultados que dan una idea detallada del funcionamiento de la red y es muy útil para analizar estrategias de control, la estructura de la red y la sensibilidad del sistema ante cambios muy concretos en el tráfico.

1.4.2. Simulación Macroscópica o Macrosimulación

La simulación macroscópica se basa en el análisis del tráfico desde una perspectiva más global, donde el tráfico se considera continuo (no se consideran los vehículos individualmente) y su aplicación es esencialmente la planificación urbanística de obras grandes como pueden ser: Los óvalos o pasos a desnivel en las ciudades, nuevas infraestructuras (estaciones de autobuses, centros comerciales, etc.), nuevos centros de atracción, etc.

El desarrollo de este punto es la base de la teoría para la creación del modelo de simulación de la asignación del tránsito peatonal a la red vial urbana.

I.5. Modelación y Toma de Decisiones en el Campo del Transporte

Antes de elegir un marco de modelación, se debe identificar el acercamiento a la toma de decisiones general adoptada en el país o en la institución en donde se toman las decisiones, gobierno o unidad de decisión. Se debe reconocer que hay muchos estilos de toma de decisiones en la práctica y no todos usan la modelación como un bloque de construcción básica. Es posible caracterizar los estilos de toma de decisiones de muchas maneras diferentes. Lo que sigue es una adaptación de un esquema elaborado por Nutt (1981).

1.5.1. Decisiones Basadas en Planes Maestros

Hay una larga tradición sobre desarrollar y aplicar este tipo de estrategias en el área del planeamiento de transporte y uso de suelo. Hay también mucha experiencia en el fracaso de tales acercamientos. Las decisiones son basadas en interpretaciones del plan maestro que proveen las reglas que gobiernan las contingencias, expectativas de performance y lo que puede o no puede hacerse. El plan maestro es normalmente preparado con mucho cuidado y atención para el futuro, quizás a través del uso de un ejercicio de modelación de transporte caro implementado en los años 1960s y 1970s.

— Los planes maestros pueden ser razonables cuando el entorno es estable y por consiguiente los problemas de decisión se repiten. Los

planes maestros tienen la ventaja de informar a todos lo que se hará, y tiene la principal desventaja que rara vez funcionan: el entorno económico, social y tecnológico cambia más rápido que antes que se puedan adaptar los planes. Además, cuando la nueva información no encaja en un plan maestro, es muy raro que se recoja o use para mejorar la toma de decisión. Es desafortunado que muchos países en desarrollo hayan intentado adoptar este tipo de acercamiento que es inapropiado al medioambiente cambiante.

1.5.2. Teoría de Decisión Normativa o Racionalidad Substantiva

Este es un acercamiento a la toma de decisiones racional implícita en la mayoría de libros sobre planeamiento de transporte. Algunas veces es referido como el “acercamiento de sistemas” al planeamiento. Aquí, la cuantificación es esencial. El problema de decisión es visto como una de las opciones de elección de un juego completo de alternativas y escenarios, con estimaciones en su probabilidad de ocurrencia; la utilidad de cada alternativa es cuantificada en términos de beneficio y costo y otros criterios como la protección del medioambiente, seguridad y así sucesivamente.

En algunos casos, puede ser posible predecir un problema de decisión en un marco de programación matemática. Esto significa que la función objetivo está bien entendida y especificada, y que lo mismo aplica a las restricciones definiendo un espacio de solución.

Sin embargo, para la mayoría de problemas reales algunos elementos de la función objetivo o restricciones pueden ser difíciles de cuantificar o de convertir a unidades comunes de medida como dinero o tiempo. Puede ser también muy difícil de incluir algunos elementos probabilísticos en cada caso, pero una buena cantidad del problema se aprende en el proceso. La modelación es la base de este acercamiento. Algunos de los problemas de aplicar la teoría de decisión normativa son:

- La acusación de insensibilidad a las aspiraciones del público.
- Su costo alto.
- La enajenación de los tomadores de decisiones quienes no pueden entender ni aceptar el tratamiento analítico del problema.

Además, este acercamiento ha fallado a menudo en entregar resultados a tiempo y con precisión aceptable.

1.5.3. Teoría de la Decisión del Comportamiento

Esto es un intento de suavizar los bordes del acercamiento de la teoría de la decisión normativa reconociendo que a menudo los tomadores de decisiones no son maximizadores de utilidad sino simplemente personas que satisfacen ciertas necesidades. La búsqueda de mejores soluciones se detiene una vez que se

encuentra una solución aceptable; este acercamiento combina la búsqueda, el aprendizaje y la toma de decisiones pero es improbable que genere soluciones que no son mejoras marginales en la práctica actual.

De hecho, el acercamiento es como un análisis marginal de un problema de optimización pero comenzando desde la situación no óptima; menores pero mejoras aceptables son exploradas y elegidas con la esperanza de moverse hacia una mejor escala del entorno. La modelación juega un rol más restrictivo aquí y pueden ser del tipo más simples. La demanda marginal y los modelos de oferta encajan muy bien con este acercamiento.

1.5.4. Toma de Decisión de Grupo

Este es un acercamiento común seguido en muchas áreas en donde gobiernan los comités. La toma de decisiones se vuelve un proceso de aprendizaje dentro de un grupo con autoridades de decisión y un mandato específico. Los individuos contribuyen con su conocimiento y experiencia y el grupo intenta aplicar éstos al problema de decisión. Información cualitativa y cuantitativa, así como también predicciones, son combinadas en este acercamiento pero no de cualquier manera sistemática. Las vistas de miembros persuasivos o poderosos del grupo pueden predominar más allá de su valor intrínseco.

La participación en un grupo de decisión de este tipo a menudo fomenta la aceptación de decisiones lo cual es un importante elemento en un contexto de planificación. Algunas veces grupos directivos son establecidos para guiar y aconsejar en la implementación de ejercicios principales de modelación. Ellos potencialmente proveen buenos consejos en la inclusión o de otra forma de problemas en la tarea de modelación y promueven la aceptabilidad del plan resultante.

1.5.5. Toma de Decisión Adaptable

Este acercamiento general es una versión de grupo de toma de decisiones más flexible. Ello reconoce la interacción entre los grupos de presión, nadie sostiene un poder completo de toma de decisión. Cada grupo ve el problema de una manera diferente y por consiguiente la negociación y el compromiso son adquiridos para alcanzar una decisión. Se aboga que el acercamiento sea donde el problema contenga muchas variables e interacciones mal definidas donde ninguna teoría normativa o del comportamiento exista para sugerir relaciones causa-efecto. El acercamiento es común en toma de decisiones legislativas y diplomáticas, así como también, en muchos grupos de decisiones y en particular donde la supervivencia se vuelve el objetivo dominante.

Dentro de este acercamiento, la modelación de transporte juega solamente un rol de instrumento menor. Un estudio y sus recomendaciones son usados como argumentos en las negociaciones y grupos de presión, casi sin importar su valor intrínseco. Las técnicas del estado del arte pueden ser usados, no porque ellos son mas sensitivos o precisos sino porque esta demanda exige mayor valor a los resultados de estudio y por lo tanto, energía a sus patrocinadores.

1.5.6. Estrategias de Toma de Decisión de Modo Mixto

Finalmente, es a menudo posible de combinar muchos de los acercamientos anteriores en una estrategia flexible. Esto es bastante común en los estudios de transporte. Este tipo de estrategia reconoce que la manera en que las decisiones son hechas podría ser tan importante como el curso de acción seleccionada. El acercamiento de modo mixto usa el análisis, persuasión, negociación y las estrategias políticas en diferentes campos y bajo diferentes metas. El último, es considerado algunas veces fijos y conocidos pero como en los procesos de negociación pueden volverse necesarios para agrandarlos de tal forma de incluir las preocupaciones de las partes en conflicto.

Esto es un acercamiento realista que acepta que para problemas importantes las metas y campos de acción a menudo cambian como

parte del proceso de toma de decisiones. Considerar por ejemplo planes para introducir mejoras viales o nuevas redes de vehículos motores en un área urbana; o la tarea de elegir la mejor alineación para una vía de tren; o la expansión de la capacidad del aeropuerto implica que la modelación a menudo juegue un importante rol en este acercamiento; debe hacerse énfasis en la flexibilidad y capacidad para la adaptación, la inclusión de nuevas variables y el rápido análisis de las políticas y diseños innovativos.

I.6. Estructura del Modelo Clásico de Transporte

Años de experimento y desarrollo han resultado en una estructura general que ha sido llamada el modelo clásico de transporte. Esta estructura es, en efecto, el resultado de la práctica en los años de 1960s y ha permanecido más o menos inalterable a pesar de las mejoras importantes en las técnicas de modelación durante los últimos 30 años.

El modelo clásico se presenta como una secuencia de cuatro sub-modelos: Generación de Viajes, Distribución de Viajes, Partición Modal y Asignación. En general se reconoce que las decisiones del viaje no son, en realidad, tomadas en este tipo de secuencia; una vista contemporánea es que la ubicación de cada sub-modelo depende de la forma de la función utilidad asumida para gobernar

todas estas elecciones de viaje (Williams 1977). Los cuatro submodelos del modelo clásico de transporte son explicados brevemente a continuación:

1.6.1. Generación (Producción/Atracción)

El modelo de generación de viajes tiene por objetivo estimar el número de viajes-persona que empezarán (viajes producidos) su viaje desde un origen conocido dentro de un periodo de tiempo determinado (hora, día, etc.), así como, estimar los viajes-persona que terminarán (viajes atraídos) en un destino conocido en el mismo periodo temporal.

1.6.2. Distribución de Viajes

El siguiente paso es la estimación de viajes que se intercambian entre cada zona. El objetivo es “distribuir” los viajes generados en la zona_i entre cada zona_j. La suma de todos los viajes en cada zona_i deberán ser el total generado en esa zona; así mismo, la suma de todos los viajes que llegan a la zona_j deberán ser el total de los viajes atraídos estimados en el paso anterior.

1.6.3. Selección Modal

En una situación típica, el viajero puede seleccionar entre diversos modos de transporte (auto, avión, tren, autobús, bicicleta, caminar, etc.). Un modelo de selección modal tiene como objetivo representar

matemáticamente el comportamiento de los viajeros al seleccionar un modo en específico con base a las características particulares de cada uno de ellos. Esta selección varía entre cada tipo de persona, motivo de viaje, distancia de recorrido, costos de viaje, etc.

1.6.4. Asignación de Viajes

El último paso del modelo secuencial se refiere a la selección que realizan los viajeros de un modo específico, de un camino particular que lo conecte entre su origen y su destino. El resultado de la asignación es el número de vehículos, personas o carga que transitan por la red de transporte multimodal existente.

1.7. Softwares Utilizados para la Creación del Modelo

1.7.1. Software EMME/3

EMME/3 (Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium) es un sistema de estado del arte para planificar el transporte de personas en redes multimodales. Este sistema provee a los planificadores con un juego de herramientas flexibles y comprensivas para modelación de demanda, así como también, para el análisis y evaluación de redes. EMME/3 es muy flexible y el usuario puede utilizar más de 50 módulos para desarrollar un modelo adaptado a proyectos específicos bajo investigación.

El EMME/3 fue desarrollado en los años 80's en el Center for Research on Transportation (CRT) de la Universidad de Montreal y desde 1986 el desarrollo y soporte técnico del EMME/3 está a cargo de INRO Consultants Inc. (Canadá). Este sistema es usado a nivel mundial para asistir en el desarrollo de proyectos que involucran la planificación del transporte regional y urbano.

La Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico – AATE, PERU tiene una licencia actualizada para usar el EMME/3 y lo ha usado en algunos proyectos, particularmente en proyectos de trenes.

Como ya se ha mencionado en los antecedentes de este trabajo de investigación en referencia a que no existen herramientas especializadas orientadas al tránsito del peatón, se utilizaron las herramientas que existen en el medio, las cuales están influenciadas por el tránsito de vehículos motorizados. Para la creación del modelo de simulación, la herramienta utilizada fue el EMME/3.

1.7.2. Software TRANSCAD

La versión del TransCAD utilizado para la presente investigación es el TransCAD base versión 4.5. El TransCAD es el primer y único Sistema de Información Geográfica (GIS) diseñado específicamente para ser usado por los profesionales del transporte almacenando, mostrando, administrando y analizando la información de transporte.

TransCAD combina el GIS y las capacidades de transporte en una sola plataforma integrada, proveyendo capacidades que no se asemejan a otro paquete. TransCAD puede ser usado por todos los modos de transporte en cualquier escala o nivel de detalle.

El TransCAD provee:

1. Un potente motor GIS con especial énfasis para el transporte.
2. Herramientas diseñadas de mapeo y visualización para aplicaciones de transporte.
3. Módulos de aplicaciones para rutas, logística, ubicación de lugares y administración del territorio.

TransCAD fue utilizado para elaborar y desarrollar, los mapas, redes e información de la base de datos del modelo. Esta información sirve de insumo para la elaboración del modelo.

1.7.3. Software SPSS

SPSS es un paquete estadístico y de administración de datos utilizado por los analistas e investigadores. El SPSS provee un amplio rango de capacidades para el proceso analítico. Con el SPSS, se puede generar rápidamente información para la toma de decisiones usando poderosas estadísticas, entendiendo y presentando efectivamente los resultados con salidas gráficas y tabulares de alta calidad.

El SPSS fue utilizado para los datos estadísticos que el modelo requiere para hacer diversas actividades como el realizar los pronósticos y el calcular el valor subjetivo del tiempo y otras actividades estadísticas adicionales.

CAPITULO II

EL TRÁNSITO PEATONAL EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO

II.1. Generalidades

El transporte ha desempeñado un papel muy importante en el desarrollo de las civilizaciones antigua y moderna, así como también en la contemporánea; y continua desarrollando su importante papel en nuestra existencia. Desde un inicio, las personas han tratado y se han movilizado por diversos motivos desde un lugar a otro (origen y destino) y desde entonces este proceso o actividad no se ha detenido. Con la aparición de la rueda, así como otras tecnologías, los medios y las formas de trasladarse han variado pero en el fondo el contexto sigue siendo el mismo.

El transporte es uno de los indicadores de desarrollo de las ciudades de un País, por lo que en la medida que las sociedades han ido creciendo y tornándose más complejas, los tomadores de decisiones

han visto la necesidad de unir las actividades que se llevan a cabo en lugares separados en busca de una utilidad o beneficio, mediante el transporte de personas y mercaderías sobre diversos medios de comunicación. Según Rafael Cal y Mayor y James Cárdenas en su Libro Ingeniería de Tránsito, el éxito en satisfacer esta necesidad, ha sido y será uno de los principales contribuyentes en la elevación del nivel de vida de las sociedades de todos los países del mundo.

El tránsito, ya sea de vehículos o personas, es una fase o es parte del transporte. Muchas personas al transportarse, transitan por distintos áreas, vías o caminos con lo cual hacen posible el llegar a su destino. Las personas usualmente caminan rutas cortas para realizar conexiones con otros medios de transporte en el origen o destino, asimismo, también realizan viajes directos sin la necesidad de conexiones. Sin embargo, dependiendo del motivo de su caminata las personas pueden caminar un poco más.

Por consiguiente, si determinada área, urbana o rural, desea crecer y prosperar, será necesario planear, estudiar, proyectar, construir, operar, conservar y administrar nuevos sistemas lo suficientemente convenientes y adecuados, tanto para el transporte motorizado (público y privado) así como también el transporte no motorizado, de tal forma que permitan conectar e integrar las actividades que se desarrollan en los diferentes lugares mediante la movilización de

personas y mercaderías. Estos sistemas deberán planearse manteniendo un uso económico y eficiente del suelo, y a la vez contribuyan estéticamente al medio ambiente, tanto de los usuarios como de la población aledaña.

II.2. Conceptos Generales

Los conceptos presentados a continuación fueron tomados del Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española con lo cual se trata de explicar mediante un enfoque técnico y científico la Ingeniería de Tránsito y Transporte:

- Transportar; Llevar a alguien o algo de un lugar a otro.
- Transporte o Transportación; Sistema de medios para conducir personas y cosas de un lugar a otro.
- Transitar; Ir o pasar de un punto a otro por vías o parajes públicos.
- Tránsito; Actividad de personas y vehículos que pasan por una calle, una carretera, etc.
- Tráfico; Movimiento o tránsito de personas, mercancías, etc., por cualquier otro medio de transporte.
- Peatón; Persona que va a pie por una vía pública.

Por consiguiente, se puede decir que el tránsito y el transporte están estrechamente ligados y se puede definir a estas Ingenierías como al campo de la ingeniería que envuelve al planeamiento, diseño geométrico y las operaciones de tránsito de vías, calles y carreteras. Esto incluye a las redes, terminales, uso de suelo, y relaciones con otros modos de transporte para la seguridad eficiencia y conveniente movimiento de las personas y mercaderías. La diferencia entre Tránsito y Transporte es que el primero estudia al objeto de una forma más individual y en un área específica.

II.3. Sistema de Transporte

II.3.1. Estructura del Sistema de Transporte

Según M. L. Manheim, el análisis de sistemas de transporte debe apoyarse en las dos premisas básicas siguientes:

- El sistema global de transporte de una región debe ser visto como sistema multimodal simple.
- El análisis del sistema de transporte no puede separarse del análisis del sistema social, económico y político de la región.

Por lo tanto, en el análisis del sistema global de transporte, se deben considerar:

- Todos los modos de transporte
- Todos los elementos del sistema de transporte: las personas y mercancías a ser transportadas, los vehículos en que son transportados, la red de infraestructura sobre la cual son movilizados y los vehículos, los pasajeros y la carga, incluyendo los terminales y los puntos de transferencia.
- Todos los movimientos a través del sistema, incluyendo los flujos de pasajeros y mercancías desde todos los orígenes hasta todos los destinos
- El viaje total, desde el punto de origen hasta el destino, en todos los modos y medios para cada flujo específico.

El sistema de transporte de una zona urbana está estrechamente relacionado con su sistema socioeconómico. En efecto, el sistema de transporte usualmente afecta la manera como los sistemas socioeconómicos crecen y cambian y, a su vez, las variaciones en los sistemas socioeconómicos generan cambios en el sistema de transporte.

II.3.2. El Planeamiento del Sistema Vial Peatonal

Los cuatro elementos considerados básicos que componen la ingeniería de tránsito son:

- El usuario (relacionado con peatones y conductores).
- El vehículo.
- La vialidad (relacionado con calles y carreteras).
- Las políticas de tránsito.

Siempre que se trate de la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor y más aún cuando se trate de un sistema de transporte no motorizado, el ingeniero de tránsito debe conocer las habilidades, limitaciones y requisitos que tiene el usuario, como elemento de la ingeniería de tránsito. Los seres humanos, *peatones y conductores*, son elementos primordiales del tránsito por calles y carreteras, quienes deben ser estudiados y entendidos claramente con el propósito de poder ser controlados y guiados en forma apropiada. El comportamiento del individuo del flujo de tránsito, es con frecuencia, uno de los factores que establece sus características.

II.3.3. El Peatón

Para la descripción del Peatón, se ha transcrito textualmente lo que se menciona en el Libro de Ingeniería de Tránsito de R. Cal y Mayor y J. Cárdenas en donde se dice lo siguiente: *“Se puede considerar como peatón potencial a la población en general, desde personas de un año hasta de cien años. Prácticamente, todos somos peatones, por lo tanto, a todos nos debería interesar este aspecto. También, puede decirse que el número de peatones de un país casi equivale al censo de la población”*.

Por otra parte, es importante estudiar al peatón porque no solamente es víctima del tránsito, sino también una de sus causas. En la mayoría de los países del mundo, que cuentan con un número grande de vehículos, los peatones muertos anualmente en accidentes de tránsito ocupan una cifra muy alta. Muchos de los accidentes sufridos por peatones ocurren porque estos no cruzan en las zonas marcadas para ellos.

El peatón no se ha asimilado al medio; en general, aun no ha comprendido lo que significa el transporte automotor. En las actividades comunes del peatón en las calles, en la vida diaria, sigue existiendo una situación anormal. Esto se nota más claramente con gente que viene de fuera del medio, como gente de provincia que llegan a una ciudad; están indecisos en los

cruceros esperando un momento oportuno, sin saber de que lugar vienen los vehículos y repentinamente trata de cruzar corriendo.

A semejanza con los servicios para vehículos se puede establecer un nivel de servicio para el tránsito de peatones. Según datos aportados en la Reunión Regional de la Federación Internacional de Carreteras, en Buenos Aires, Argentina, en 1980, se pueden considerar los valores mostrados en la Tabla N° 1.

Tabla N° 1.- Niveles de Servicio para Tránsito Peatonal

Nivel de Servicio	Volumen de Servicio (peat/min/m)	Espacio M2 por Peatón	Velocidad Mínima de Cooperación	
			m/min	Km/hr
A	22	3.5	77	4.6
B	30	2.5	75	4.5
C	46	1.5	69	4.1
D	62	1.0	62	3.7
E	81	0.5	40	2.4
F	Variable	< 0.5	< 40	< 2.4

FUENTE: Federación Internacional de Carreteras, Reunión Regional, Buenos Aires, Argentina, 1980

En la tabla anterior, se acepta el nivel de servicio E como aquel al cual se llega al máximo volumen de servicio o capacidad, la que indica que por cada metro de sección transversal de acera pueden pasar un máximo de 81 peatones por minuto, a una velocidad de 2.4 Km./hr. Esto, en otras palabras, en términos de espacio representa 0.5 m2 por peatón. Para efectos de

comparación, en la Tabla N° 2. Se muestran los criterios adoptados por el Manual de Capacidad de Carreteras de 1985 de los Estados Unidos, en la definición de los niveles de servicio peatonales, para condiciones promedio en periodos de 15 minutos.

Tabla N° 2.- Niveles de Servicio en Aceras

Nivel de Servicio	Volumen de Servicio (peat/min/m)	Espacio M2 por Peatón	Velocidad Mínima de Cooperación	
			m/min	Km/hr
A	≤ 7	≥ 12.1	≥ 79	≥ 4.7
B	≤ 23	≥ 3.7	≥ 76	≥ 4.6
C	≤ 33	≥ 2.2	≥ 73	≥ 4.4
D	≤ 49	≥ 1.4	≥ 69	≥ 4.1
E	≤ 82	≥ 0.6	≥ 46	≥ 2.8
F	Variable	< 0.6	< 46	< 2.8

FUENTE: Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, Special Report 209, National Research Council, Washington, D.C., 1985

Obsérvese que, al comparar las dos tablas anteriores, los valores finalmente adoptados por el Manual de Capacidad en la definición de los niveles de servicio peatonales son mucho más exigentes, sobre todo para el nivel de servicio A. Sin embargo, en cuanto a capacidad son bastante consistentes.

Sin se pudiera prever el volumen de peatones que va a tener cierta sección comercial de la ciudad, se partiría de esta base para proyectar el ancho de las aceras. También, se puede medir la deficiencia de las aceras actuales, pues se sabe que muchas de las que se tienen en el centro comercial, son insuficientes, o

que no llena el requisito de capacidad, por lo que se puede tomar acciones tendientes a mejorar sus condiciones.

II.4. Características de la Demanda No Motorizada según el Plan Maestro de Transporte de Lima y Callao

El Plan Maestro de Transporte Urbano de Lima y Callao fue elaborado con información recopilada en el 2004 por un grupo de Especialistas Japoneses con fondos de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) a solicitud del Gobierno Peruano a través de la Secretaria Técnica del Consejo de Transporte de Lima y Callao. Este documento es una gran fuente de información en materia de transporte ya que se cuenta con información privilegiada recopilada a través de muchas encuestas en toda la ciudad.

Según el Plan Maestro de Transporte, el ratio de viajes a pie con el número total de viajes producidos por los residentes en Lima Metropolitana es alrededor del 25%, y el de los viajes en bicicleta es aproximadamente 0.5%. La tasa de viaje a pie y en bicicleta es bastante pequeña con 0.5 y 0.01, respectivamente. Viajes no motorizados como caminar y en bicicleta a menudo no son considerados importantes porque son pocos y no afectan la carga del tránsito. Sin embargo, el análisis de viajes no motorizados es

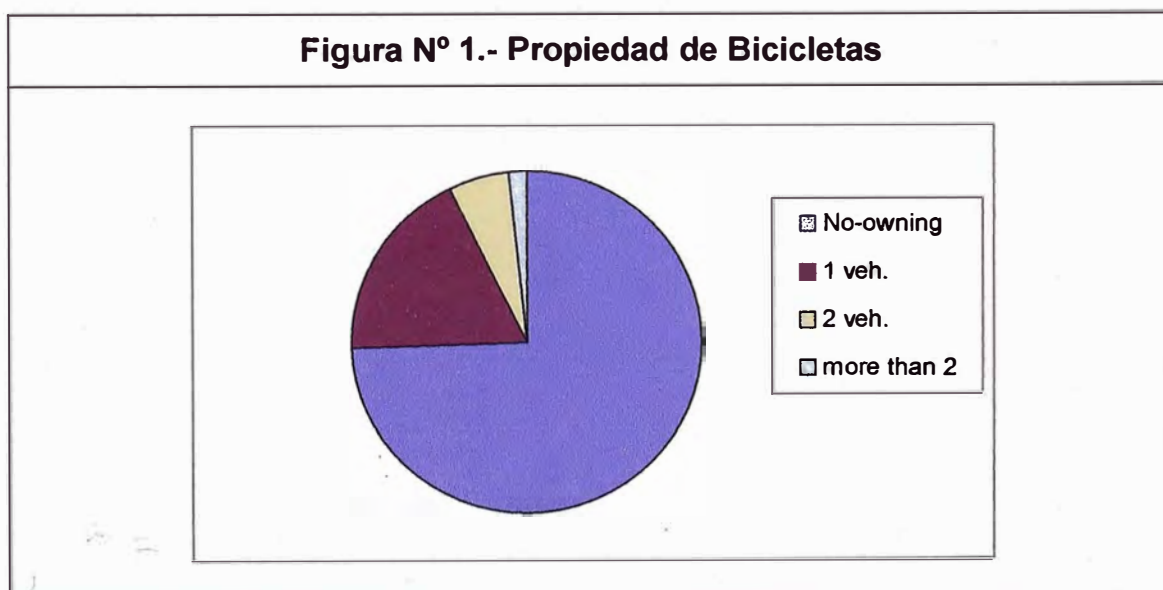
indispensable para el planeamiento de la red peatonal y ciclista (Ver Tabla N° 3).

Tabla N° 3.- Viajes No-Motorizados en Lima Metropolitana

	Nro. de Viajes (1,000)	Ratio (%)	Tasa de Viajes
Total de Viajes	16,538	100.00	2.1
Viajes a Pie	4,208	25.40	0.5
Viajes en Bicicleta	84	0.50	0.01

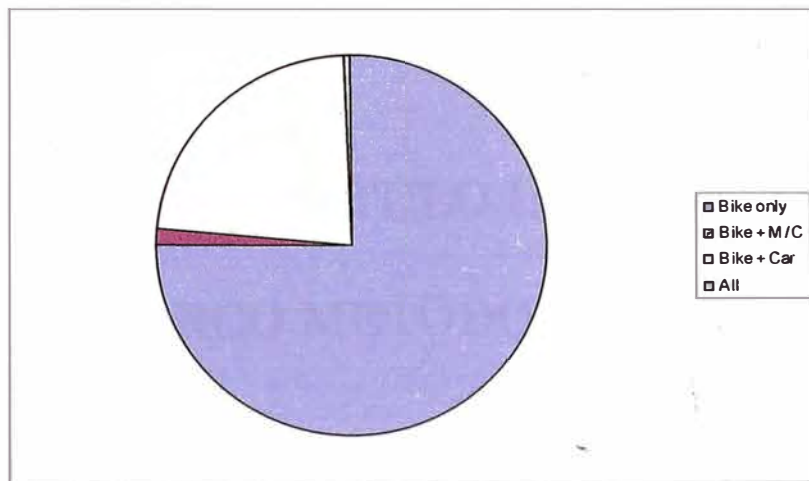
FUENTE: Plan Maestro de Transporte de Lima y Callao

La Figura N° 1 muestra la propiedad de bicicletas y la Figura N° 2 la relación entre la propiedad de bicicletas y la propiedad vehicular. La propiedad de bicicletas es casi el 25% de todos los hogares, y 7% de los hogares tienen más de una bicicleta. De los hogares que poseen bicicletas, 75% de los hogares sólo tienen una bicicleta, mientras que 25% poseen una motocicleta o un carro.



FUENTE: Plan Maestro de Transporte Urbano

Figura N° 2.- Propiedad de Bicicletas y Vehículos



FUENTE: Plan Maestro de Transporte Urbano

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La metodología que será aplicada en esta tesis se basa principalmente en la investigación sobre el proceso de modelación y simulación para la asignación del tránsito peatonal a la red vial urbana y la aplicación de un caso en un área de flujo peatonal elevado en la ciudad de Lima.

Esta investigación se ha iniciado con la recopilación de artículos (working papers) aprobados y publicados en diversos congresos y universidades sobre modelación, simulación, transporte y Sistemas de Apoyo a las Decisiones (DSS) con el objetivo de indagar los más interesantes. Además, se recopiló información de algunos libros y revistas y así preparar el Plan de Tesis. Este proceso también se utilizará para la elaboración del contenido de la Tesis.

En cuanto al trabajo de campo para el caso que se propondrá, se determinará el área de estudio estableciendo un área de interés a ser analizada por los tomadores de decisiones en donde se realizará la

recolección de información y la simulación de la situación actual o escenario base. Además, se considerará la información relevante recopilada en campo a través de encuestas realizadas por terceros la cual será analizada y filtrada para su posible incorporación al modelo. Toda esta información a recolectar debe ser detallada de tal forma que trate de representar en su totalidad el movimiento de tráfico en el área de estudio.

La figura siguiente es un formato de inventario vehicular para el recojo de información. Este formato fue adaptado y mejorado para el recojo de información del tránsito peatonal.

Figura N° 3.- Formato de Inventario Vehicular

FLUJOS VEHICULARES

INTERSECCION : _____

FECHA : _____

ENCUESTADOR: _____

MOVIMIENTOS : _____

OBSERVACIONES : _____

HORA	AUTOS			OMNIBUS			MICROS			CAMIONETA RURAL			CAMIONES			CAM
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	

FUENTE: Estudio de Aforos en la Av. N. Gambetta / CONSIIDE S.A.C.

La figura que se muestra a continuación es una propuesta de formato de inventario peatonal para el recojo de información.

Figura N° 4.- Formato de Aforos de Flujos PEATONAL

Flujos Peatonales				
Tramo	_____			
Origen:	_____			
Destino:	_____			
Fecha:	_____			
Encuestador:	_____			
Movimientos:	_____			
Observaciones:	_____			

HORA	PEATON			
	1	2	3	4

FUENTE: Estudio de Tránsito Peatonal en Tramos del Centro Histórico de Lima

También se hará una revisión bibliográfica de artículos, proyectos y tesis en los medios disponibles principalmente en Internet, bibliotecas, y revistas impresas o digitales, así como la asistencia a congresos y conferencia nacionales e internacionales de ser posible.

Como parte de la construcción del modelo se analizará, en primer lugar, empíricamente el área a ser trabajada. Luego, se identificarán los tipos de peatones y se recogerá la información (Ver Estudio de Tránsito Peatonal en Tramos del Centro Histórico de Lima). Una vez realizado este paso, se procederá a crear las teorías de comportamiento de las personas. Finalmente, lo evaluado servirá para elaborar el modelo acompañado también de otra clase de información como la red vial o grafo entre otros.

Se hará una inspección en campo para analizar la cantidad de puntos de conteo peatonal que se necesitarán y la cantidad de personas para cada punto de tal forma de poder cubrir el flujo de tránsito y el levantamiento de la sección vial así como también, de ser el caso, la toma de tiempo de los ciclos semafóricos. Mucha de esta información se ha podido encontrar en los diversos estudios realizados en la Ciudad de Lima con respecto a peatones y transporte con lo cual se hizo una evaluación de la información que se utilizó.

El universo establecido para el desarrollo de este trabajo abarca a todos los peatones que transitan por el área de estudio. De este universo se tomaron las matrices de viaje origen destino del Plan Maestro de Transporte y se hicieron ajustes con los datos obtenidos del Estudio de Tránsito Peatonal en Tramos del Centro Histórico de Lima. Adicionalmente, se tomaron pequeñas muestras en puntos de mayor afluencia así como también en aquellos lugares que se estimaron convenientes dentro del grado de red. Además, se hizo una observación en el sitio sobre la afluencia peatonal para hacer una verificación del movimiento de los flujos. El tamaño de la muestra depende básicamente de la cantidad de peatones que circulan en un determinado periodo de tiempo. De preferencia, se trabajó con los periodos punta y valle durante el día.

Además, se utilizó un sistema de información geográfica para el apoyo en la creación del modelo de simulación de tránsito con lo que mejora la

incorporación de la información al modelo de simulación y la visualización de los resultados.

Con la información obtenida, una vez procesada y analizada se elaboró una base de datos que se introdujo al software de modelación EMME/3, dando inicio a la construcción del modelo de simulación. En esta parte en mayor medida, así como en todo el periodo de desarrollo del trabajo de investigación se tomó mucho en cuenta las opiniones técnicas y sugerencias de los asesores y diversos profesionales del área.

Para que el modelo de simulación alcance un nivel de precisión elevado y trate de simular la realidad lo mejor posible se hizo una validación y calibración del modelo tratando de que este modelo se ajuste a la realidad lo mejor posible.

Una vez validado y calibrado el modelo, se pudo obtener los primeros resultados que serán analizados nuevamente y se hará una retroalimentación del modelo de simulación haciendo luego una verificación de nuestra hipótesis planteada anteriormente.

En la realización del modelo, se utilizó la metodología establecida por el modelo clásico de transporte el cual involucra cuatro sub-moc adaptado para el desarrollo de esta investigación. La estructura del modelo clásico de transporte utilizado, se describe en el CAPÍTULO II.

CAPITULO IV

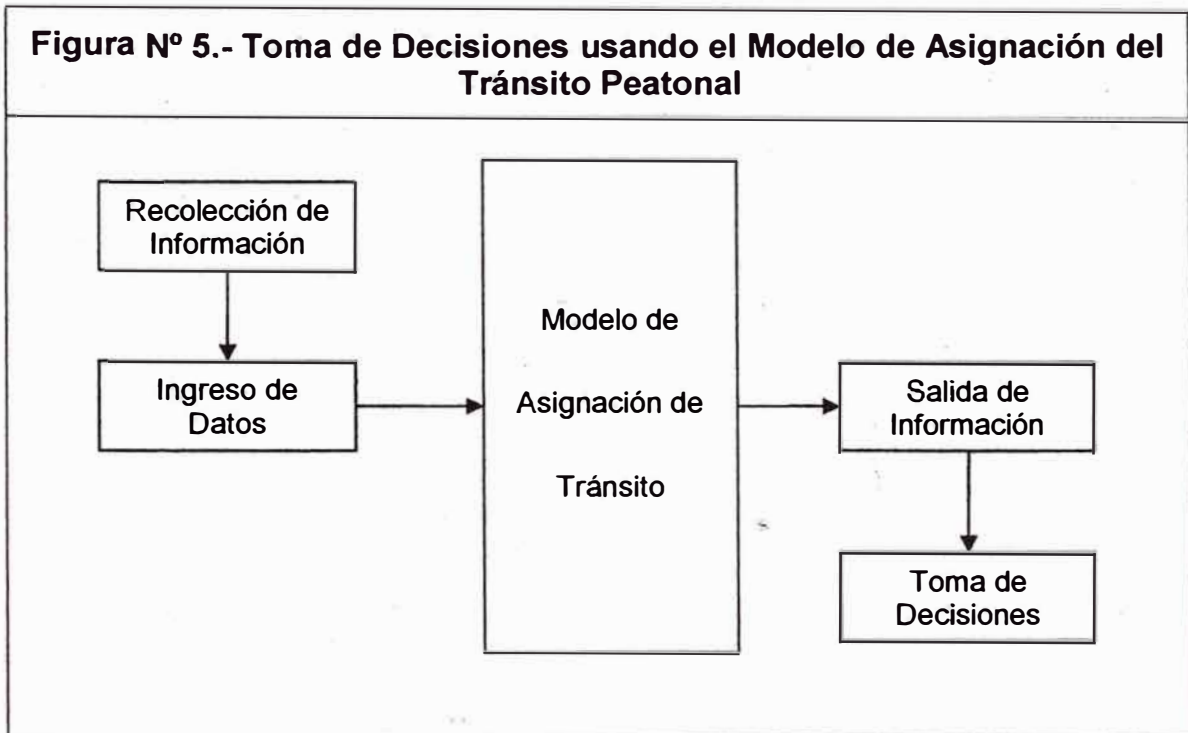
MODELO DE ASIGNACIÓN DEL TRÁNSITO PEATONAL

El Modelo para Simulaciones de Asignación de Tránsito Peatonal a la Red Vial Urbana, el cual es planteado en esta investigación, requiere de un esquema de desarrollo amplio el cual será detallado en este capítulo. La realización del Modelo planteado en el presente estudio, toma como base el Modelo Clásico de Transporte que a su vez cuenta con cuatro sub modelos y son mayormente utilizados en el desarrollo de proyectos para el Sistema de Transporte Urbano o Regional en la cual tienen como principal actor a los vehículos de transporte motorizado. El presente modelo de asignación peatonal cuenta con una estructura similar a los modelos estándar de planeación de transporte, incluyendo generación de viajes zonales basados en las características del uso de suelo; y distribución y asignación de viajes sobre la red basados en un acercamiento al modelo gravitacional.

IV.1. Modelación y Elección de la Toma de Decisiones

IV.1.1. Toma de Decisiones

Para optar por la utilización de un modelo y elegir un marco de modelación, se debe identificar el acercamiento a la toma de decisiones general adoptada en el país o en la institución en donde se toman las decisiones, gobierno o unidad de decisión; se debe, además, verificar la disponibilidad de información y recursos con que se dispone para la recopilación de información y la creación de un modelo en específico ya que inicialmente de ello depende el grado de detalle, exactitud y la robustez del modelo. En las instituciones que normalmente están ligadas al campo del transporte en Lima tienen una Teoría de Decisión Normativa o Racionalidad Substantiva para la toma de decisiones (Ver Capítulo II). Esto hace que dentro de la estructura de toma de decisiones, el modelo planteado en esta tesis quede representado como se muestra en la Figura N° 5.

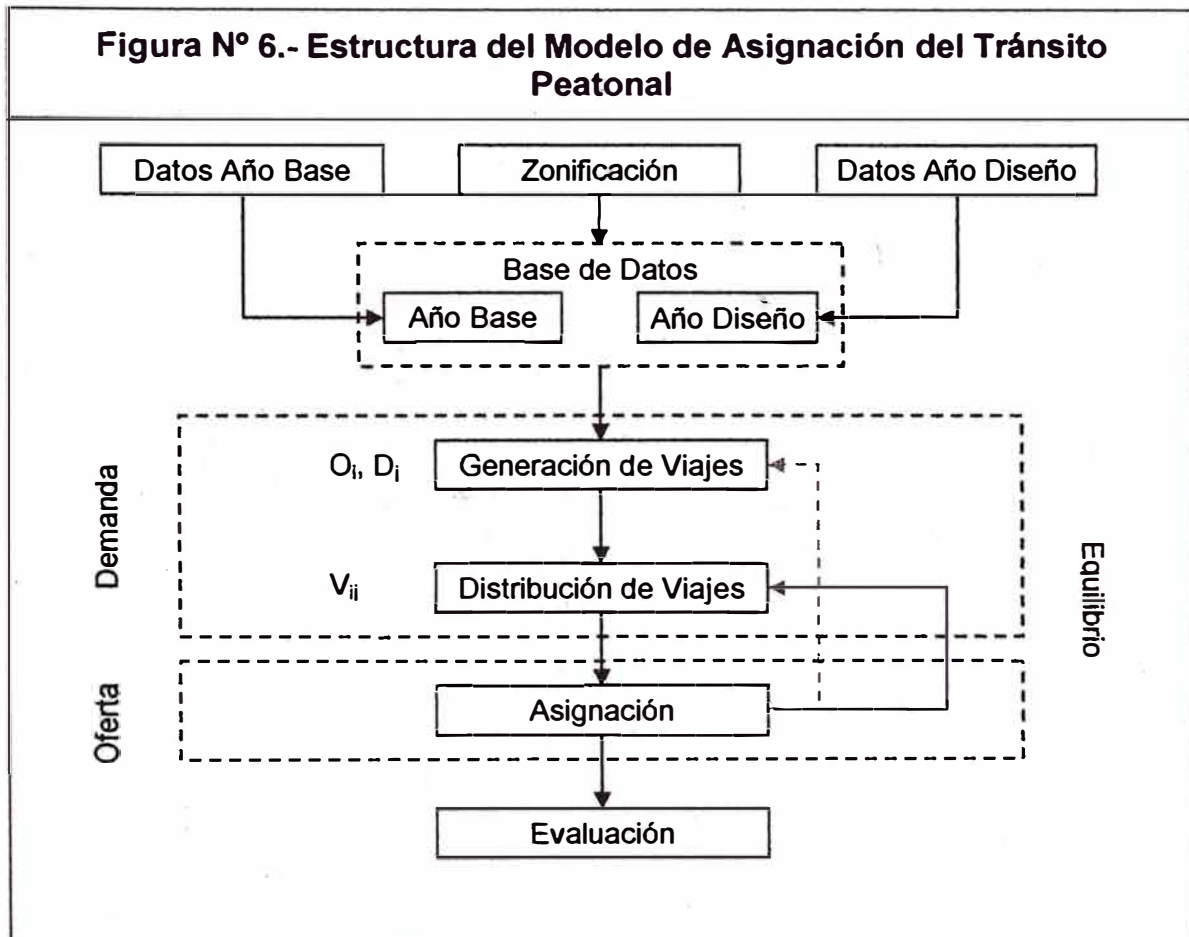


FUENTE: Elaboración propia

IV.2. Estructura General del Modelo de Asignación de Tránsito Peatonal

El modelo propuesto en esta investigación, como se muestra en la Figura N° 6, toma como base el modelo de cuatro etapas desarrollado para modelos de sistemas de transporte, sin embargo; no se considera la etapa de partición modal ya que no existe otro modo mas que el de peatón cuyo viaje lo realiza caminando. Esta estructura trata de representar el comportamiento del peatón comenzando con los viajes potenciales que se inician o terminan en una determinada zona (Generación y Atracción de Viajes), pasando por la decisión que toma el peatón sobre su destino (Distribución de Viajes) y eligiendo finalmente un determinado camino para llegar a su destino

(asignación de Viajes). La estructura del modelo se presenta a continuación.



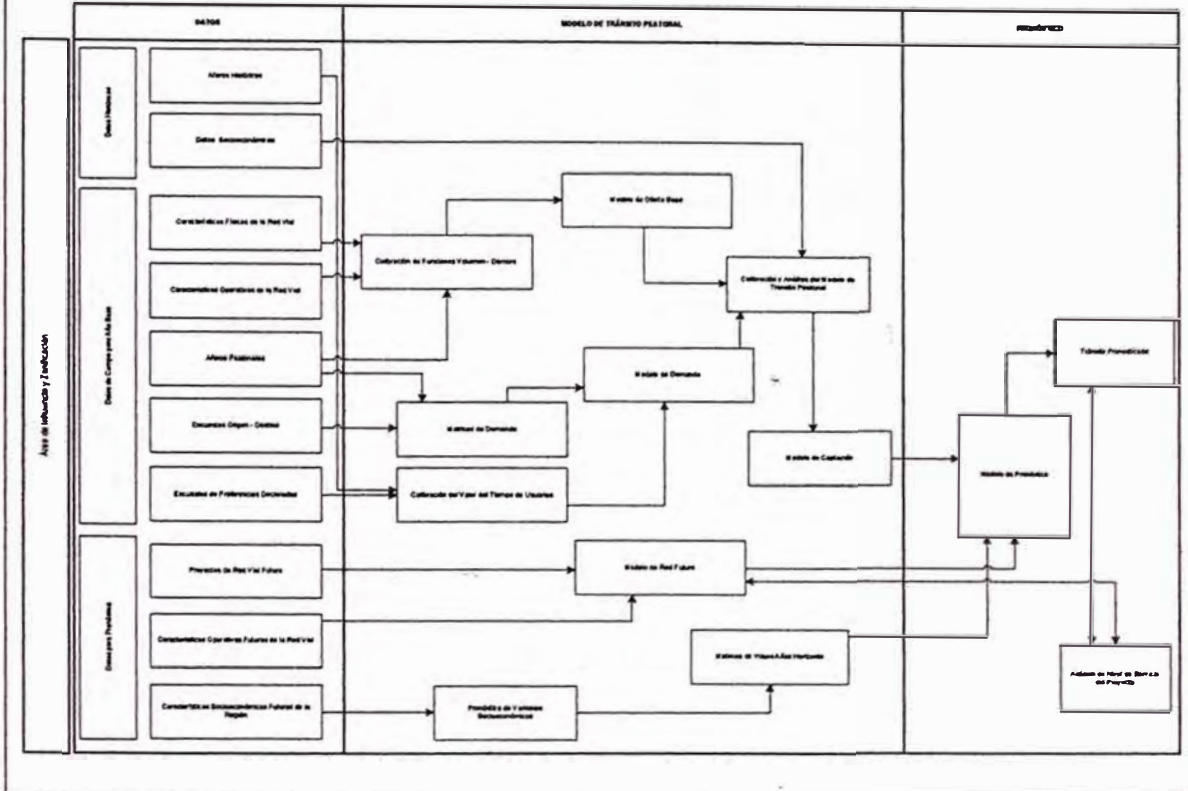
FUENTE: Adaptado del Libro Modelos de Demanda de Transporte, J. Ortúzar

Para elaborar e implementar el modelo de asignación de tránsito peatonal, la estructura del modelo debe considerar:

- En la práctica, la estructura anterior va a formar parte de un enfoque de planificación continua, en que se generan y prueban (evalúan) diversas soluciones a los problemas considerados para luego recomendar la mejor o mejores alternativas.

- Lo siguiente debería ser la implementación de la mejor solución o soluciones (y la eventual búsqueda de otro problema a analizar). Pero como el futuro es más incierto y cambiante de lo que implican estos modelos, los planes estratégicos de largo plazo necesitan ser revisados cada cierto periodo de tiempo actualizando la información interna del modelo para verificar su progreso y corregir el curso si es necesario.
- Es importante añadir una función de monitoreo, principalmente, para revalidar y mejorar los datos del modelo que evalúan los planes.

Figura N° 7.- Estructura Detallada del Modelo de Asignación del Tránsito Peatonal



FUENTE: Elaboración Propia

IV.3. Determinación y Segmentación del Área del Estudio

IV.3.1. Área de Influencia

Para elaborar el Modelo, como en todo proceso de planificación del transporte, se debe tener una referencia espacial en donde se localiza la infraestructura o los servicios que se deben analizar y planificar. Por lo tanto, se debe determinar el Área de Influencia delimitando el espacio urbano a analizar.

El área de influencia se puede definir como el espacio geográfico que se pretende analizar y en donde se encuentran la oferta, representado por la infraestructura; y la demanda, representado por los usuarios de aquella infraestructura.

La delimitación del Área de Influencia no solo sirve como base para establecer la información documental y de campo que debe recabarse, sino que también es el primer paso para definir la zonificación del proyecto. Asimismo, en ella se implementarán las estrategias de planeación de transporte que resulten del estudio.

IV.3.1.1. Clasificación del Área de Influencia

Un aspecto que vale la pena resaltar es que la delimitación del área de influencia va íntimamente ligada al alcance socioeconómico-territorial que tendrá el nuevo proyecto a desarrollarse. De esta forma, se podrían definir dos áreas de influencia: un área de ***influencia directa*** y un área de ***influencia indirecta***.

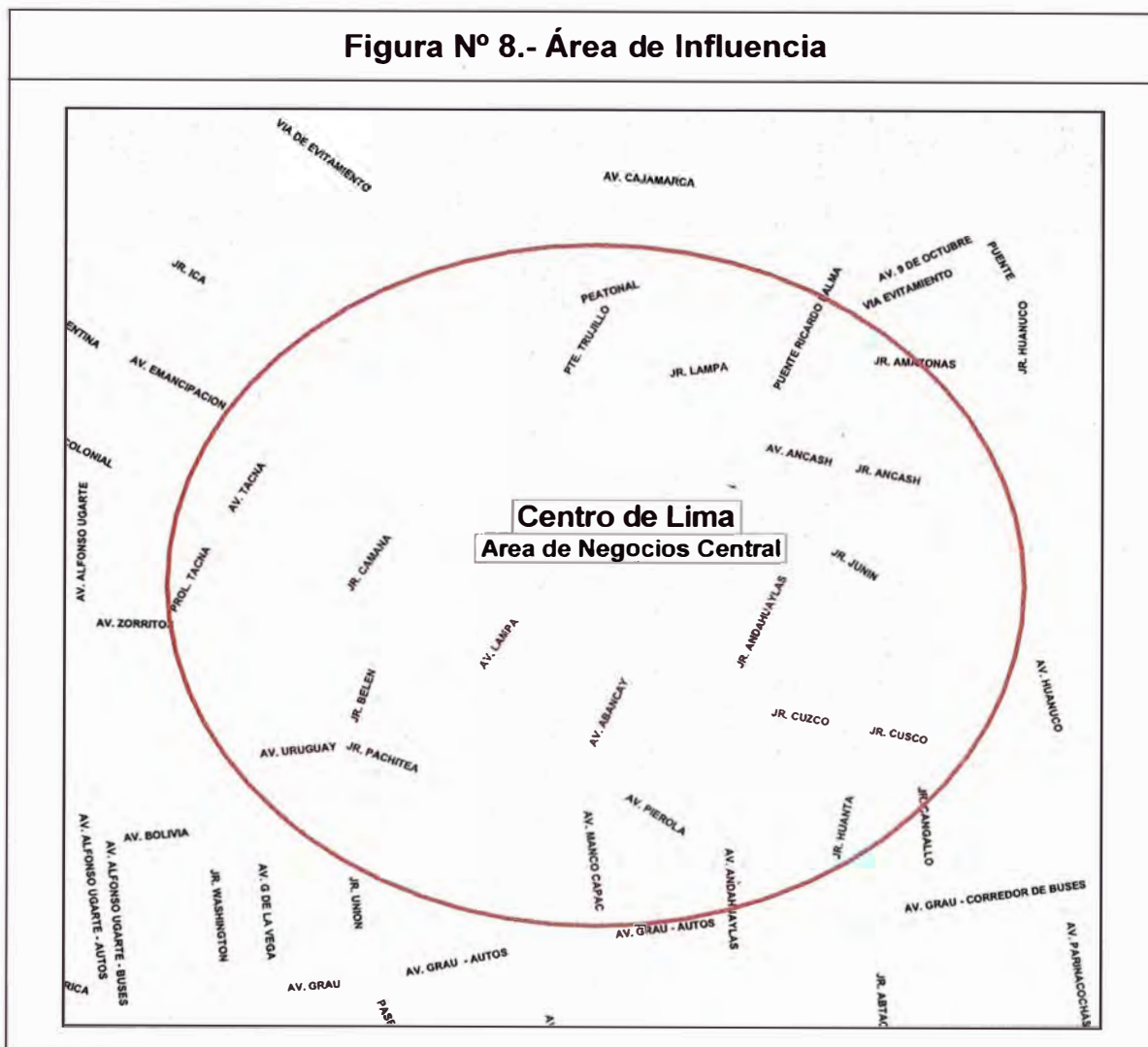
La primera incluye tanto la red vial peatonal local como la población cercana al nuevo proyecto. Sirve como marco de referencia a partir del cual se va a recopilar la información de campo correspondiente a la oferta y demanda y sobre el cual se va a elaborar el modelo de asignación peatonal.

Por otra parte, el área de influencia indirecta tiene un alcance más amplio e incluye otros sistemas, dependiendo del grado de análisis del estudio o investigación y las zonas urbanas de donde podrían existir potenciales peatones que serían afectados por el proyecto que tienen o tendrán una integración funcional, producto de la implementación del nuevo proyecto. En este contexto, también se analizan los diferentes indicadores socioeconómicos y proyectos diversos en el área, que tendrían incidencia en el tránsito peatonal.

Para el caso de la presente investigación, tal como se muestra en la Figura N° 8 se ha considerado como Área de Influencia al espacio urbano limitado por las vías que comprenden y cubren el Centro de Lima. Las avenidas que limitan el Área de Influencia de esta investigación son:

- Avenida Tacna
- Avenida Garcilazo de la Vega
- Avenida Bolivia
- Avenida Nicolás de Piérola
- Jr. Huanta
- Jr. Amazonas

Figura N° 8.- Área de Influencia



FUENTE: Elaboración propia

IV.3.2. Zonificación

La zonificación es una división del área de influencia o de estudio que agrega personas, hogares, empleos u otras variables, con el objetivo de facilitar el manejo de tal información (Ortúzar, 2000). No se debe perder de vista que el objetivo principal de la zonificación en los estudios de demanda de transporte es configurar una base espacial para referencia de los flujos de viajes y de las variables

explicativas a utilizar. Para los estudios de planeación de transporte la zonificación está conformada por Zonas de Tránsito.

Las dos dimensiones clave de un sistema de zonificación, son el tamaño y el número de zonas que están relacionadas; mientras mayor sea el número de zonas en un área determinada, menor será su tamaño (Ibidem).

El número y tamaño de las zonas en que se debe dividir un área depende básicamente de dos factores:

- **Carácter del estudio:** si es estratégico, se elegirán menos zonas y más grandes; si es detallado, mayor cantidad de zonas y de menor tamaño.
- **Recursos disponibles:** mayor número de zonas implica mayor exactitud, pero también mayor costo.

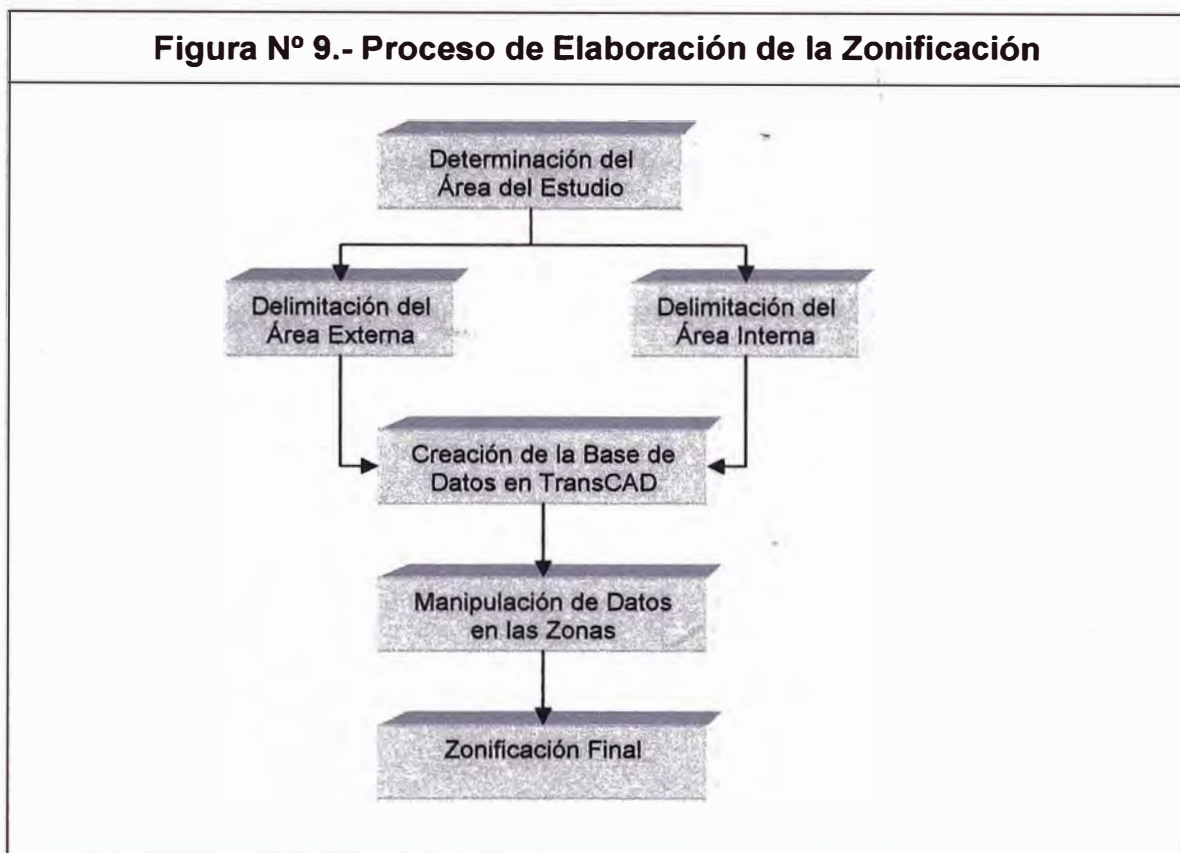
IV.3.2.1. Criterios para Zonificar

Los criterios que se han considerado para la elaboración de la zonificación en esta investigación, son los siguientes:

- Las zonas se deben delimitar de acuerdo con la configuración de las redes viales, es decir, se debe evitar que los límites de las zonas sean vías importantes porque aumenta la dificultad de asignar viajes.

- La accesibilidad a la red vial peatonal y a los principales centros generadores de la demanda en el área de influencia.
- Se debe considerar la existencia de barreras naturales para la delimitación de zonas como ríos, lagos, presas entre otros.
- El tamaño de las zonas deben considerar la suposición de que todas sus actividades se concentran en el centroide y no produzcan un error muy grande. Además, la existencia de zonas pequeñas tienen la ventaja de poder agregarse a futuro.
- La integración de las zonas debe ser tan homogénea como sea posible en su uso de suelo, composición de la población y niveles de ingreso.
- La zonificación generada debe ser compatible con otras zonificaciones de transporte existentes de estudios previos.
- Se deben respetar los límites políticos-administrativos para un manejo más íntegro de la información.
- Elaborar un catálogo de zonas congruentes con la base cartográfica
- La zonificación debe tener topología si se quieren realizar procesos posteriores de análisis espacial.

En la Figura N° 9, se presenta el proceso de elaboración de la zonificación del área de estudio para la asignación de tránsito. Con esta figura se aprecia de mejor manera y claridad la forma como se elaboró la zonificación.



FUENTE: Elaboración propia

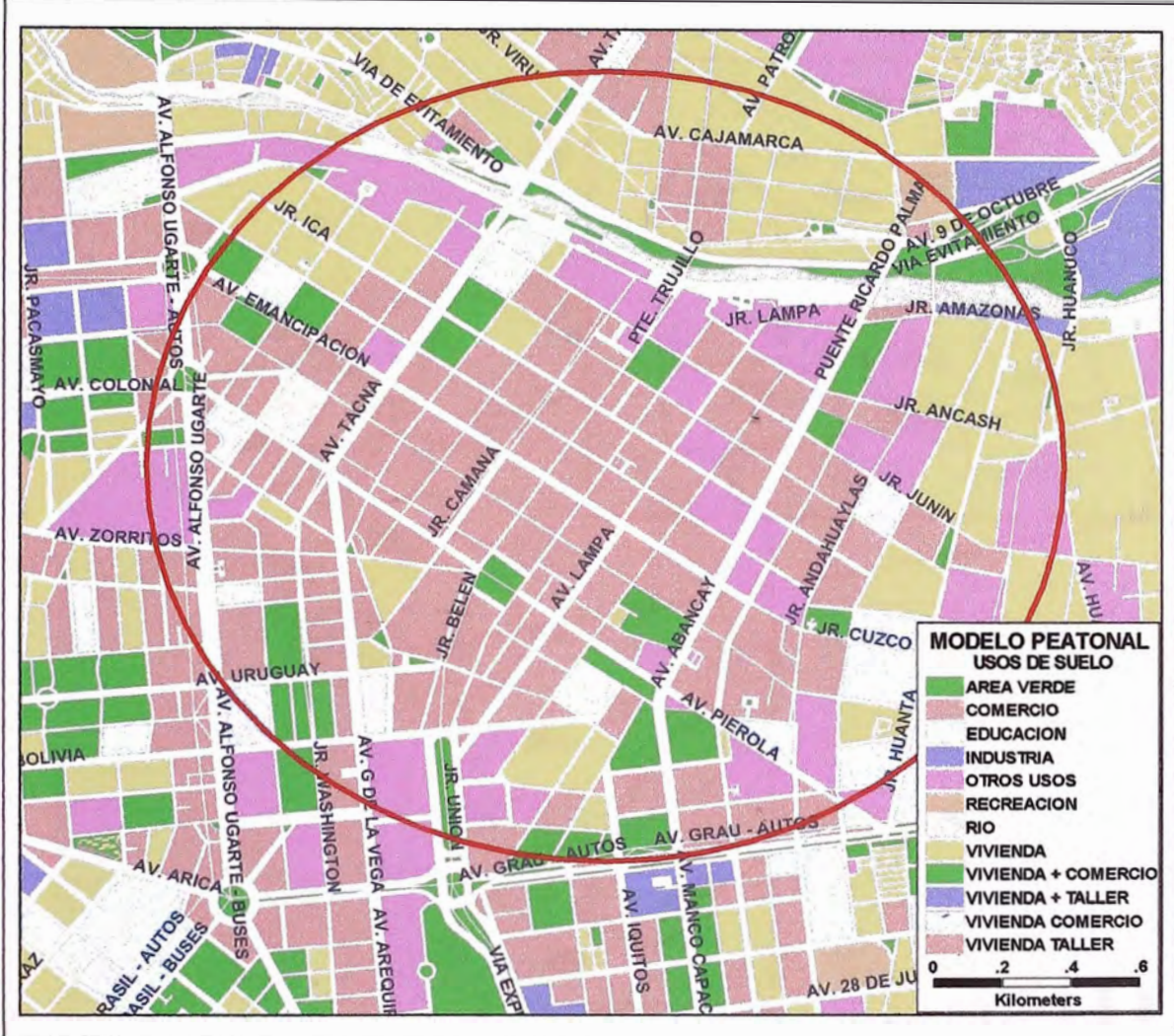
IV.3.2.2. Usos de Suelo

Los usos de suelo merecen una especial consideración en la elaboración de un modelo de tránsito peatonal ya que estos pueden describir los patrones de viaje de las personas en la situación actual y en el futuro.

Los usos de suelo nos dan ciertos patrones de viaje que las personas realizan desde su origen a su destino como la aglomeración de personas en zonas comerciales por lo que es importante considerarlo dentro de la delimitación de las zonas de tránsito en el área de estudio.

Como se puede apreciar en la Figura N° 10 de la presente tesis, el área de estudio, la cual es uno de los centros de negocio principal de la ciudad, está principalmente compuesto por zonas comerciales y centros laborales que a ciertas horas aglomeran a gran cantidad de personas en sus vías principales.

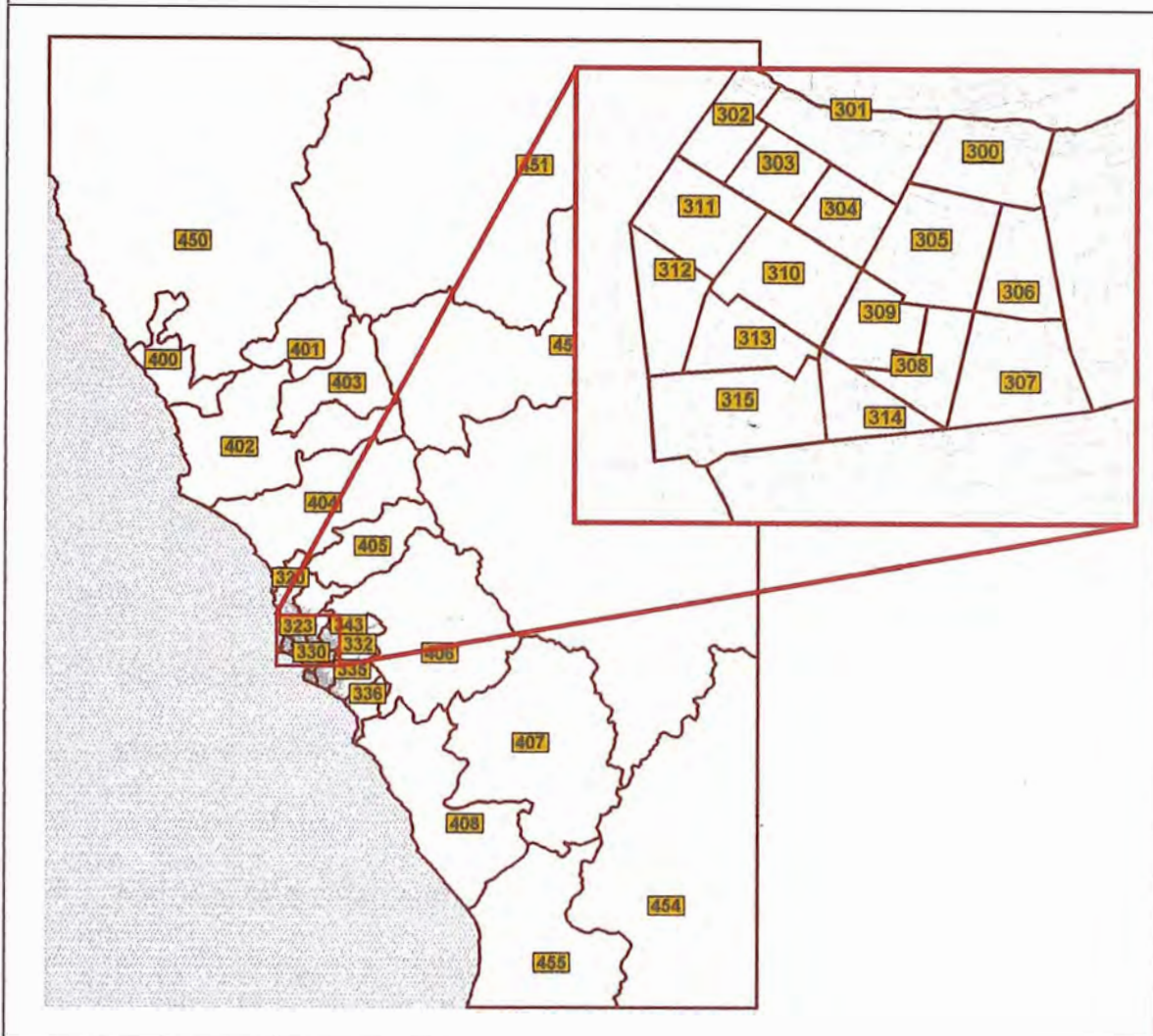
Figura N° 10.- Usos de Suelo



FUENTE: Elaboración propia

En la Figura N° 11, se presentan las zonas de tránsito consideradas para el modelo. En estas zonas se originan y terminan los viajes. Las zonas de tránsito comprenden 31 zonas externas y 16 zonas internas en toda el área de estudio.

Figura N° 11.- Zonificación del Área de Estudio



FUENTE: Elaboración propia

IV.4. Ingreso de Datos al Modelo

Una vez definido el tipo de toma de decisiones y la segmentación del área de estudio, se debe determinar la información a recolectar de tal forma de introducir al modelo los datos necesarios que crearán el modelo de tránsito peatonal. Es necesario recalcar que para la construcción de un buen modelo de tránsito peatonal, los datos son

esencialmente importantes para el planificador ya que un error en esta actividad incrementará el error en los resultados.

Para elaborar el modelo de tránsito peatonal a nivel de una macrosimulación, se requiere recopilar la siguiente información:

- Datos Históricos
- Datos de Campo en Año Base
- Datos para Pronóstico

IV.4.1. Datos Históricos

Se deben tener datos históricos con respecto al tiempo y los flujos peatonales, así como también, datos con respecto a la información socioeconómica (población, empleo, recreación, etc.). Los datos históricos son necesarios para analizar el comportamiento que podría tener la demanda antes, durante y después del año base. Es decir, estos datos ayudan, entre otras cosas, a poder realizar pronósticos.

IV.4.1.1. Flujos Peatonales y Tiempos de Recorrido

Se refieren al movimiento de personas sobre las vías destinadas para su circulación (veredas). Estos flujos deben ser tomados en puntos estratégicos del área de influencia. Los **tiempos de recorrido** son los tiempos que el peatón toma para trasladarse desde un punto a otro.

Debido a que no existen muchos estudios que hayan considerado a los peatones como principal medio de movilidad, el conseguir datos históricos resultó ciertamente complicado. Sin embargo, la Institución PROTRANSPORTE de Lima ha levantado información que se orienta de cierta forma a los peatones por lo que se utilizó como datos históricos de esta investigación.



FUENTE: Protransporte de Lima

IV.4.1.2. Información Socioeconómica

La información socioeconómica del área de estudio es útil en el desarrollo de los modelos de demanda y en la generación del

pronóstico de la misma para los diferentes años horizonte contemplados en cada proyecto. La Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico cuenta con información de este tipo por cada zona de tránsito establecida para sus diferentes estudios de demanda. Además, el Plan Maestro de Transporte Urbano también desarrolló una evaluación de las variables socioeconómicas por zonas. Esta información será de utilidad para elaborar el modelo de asignación de tránsito peatonal.

Otras fuentes de información para las variables socioeconómicas son los Municipios y el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Toda la información es recabada mediante los censos de población y económicos, así como los conteos poblacionales que se realizan entre censos.

Los datos relevantes que se deben contemplar son: población, lugares de compra, empleo y otros datos disponibles en INEI de la zona en estudio.

IV.4.2. Datos de Campo en Año Base

– IV.4.2.1. Red Vial Peatonal

Con respecto a la red vial peatonal, así como en el Sistema de Transporte en general, se conceptualiza a la red vial como el

conjunto de relaciones entre nodos, redes y la demanda. La **demanda** es el movimiento de las personas, la cual es una función derivada de la variedad de actividades socioeconómicas que se desarrollan en el espacio. Esta demanda se moviliza a través de las redes establecidas para su propósito.

Los **nodos** representan los puntos en donde las personas originan, concluyen o transfieren sus viajes. Estos nodos sirven como puntos de acceso al sistema de distribución o como intermediarios en una red de transporte.

Las **redes** están compuestas por un conjunto de enlaces y nodos que representan la infraestructura del transporte. En este caso, los enlaces y nodos representan las veredas por donde circulan los peatones.

Para elaborar el modelo de oferta de la situación actual, es necesario realizar un inventario de las características físicas y operativas de la red vial peatonal. El inventario puede ser realizado visualmente en el sitio y/o con ayuda de diversos materiales y equipos de medición.

IV.4.2.2.1. Inventario de Características Físicas

- Se puede realizar sobre un vehículo o a pie dependiendo del tipo de medición que se desea realizar.
- Se deben realizar necesariamente en las vías principales y en lugares relevantes o en donde las características físicas de la vía varíen

IV.4.2.2.2. Datos de Campo a Recopilar

Con respecto a los datos de campo, para poder modelar la situación actual se debe recopilar la siguiente información:

- Longitud de tramo
- Estado de la vía
- Ancho de la vía
- Capacidad de la vía
- Reductores de Velocidad
- Ciclos Semafóricos

A diferencia de la modelación del sistema de transporte automotor, para la modelación de sistema de tránsito peatonal no se considera el **tipo de vía** ya que las condiciones de las veredas son prácticamente las mismas; aunque podría hacerse una clasificación en cuanto a su estado o comodidad para el peatón.

La **longitud** y el **ancho de vía** se recogen con cinta métrica o con algún otro instrumento de medición de longitudes. Además, se pueden utilizar otros tipos de instrumentos como bases de datos en sistemas de información geográfica.

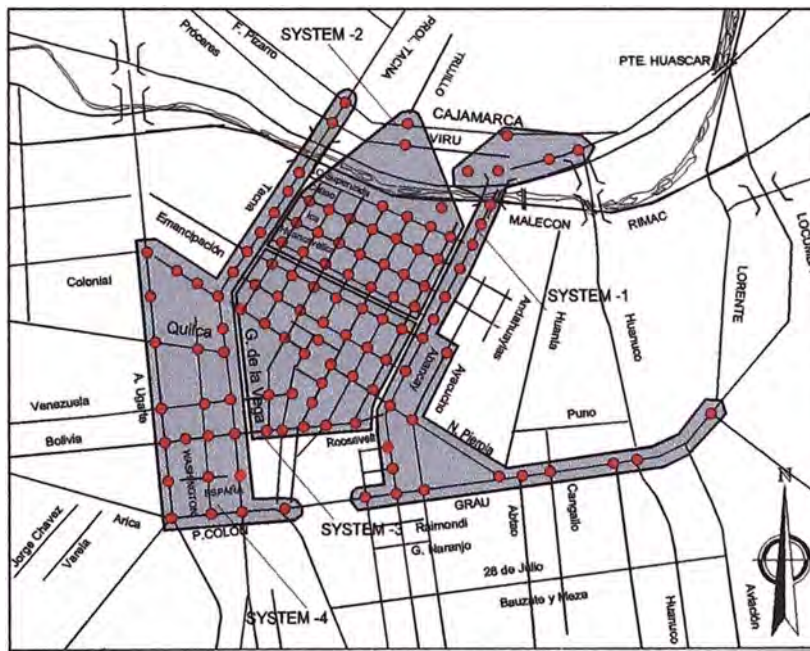
La **capacidad de la vía** tiene principal importancia en la modelación de horas punta y es un punto importante a detallar en esta investigación ya que es una variable relevante para las estimaciones de demanda y para conocer el nivel de servicio de la vía. Es decir, si una vía se encuentra saturada o no. Esta variable la describiremos con mayor amplitud más adelante.

La **semaforización** en intersecciones se toma para determinar la demora que podría existir cuando un peatón intenta cruzar una determinada vía vehicular

tratando de representar el tiempo que toma el peatón para cruzar la intersección por la generación de colas.

En la ciudad de Lima, el control del tránsito centralizado por el sistema sincronizado abarca 107 intersecciones semaforizadas en el centro de Lima tal como se muestra en la Figura N° 14.

Figura N° 14.- Ubicación de Semáforos en el Centro de Lima



FUENTE: Dirección Municipal de Transporte Urbano (DMTU)

En el área central, la duración del tiempo del ciclo para las intersecciones sincronizadas se establece en 100 segundos y 110 segundos durante los períodos pico, y en 90 segundos para los períodos no pico.

IV.4.2.3. Características Operativas de la Red Vial Peatonal

IV.4.2.3.1. Tiempos y Velocidades de Recorrido

Se trata de medir los tiempos y velocidades entre puntos distantes de la vía, para determinar la rapidez con que circulan los peatones.

El conocimiento de la velocidad y el tiempo de recorrido juegan un papel destacado en la determinación de los elementos de diseño vial y en la regulación del tránsito. En el caso particular del peatón, la velocidad y el tiempo pueden servir para evaluar la calidad del servicio que presta una vía a sus usuarios. Esta afirmación depende mucho del motivo de viaje del peatón ya que el tiempo del peatón que va a trabajar tiene más importancia que el tiempo de viaje del peatón que va de compras. Por lo tanto, utilizan diversas velocidades de caminata. Estas variables se tomaron en cuenta para la realización del modelo.

Adicionalmente, el tiempo y la velocidad sirven como base para la calibración de las funciones volumen – demora. Estos datos son también utilizados en la calibración del modelo de asignación y en el modelo de

captación, por lo que es de suma importancia que su recolección sea adecuada.

Las características operativas de la red de estudio se determinan, mediante el levantamiento de datos de Velocidades y Tiempos de recorrido.

IV.4.2.3.2. Análisis de los Tiempos y Velocidades de Recorrido para el Modelo

En los modelos de transporte motorizado, se considera que las personas tienen una velocidad constante de 4km/hr aproximadamente y no se consideran variables como sexo, motivo de viaje o ancho de la vía. Sin embargo, las personas no siempre caminan a una velocidad constante sino que muchas veces depende de las características de las personas, de su viaje, del estado de la vía o de la cantidad de personas en un mismo lugar y en un mismo momento.

IV.4.2.4. Aforos Peatonales

Los aforos de tránsito o conteos son realizados con el objetivo de poder analizar el comportamiento actual del tránsito sobre un periodo de tiempo (semana, día, hora, 15 minutos, etc.), siempre deben ser considerados como dinámicos, por lo que

solamente son precisos para el periodo de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características, para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar⁴.

Los aforos para la presente investigación se realizaron en diversos puntos del área de influencia. Los puntos de conteo se pueden apreciar en la Figura N° 15. La cantidad de los puntos de conteo depende del detalle y precisión que se quiere del estudio. Por lo tanto se puede decir que cuanto más detalle se quiere del estudio, los costos se incrementan.

Para esta investigación se consideraron 27 puntos de conteo en el Centro Histórico de Lima, de los cuales se usaron 8 en el caso de estudio.

⁴ Ingeniería de Tránsito, fundamentos y aplicaciones. Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola., James Cárdenas Grisales, editorial Alfaomega. México. 1995.

Figura N° 15.- Puntos de Aforo en el Área de Influencia



FUENTE: Estudio de Tránsito Peatonal en Tramos del Centro Histórico de Lima

Tabla N° 4.- Relación de Puntos de Control

Puntos	Descripción
1	Jr. Callao entre Av. Tacna – Rufino Torrico
2	Jr. Callao entre Rufino Torrico – Jr. Caylloma
3	Jr. Callao entre Jr. Caylloma – Jr. Camaná
4	Jr. Camaná entre Jr. Callao – Jr. Conde de Superunda
5	Jr. Camaná entre Jr. Ica – Jr. Callao
6	Jr. Callao entre Jr. Camaná – Jr. De la Unión
7	Jr. Carabaya entre Jr. Junín – Jr. Ancash
8	Jr. Lampa entre Jr. Junín – Jr. Ancash
9	Jr. Callao entre Jr. Carabaya – Jr. Lampa
10	Jr. Callao entre Jr. Lampa – Jr. Azángaro
11	Jr. Lampa entre Jr. Ucayali – Jr. Huallaga
12	Jr. Callao entre Jr. Azángaro – Av. Abancay
13	Jr. Carabaya entre Jr. Ucayali – Jr. Huallaga
14	Jr. Ucayali entre Jr. De la Unión – Jr. Carabaya
15	Jr. Carabaya entre Jr. Miroquesada – Jr. Ucayali
16	Jr. Camaná entre Jr. Huancavelica – Jr. Ica
17	Jr. Camaná entre Jr. Cusco – Jr. Huancavelica
18	Jr. Huancavelica entre Jr. Camaná – Jr. De la Unión
19	Jr. Huancavelica entre Jr. De la Unión – Jr. Carabaya
20	Jr. Carabaya entre Jr. Cusco – Jr. Miroquesada
21	Jr. Huancavelica entre Jr. Lampa – Jr. Azángaro
22	Jr. Huancavelica entre Jr. Carabaya – Jr. Lampa
23	Jr. Lampa entre Jr. Miroquesada – Jr. Ucayali
24	Jr. Lampa entre Jr. Cusco – Jr. Miroquesada
25	Jr. Carabaya entre Jr. Puno – Jr. Cusco
26	Jr. Carabaya entre Jr. Ocoña – Jr. Puno
27	Jr. Miroquesada entre Jr. Azángaro – Av. Abancay

IV.4.2.4.1. Análisis del Flujo Peatonal en el Área de Influencia

En cuanto a los Flujos peatonales el mayor tránsito peatonal se encuentra entre el Jr. Callao – Jr. Huallaga aproximándose a los 3,000 peatones/hora; sobre una cuadra del Jirón mencionado. Estos viajes mayormente se dirigen a la Plaza Mayor de Lima y otros a la Av. Abancay con dirección al Mercado.

Las demás calles presentan valores menores o iguales a 1,500 peatones/hora; puesto que muchas vías cumplen una función de soporte y acceso al Jirón de la Unión que soporta el mayor tránsito peatonal.

Por otro lado, la variación del flujo peatonal va incrementándose lo cual es entendible ya que los centros comerciales atienden desde las 9:00 a.m. Identificando la hora punta de 9:00 a.m. a 10:00 a.m. del primer turno aforado.

Durante las horas aforadas en el día, el flujo peatonal presenta incrementos desde las 12:00 p.m. hasta las 3:00 p.m. oscilando en algunos casos como en el Jirón Huallaga por las características de esta vía que alimenta

a la Avenida Abancay la cual es una importante vía de transporte público. Además, en esta avenida, así como también en la Avenida Tacna, existen importantes centros comerciales en toda su extensión.

IV.4.2.5. Encuestas Origen - Destino

Las encuestas origen – destino son una fuente de información muy importante para definir y caracterizar la demanda. En el caso de los viajes en transporte motorizado una variable importante a considerar es el modo en el cual la persona viaja. Para el caso de esta investigación, no es necesario tomar esta variable ya que el único modo en cuestión es el de caminata, mientras que los otros modos sirven para hacer conexión. Además, los modos diferentes a la caminata no son asunto de análisis de esta investigación.

Se consideran como objetivos de la encuesta origen – destino para la presente investigación, los siguientes:

- Identificar el origen y destino de los viajes de impacto en el proyecto.
- Identificar los atributos que permitan definir estratos en la demanda.

Entonces, los datos a recopilar deben ser:

- Origen del Viaje (Área, Zona, Distrito)
- Destino del Viaje (Área, Zona, Distrito)
- Frecuencia de Viaje (Diaria, Semanal, Mensual)
- Tiempo de Viaje
- Motivo de Viaje
- Ingreso de la Persona

La captación de estos datos se realiza mediante una entrevista cara a cara con las personas y pueden realizarse sobre las vías o en los hogares. Las entrevistas en los hogares por lo general son realizadas considerando un tiempo amplio por lo que se aprovecha el incluir algunas preguntas adicionales referentes a las variables socioeconómicas y preferencias en los formatos que son importantes para el proceso de modelación. Por otro lado, las entrevistas de interceptación se realizan usualmente en las vías considerando una corta duración y debe permitir captar la mayor cantidad de datos relevantes del viaje del encuestado de tal forma que se pueda estratificar adecuadamente la información.

IV.4.2.5.1. Análisis de la Encuesta O-D en el Área de Influencia

Para elaborar la matriz de viajes para el modelo de tránsito peatonal se consideraron las encuestas origen

destino en hogares realizadas por el “Plan Maestro de Transporte Urbano” descrito en el Capítulo III y las encuestas origen destino de interceptación realizados por el “Estudio de Tránsito Peatonal en Tramos del Centro Histórico de Lima”.

La encuesta origen destino desarrollada en el Plan Maestro fue realizada en 427 zonas de tránsito en toda la ciudad de Lima Metropolitana pero se consideraron aquellas que tienen relación directa con el área de influencia de esta investigación. Las encuestas de interceptación sirven para ajustar la matriz de viajes obtenida de la encuesta principal del Plan Maestro y para calibrar la red peatonal.

IV.4.2.6. Encuestas de Preferencia Declarada

El término “Preferencia Declarada” se refiere a un amplio vector de posibles formas de preguntar al consumidor acerca de preferencias, elección, formas de utilizar, frecuencia de usos, entre otras situaciones hipotéticas de entre varios bienes o servicios.

Lo más importante de una encuesta de preferencias declaradas es la obtención del **valor subjetivo del tiempo** el cual nos

indica cuanto vale el tiempo del viajero o cuanto estaría dispuesto a pagar el viajero por ahorrarse un determinado tiempo en su viaje en forma subjetiva dependiendo de sus propósitos de viaje y su estrato socioeconómico.

IV.4.2.6.1. Valor Subjetivo del Tiempo de Viaje

Comprender la demanda de viajes es casi como comprender la vida misma. El día tiene 24 horas y el tiempo de viaje usualmente consume una substancial proporción del verdadero tiempo no comprometido. En general, los individuos quisieran estar haciendo más cosas, en el hogar, en el trabajo o en cualquier parte, que viajando en un autobús o conduciendo un automóvil. Consecuentemente, los viajeros quisieran disminuir el número de viajes con viajes más cerca al destino y reducir el tiempo de viaje para un viaje dado. Por lo tanto los individuos están dispuestos a pagar alguna cantidad para reducir el tiempo de viaje, el cual tiene una dimensión de comportamiento que es una consecuencia de un problema general de reasignación de tiempos que una decisión aislada.

Por otro lado, los individuos reasignan el tiempo de viaje a otra actividad que tiene un valor “social” porque el

individuo incrementa su producción o simplemente el individuo está en mejor situación y tiene importancia socialmente. Esto implica que cambios en el sistema de transporte que está dirigido a la reducción de tiempos de viaje generan reacciones que son importantes para comprender desde un punto de vista del comportamiento e incrementar el bienestar, el cual tiene que ser cuantificado para evaluación social de proyectos.

En general, la reasignación del tiempo desde una actividad a otra que es más placentero tiene un valor para el individuo.

El valor subjetivo del tiempo (VST) es la cantidad que el individuo está dispuesto a pagar por reducir una unidad de su tiempo de viaje. La más sencilla manifestación de esto es la elección entre modos más rápidos y caros en comparación a los más lentos y baratos. Sin embargo, para el caso de esta investigación el único modo de transporte es la caminata por lo que la elección se considera usando el camino más corto y cómodo tratando de ahorrar su tiempo dependiendo, además, de su propósito de viaje y su estrato socioeconómico.

IV.4.3. Datos para Pronóstico

En general, los datos para pronósticos son datos que se estima se realicen en el futuro como la mejora o la implementación de vías, peatonalización de vías, entre otras cosas. Estos datos ingresan al modelo en los escenarios futuros posibles de cambio para ser simulados por el modelo de tránsito peatonal y pueden ser llamados Escenarios con Proyecto.

Los datos para los escenarios futuros pueden darse en:

- **La Red Vial;** como por ejemplo la implementación de nuevas vialidades, mejoramiento, rehabilitación o ampliación a vías existentes, peatonalización, entre otros.
- **Las Características Operativas de las Vías;** estas características pueden incluir el diseño geométrico, el ancho de la vía, entre otros.
- **Las Características Socioeconómicas Futuras y Usos de Suelo;** en este punto se debe considerar los proyectos futuros respecto a las características socioeconómicas de la zona y sus perspectivas de crecimiento en los Proyectos de Desarrollo Urbano, además, se debe considerar el uso de suelo propuesto para el área de influencia (Industriales, Turísticos, etc.). Esto es llamado Escenario de Demanda y nos permite inferir la Generación de Viajes Futuros así como llenar las celdas de las matrices de viajes en la Distribución de los Viajes.

IV.4.4. Modelo de Tránsito Peatonal

La modelación es una parte importante en el proceso de toma de decisiones. Intuitivamente, todos tenemos un modelo mental sobre como funciona el mundo real cuando tomamos decisiones. Esto significa que simplificamos y abstraemos el sistema real para hacer el proceso de toma de decisiones más manejable dado el limitado poder de cálculo de la mente humana.

La modelación del transporte en general así como la modelación del sistema peatonal focaliza la manera en la cual se simplifican y abstraen relaciones importantes entre la demanda y oferta del sistema. Por lo tanto, utilizando los resultados cualitativos y cuantitativos permite estudiar las relaciones que interesan a los tomadores de decisiones en el campo del transporte no motorizado, para este caso el de los peatones.

Una vez obtenida, procesada y validada debidamente toda la información de campo y documental, y habiendo realizado el análisis de la misma, se inicia el desarrollo del modelo de planeación de transporte secuencial de 4 etapas que para efectos de la presente investigación se usaron tres sub-modelos debido a que en la fase de Partición Modal no se reparte la demanda en diferentes modos. La fase de Partición Modal seria relevante de haberse usado a la bicicleta como medio alternativo para el viaje.

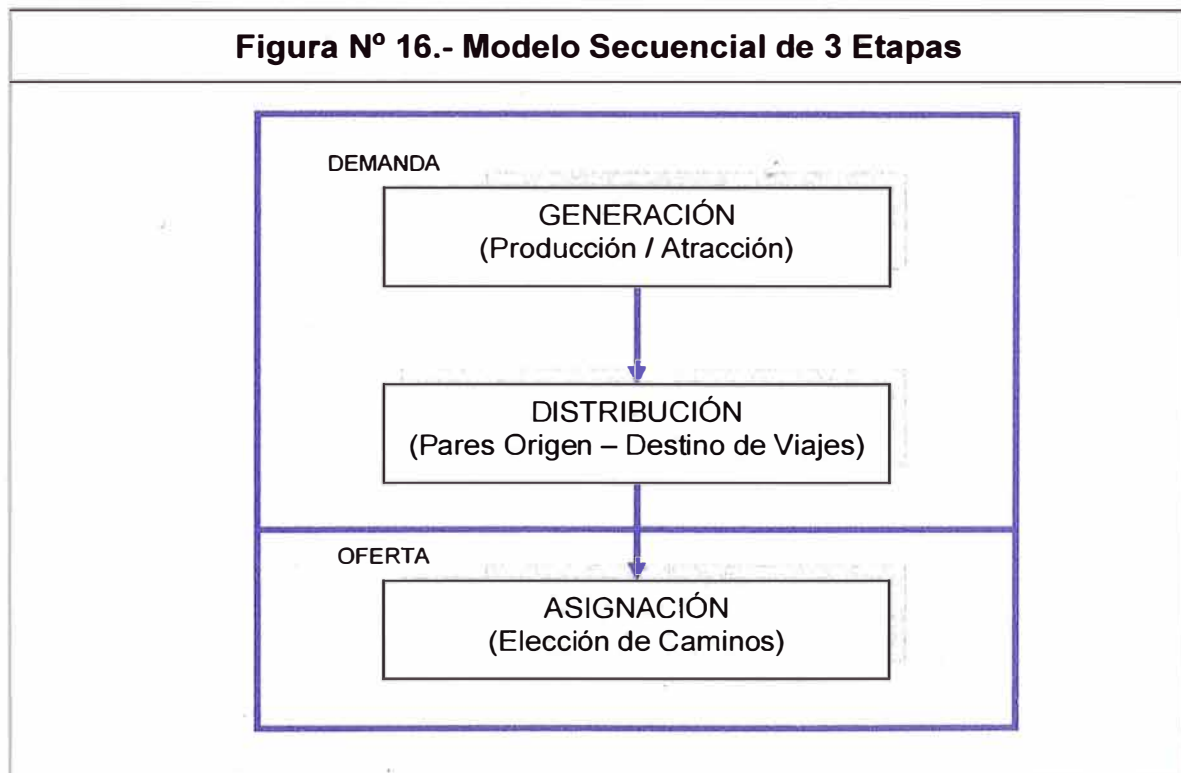
Por este motivo, lo llamaremos Modelo de 3 Etapas (ver Figura N° 16 más adelante).

Los dos principales componentes del modelo son la demanda (representada por la necesidad de la persona en transportarse de un lugar a otro) y la oferta (representada por la infraestructura disponible a lo largo de la cual transita la persona desde su origen a su destino). Por lo tanto, el modelo de planeación se divide en modelos de oferta y demanda.

El modelo de oferta está representado por la infraestructura, sus atributos y sistemas de control, por medio del cual el usuario del sistema de transporte viaja desde un origen a un destino. Esta infraestructura está representada por la red en análisis, ya sea terrestre, aérea, marítima, lacustre, entre otros. Para el caso específico de esta investigación el modelo de oferta está conformado por las vías destinadas para el tránsito peatonal como son las veredas o aceras y sus sistemas de control.

El modelo de demanda tiene por objetivo representar el comportamiento de los usuarios o los viajes que se realizan en el sistema entre diferentes pares origen destino. Dentro de este modelo, se encuentran las dos primeras etapas del modelo secuencial de 3 etapas (ver Figura N° 16).

El modelo de planeación de transporte peatonal secuencial de 3 etapas es el modelo a utilizar en la presente investigación. Este modelo plantea la estructura de la Figura N° 16 y es una derivación del modelo secuencial de 4 etapas que es ampliamente usado en la planificación de los sistemas de transporte. Para el caso de la presente tesis, se plantea el uso de este modelo orientado a la caminata de las personas por lo que se realizan ligeras modificaciones que se detallan durante el desarrollo de esta investigación.



FUENTE: Elaboración Propia

IV.4.4.1. Modelo de Tres Etapas

IV.4.4.1.1. Generación de Viajes

El modelo de generación de viajes tiene por objetivo estimar el número de viajes Producidos y Atraídos desde y hacia una zona de tránsito. Los viajes Producidos se inician desde un origen conocido dentro de un periodo de tiempo determinado (horas punta y/o fuera de punta, día). Los viajes Atraídos son los viajes que terminan en un determinado destino en el mismo periodo de tiempo. Alternativamente, también se estima con que frecuencia se viaja.

En relación con la producción y atracción de viajes, en la planificación y modelación, debe tomarse en cuenta lo siguiente:

- Viajes Basados en el Hogar: Aquellos que tienen en uno de los extremos, bien el origen o bien el destino, el domicilio de quien viaja.
- Viajes No Basados en el Hogar: Ni el origen ni el destino del viaje coinciden con el domicilio.

En los viajes basados en el domicilio se considera que la zona de producción de viajes es la zona donde se localiza el domicilio y la zona de atracción la contraria.

En los viajes no basados en el domicilio se considera el viaje producido por la zona origen y atraído por la zona de destino que no tenga que ver con el domicilio.

A partir de la encuesta de movilidad del PMTU y los datos socioeconómicos, se obtienen los vectores de viaje producidos y atraídos por zonas de tránsito.

Para obtener mejores modelos de generación de viajes, se clasificaron y separaron los viajes por su propósito de viaje. Los propósitos de viajes considerados son los siguientes:

- Viajes Basados en el Hogar
 - Trabajo
 - Estudio
 - Compras
 - Recreación
 - Otros Propósitos
- Viajes No Basados en el Hogar, que usualmente no se separan por que el porcentaje a menudo es bajo.

Considerar la inclusión de la periodización y el propósito de viaje al inicio de la creación del modelo

Existen varios modelos de producción y atracción de viajes. Sin embargo, para la presente investigación se ha considerado el uso del “Modelo de Regresión Lineal Múltiple” para elaborar ambos modelos. Este modelo utiliza datos desagregados en el hogar a nivel individual, considerando al número de viajes hechos por un hogar o individuo como la variable dependiente y características personales como variable explicativa.

Los métodos de regresión pueden ser utilizados para establecer una relación estadística entre el número de viajes producidos y las características de los individuos, la zona y la red vial.

IV.4.4.1.1.1. Método para Estimar el Modelo

Formulación general.

$$G_i^n / A_i^n = k + \sum a_i V_i^n$$

$$G_i^n / A_i^n = k \prod (V_i^n)^{d_i}$$

G_i^n / A_i^n : Viajes generados/atraídos por la zona i, para el motivo n.

V_i^n : Variables explicativas a introducir según motivos n.

α, β, k : Parámetros a ajustar.

Se ajustan por regresión lineal múltiple. Además, se deben considerar las variables explicativas, las cuales explican el comportamiento de viaje de las personas para la generación de los modelos

Tabla N° 5.- Propósitos de Viaje y Variables Explicativas

Propósito	Generación	Atracción
Trabajo	Población Población activa Población de una cierta edad	Empleo Empleo por sectores
Estudios	Población de un cierto estrato de edad	Puestos escolares Puestos universitarios
Compras	Población Nivel de renta	Empleos en comercios Dotaciones comerciales
Otros	Población Nivel de renta	Camas hospitalarias Dotaciones no comerciales Empleo

Para conservar los viajes (producción = atracción), el método de balanceo es utilizado tal que el

número de atracciones sea igual al número de producciones.

IV.4.4.1.2. Distribución de Viajes

El siguiente paso, es la estimación de viajes que se intercambian entre cada zona. El objetivo es “distribuir” los viajes generados en la zona_i entre cada zona_j. La suma de todos los viajes en cada zona_i deberán ser el total generado en esa zona_i; así mismo, la suma de todos los viajes que llegan a la zona_j deberán ser el total de los viajes atraídos, estimados en el paso anterior.

El modelo de generación de viajes produce las sumas totales de filas y columnas O_i y D_j de una matriz de viajes. Se cumple entonces que:

$$\sum V_{ij} = O_i$$

$$\sum V_{ij} = D_j$$

Así, el modelo de distribución de viajes busca encontrar como se distribuyen los O_i y D_j en V_{ij} , es decir, las celdas de la matriz anterior. Las matrices se han desagregado de la siguiente forma.

- Por tipo de persona (edad, genero)
- Propósito del viaje
- Hora del día

La distribución de los viajes se realizó con el modelo gravitacional, obteniéndose de esta forma las matrices de origen/destino para cada segmentación peatonal y por motivo de viaje.

IV.4.4.1.2.1. Método para Estimar el Modelo

Formulación general.

La ecuación del modelo gravitacional es del tipo:

$$V_{ij} = \kappa \frac{P_i^\alpha A_j^\beta}{f(c_{ij})}$$

Donde:

V_{ij} : Número de viajes entre las zonas
i,j

α, β, k : Factores de calibración.

P_i Propiedades que caracterizan la zona productora i como población, empleo, parque vehicular, etc.

A_j Propiedades que caracterizan la zona atractora j como población, empleo, parque vehicular, etc.

Función de impedancia (costo) entre las zonas i, j .

Los factores (k_{ij}) empleados por el modelo gravitacional, reflejan el efecto sobre los patrones de viajes, de características sociales y económicas particulares de algunas zonas. Este factor de ajuste fue considerado igual a 1 para todos los pares origen - destino.

La impedancia de viaje $f(c_{ij})$ fue calculada como función del tiempo de viaje entre las zonas de tránsito. Las funciones de impedancia utilizadas para la calibración son las siguientes:

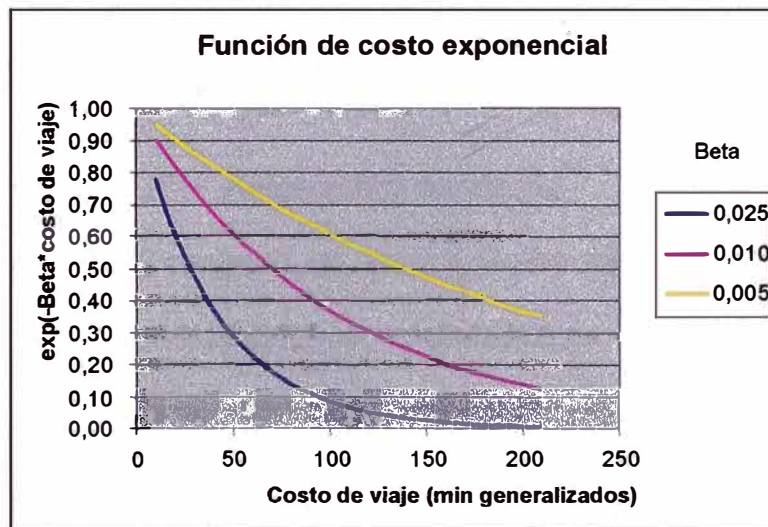
Exponencial $f(c_{ij}) = \exp(-\lambda \times C_{ij})$

Potencial $f(c_{ij}) = C_{ij}^{-B}$

Combinada $f(c_{ij}) = C_{ij}^{-\beta} \times \exp(-\lambda \times C_{ij})$

Por lo tanto, como la información socioeconómica de cada zona, la función de impedancia y los viajes (obtenidos en campo) son conocidos, se pueden obtener las constantes de calibración. Esto requiere de una regresión no lineal con métodos econométricos que son relativamente fáciles de obtener con un software estadístico.

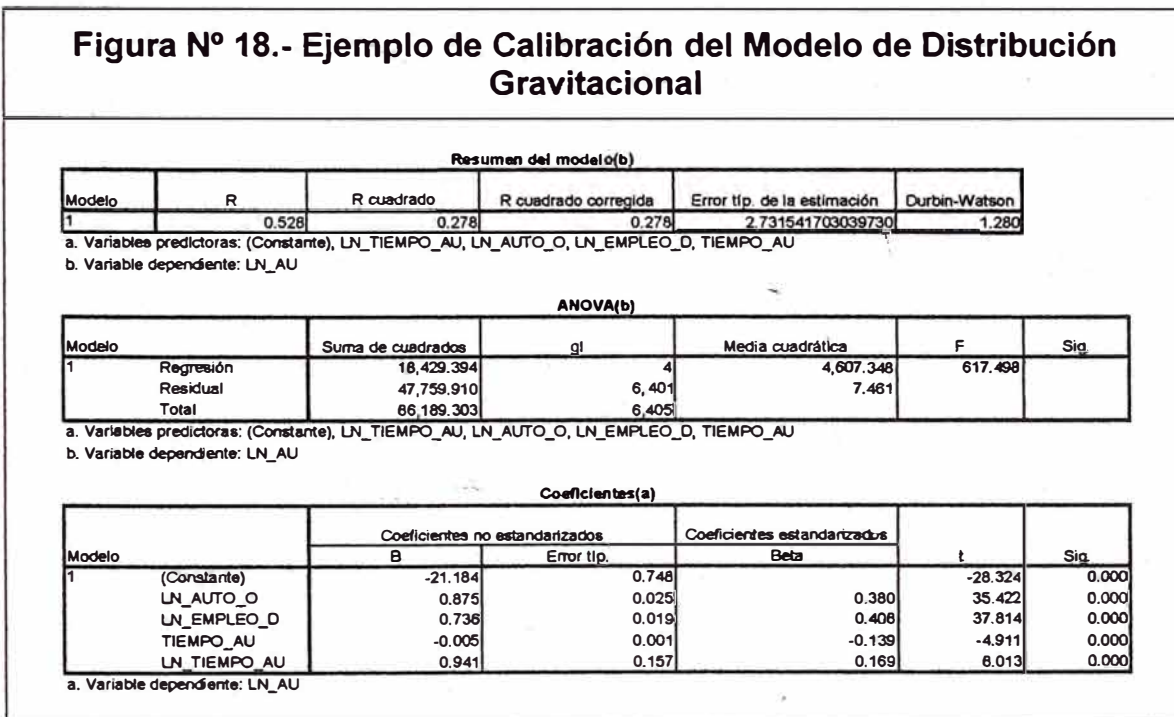
Figura N° 17.- Ejemplo de Función de Impedancia



FUENTE: Metodología para Modelos Regionales, Cal y Mayor y Asociados

En la Figura N° 18, se muestra un modelo de distribución calibrado para los viajes peatonales en cierto segmento de demanda. De manera similar,

se pueden obtener modelos para otros tipos de segmentación.



FUENTE: Metodología para Modelos Regionales, Cal y Mayor y Asociados

IV.4.4.1.3. Asignación de Viajes

El contexto de la asignación se da en función de las consideraciones anteriormente planteadas. Por esta razón, la fase de asignación fue eminentemente multiclase, lo cual quiere decir que se asignaron simultáneamente diversas matrices de demanda que contienen la demanda para uno o varios sistemas de tránsito peatonal, es decir, se asigna las matriz de demanda por trabajo y la matriz de demanda por estudios simultáneamente. Las clases se definen como

los diferentes usuarios de una misma red que perciben el mismo tiempo, pero tienen diferentes percepciones del costo o tarifa en su viaje.

La asignación de viajes, se refiere a la selección que realizan los viajeros de un camino particular que los conecte entre su origen y su destino. El resultado de la asignación es el número de peatones que transitan por la red peatonal multiclase. Este es el paso en el que interactúan el modelo de oferta y el de demanda, cuyo objetivo es hallar un equilibrio que represente las condiciones de tránsito observadas en campo.

Los métodos de asignación de redes que se pueden utilizar en el presente proyecto son:

IV.4.4.1.3.1. Método de asignación todo o nada.

En la asignación todo o nada, el flujo total de tránsito entre par O-D es asignado al camino más corto. Este modelo es irrealista, ya que un solo camino es usado entre el par O-D, aún si hay otro camino con el mismo o cercanamente el mismo tiempo o costo de viaje. Además, el tráfico en los enlaces está asignado sin considerar la capacidad o congestión. El tiempo de viaje está fijado como

dato de entrada y no varía ni depende de la congestión en el enlace.

IV.4.4.1.3.2. Método de asignación estocástica.

La asignación estocástica (Dial 1971), distribuye los viajes entre cada par O-D utilizando múltiples alternativas. La proporción de viajes que es asignada a un camino en particular es igual a la probabilidad de elegir ese camino y es calculada por medio del modelo Logit de elección de ruta. Generalmente, el más pequeño de los tiempos de viaje del camino, comparado con los tiempos de viaje de los otros caminos, podrá ser el de mayor probabilidad de elección. La asignación estocástica, sin embargo, no asigna los viajes a todas las alternativas de caminos, únicamente a los caminos con enlaces considerados “razonables”. Los tiempos de viaje en asignación estocástica es un dato fijo de entrada y no depende del volumen del enlace, consecuentemente el método no es de equilibrio.

IV.4.4.1.3.3. Restricción de capacidad.

La restricción de capacidad intenta aproximarse a una solución de equilibrio realizando múltiples

iteraciones mediante la asignación todo o nada y el tráfico cargado. Este proceso recalcula los tiempos de viaje en los enlaces basados en una función de congestión que refleja la capacidad del enlace. Desafortunadamente, este método no converge y puede cambiar (flip-flop), regresar y avanzar en la asignación de algunos tramos. El método de restricción de capacidad en algunos softwares intenta reducir este problema atenuando el tiempo de viaje y promediando los flujos a través del conjunto de las últimas iteraciones.

Se recomienda utilizar este método si se tiene una red de congestión severa respecto al proyecto, y se debe utilizar por período de tiempo de 1 o 2 horas (usualmente horas punta o valle).

IV.4.4.1.3.4. Equilibrio de usuario estocástico (SUE).

El equilibrio de usuario estocástico es una generalización del equilibrio de usuario que asume que los viajeros no tienen perfecta información concerniente a los atributos de la red y/o ellos perciben los costos de viaje de diferente manera.

El SUE realiza asignaciones más realistas que el

modelo de equilibrio de usuario determinístico, porque permite el uso de todas las rutas. Rutas menos atractivas serán menos utilizadas, pero no tendrán flujo cero. Para converger y calcular el equilibrio se utiliza el método de promedios sucesivos y necesita muchas iteraciones.

IV.4.4.1.3.5. Algoritmo de Asignación de Equilibrio de Usuario

Para ejemplificar la aplicación del equilibrio del usuario en una red se presenta a continuación el método de las combinaciones convexas⁵, por el cual se obtiene una solución exacta que cumple el criterio de equilibrio del usuario.

Considere la red mostrada en la Figura N° 19 con las siguientes características:

$$t_1 = 10 [1 + 0.15 (X_1/2)^4] \quad \text{unidad de tiempo}$$

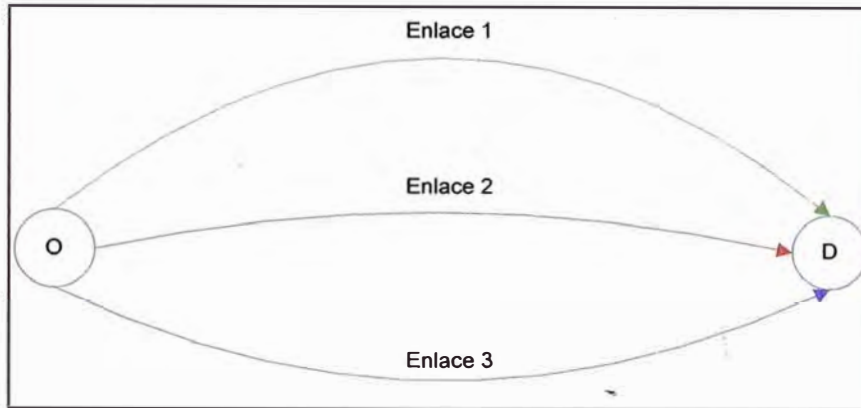
$$t_2 = 20 [1 + 0.15 (X_2/4)^4] \quad \text{unidad de tiempo}$$

$$t_3 = 25 [1 + 0.15 (X_3/3)^4] \quad \text{unidad de tiempo}$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 10 \text{ viajes}$$

⁵ Urban Transport Networks. Sheffi, Yosef. Prentice-Hall 1985.

Figura N° 19.- Ejemplo de Una Red con 3 Enlaces y un Par O-D



FUENTE: Urban Transportation Networks. Sheffi, Yosef. Prentice-Hall 1985.

Algoritmo

Paso 0: *Inicio*, Realizar método Todo o Nada "TN", basado en $t_a = t_a(0) \quad \forall a$.

Paso 1: *Actualización* $t_a^n = t_a(X_a^n) \quad \forall a$.

Paso 2: *Definición de la dirección en que más rápidamente se minimiza la función objetivo f.o.*
Realizar asignación TN basado en $\{t_a^n\}$, obtener un conjunto de flujos auxiliares $\{y_a^n\}$

Paso 3: *Determinación de la magnitud del paso.*
Encontrar α_n tal que

$$\min_{0 \leq \alpha \leq 1} \sum_a^{X_a^n + \alpha(Y_a^n - X_a^n)} \int_0^{X_a^n + \alpha(Y_a^n - X_a^n)} t_a(\omega) d\omega$$

Paso 4: *Movimiento.* Fijar $X_a^{n+1} = X_a^n + \alpha_n(Y_a^n - X_a^n)$

Paso 5: Criterio de convergencia. Si un criterio de convergencia se cumple para los parámetros de convergencia como número de iteraciones o brecha de proporción relativa. Sino, hacer $n=n+1$ e ir al paso 1.

$$\frac{\sqrt{\sum_a (X_a^{n+1} - X_a^n)^2}}{\sum_a X_a^n} \leq k$$

k = valor arbitrario de tolerancia, entre más pequeño se tiene, más precisión.

Las interacciones de este algoritmo en la red de la figura anterior son mostradas en Figura N° 20, ahí se aprecia que después de 5 interacciones el flujo se acerca al equilibrio, los tiempos de viajes sobre las tres rutas son muy similares.

Figura N° 20.- Ejemplo de Algoritmo de Combinaciones Convexas

Número de iteración	Paso del algoritmo	Enlaces			Función objetivo	Magnitud del paso
		1	2	3		
0	inicialización	$t_1^0 = 10.0$ $x_1^1 = 10.0$	$t_2^0 = 20.0$ $x_2^1 = 10.0$	$t_3^0 = 25.0$ $x_3^1 = 10.0$		
1	actualización dirección movimiento	$t_1^1 = 947.0$ $y_1^1 = 0.0$ $x_1^2 = 4.04$	$t_2^1 = 20.0$ $y_2^1 = 10.0$ $x_2^2 = 5.96$	$t_3^1 = 25.0$ $y_3^1 = 0.0$ $x_3^2 = 0.0$	$z(x) = 1975.0$	$\alpha_1 = 0.596$
2	actualización dirección movimiento	$t_1^2 = 35.0$ $y_1^2 = 0.0$ $x_1^3 = 3.39$	$t_2^2 = 35.0$ $y_2^2 = 10.0$ $x_2^3 = 5.00$	$t_3^2 = 25.0$ $y_3^2 = 0.0$ $x_3^3 = 1.61$	$z(x) = 197.0$	$\alpha_1 = 0.161$
3	actualización dirección movimiento	$t_1^3 = 22.3$ $y_1^3 = 10.0$ $x_1^4 = 3.62$	$t_2^3 = 27.3$ $y_2^3 = 0.0$ $x_2^4 = 4.83$	$t_3^3 = 35.3$ $y_3^3 = 0.0$ $x_3^4 = 1.55$	$z(x) = 189.98$	$\alpha = 0.035$
4	actualización dirección movimiento	$t_1^4 = 26.1$ $y_1^4 = 0.0$ $x_1^5 = 3.54$	$t_2^4 = 26.3$ $y_2^4 = 0.0$ $x_2^5 = 4.73$	$t_3^4 = 25.3$ $y_3^4 = 10.0$ $x_3^5 = 1.72$	$z(x) = 189.44$	$\alpha = 0.020$
5	actualización dirección movimiento	$t_1^5 = 24.8$ $y_1^5 = 10.0$ $x_1^6 = 3.59$	$t_2^5 = 25.8$ $y_2^5 = 0.0$ $x_2^6 = 4.70$	$t_3^5 = 25.4$ $y_3^5 = 0.0$ $x_3^6 = 1.71$	$z(x) = 189.33$	$\alpha = 0.007$
	actualización	$t_1^6 = 25.6$	$t_2^6 = 25.7$	$t_3^6 = 25.4$	$z(x) = 189.33$	

FUENTE: Urban Transportation Networks. Sheffi, Yosef. Prentice-Hall 1985.

IV.4.4.2. Modelo de Oferta

Una vez recopilados los datos de campo, correspondiente a la red de análisis, se ingresa esta información al Sistema de Información Geográfica (SIG) para poder analizar, en forma visual o numérica, los datos obtenidos mediante mapas temáticos u herramientas de análisis de datos. Los datos a analizar son referentes a las características físicas y operativas de la red. Este análisis proporciona un primer panorama sobre

IV.4.4.2.1. Atributos de la Red Vial Peatonal

Como ya se mencionó, la red vial peatonal está compuesta por nodos y enlaces. Algunos de estos nodos se les denominan **Centroides**, y representan los núcleos de las zonas de tránsito. Desde este punto se generan y se atraen los viajes desde o hacia una zona específica.

Cada nodo y enlace, en el modelo de oferta, tienen definido ciertos atributos que son utilizados mediante el proceso de modelación.

IV.4.4.2.1.1. Atributos de Nodos

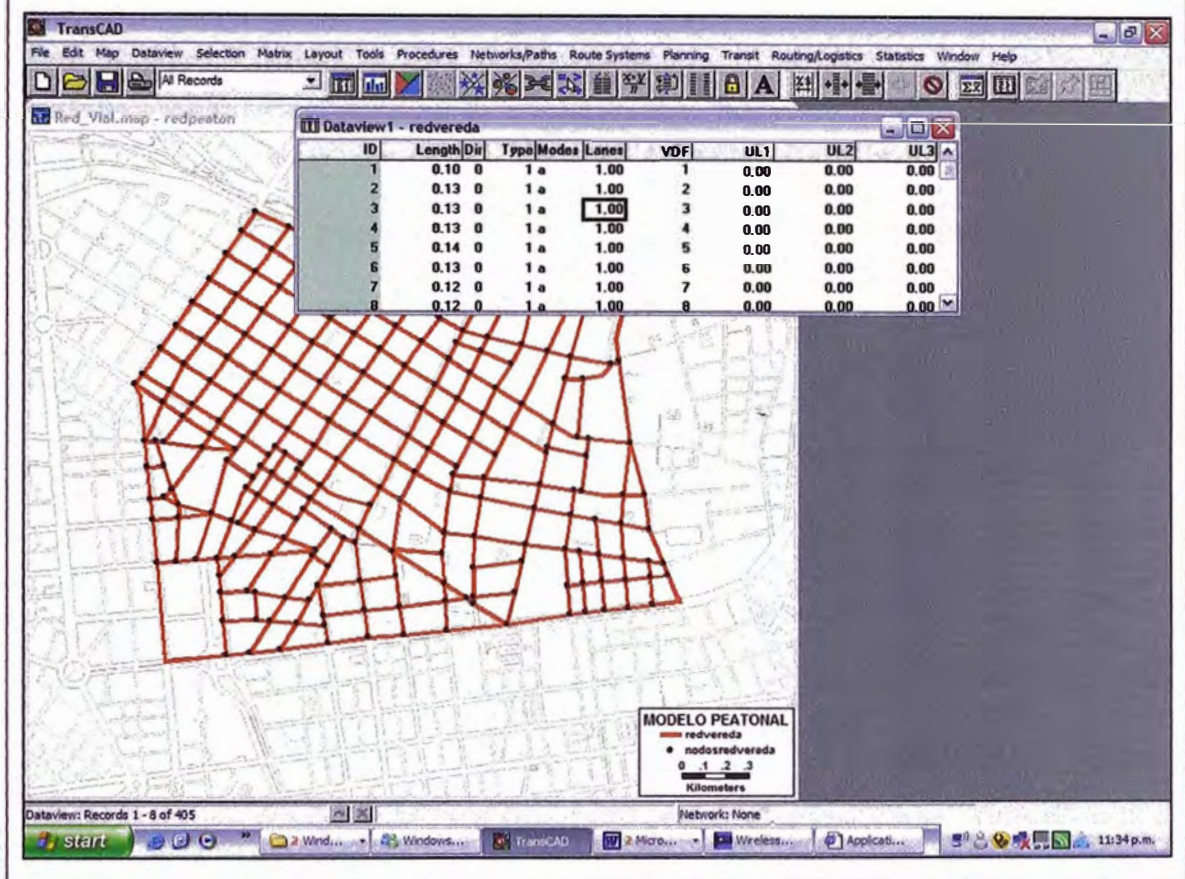
- Identificador único o Número de Nodos
- Coordenadas de latitud y longitud
- Número de centroides
- Atributos definidos por el usuario
- Opcionalmente, campo de identificador de nodos regulares (como etiquetas, nombres etc.)

IV.4.4.2.1.2. Atributos de Enlaces

- Nodo i
- Nodo j
- Length (longitud del enlace)
- Modos
- Tipo de enlace
- Número de carriles
- Función volumen demora
- Atributos definidos por el usuario
- Atributos extra
- Nombre de la Vía
- Tipo de Terreno (Plano, lomerío, montañoso)
- Estado de la Vereda (bueno, regular, malo)
- Velocidad
- Número de carriles por sentido
- Capacidad

En la Figura N° 22 se muestra la red del área de estudio digitalizada en SIG con los atributos necesarios para incorporarlos al modelo de oferta.

Figura N° 22.- Red y Atributos en el Sistema de Información Geográfico



FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, se debe considerar el estandarizar los atributos en la red de análisis para que pueda ser usado fácilmente por otros profesionales y sea compatible con otros modelos que consideren no solo a los peatones sino también otros modos de transporte.

IV.4.4.2.2. Análisis de Capacidad de la Infraestructura Peatonal y Niveles de Servicio.

Los datos de recolección sobre las características físicas y de operación de las vías, junto con los aforos de tránsito realizados, sirven para realizar un análisis de capacidad y niveles de servicio en los tramos de las vialidades actuales.

Para este efecto, se utiliza la metodología desarrollada por el Transportation Research Board (TRB: Oficina de Investigaciones de Transporte) de los Estados Unidos, mediante el uso del Highway Capacity Manual 2000 (HCM: Manual de Capacidad Vial).

La infraestructura peatonal está constituida por el conjunto de instalaciones destinado a la circulación de personas, tales como andenes o aceras, los cruces o pasos peatonales, esquinas de calles, entre otros.

Las características de flujos peatonales son factores importantes a considerar en la planeación, diseño y evaluación de la vialidad. Los flujos peatonales no son tan canalizados como los vehiculares en un “carril”, ya que las personas tienen mayor libertad de maniobra sin

causar muchos conflictos, sin embargo, cuando se presentan altos flujos, esto cambia. El flujo peatonal puede describirse mediante la siguiente ecuación:

$$q = v \times k$$

Donde:

- q : Volumen peatonal expresado en peatones por minuto y por metro de ancho (peatones/min/m)
- v : Velocidad de marcha peatonal o velocidad de caminata expresada en metros por minuto (m/min)
- k : Densidad peatonal expresada en peatones por metro longitudinal y por metro de ancho (peatones/m²)

La densidad peatonal es una variable que representa el número medio de peatones por unidad de área y se expresa como superficie o modulo peatonal “M” que representa el área media disponible a cada peatón por zona peatonal, es el inverso de la densidad peatonal y se expresa en m² por peatón. Es decir:

$M = 1/K$ (m^2 /peatón) y la ecuación fundamental del tránsito queda:

$$q = \frac{v}{M}$$

Hay varios factores que hacen que los peatones caminen en pelotones. En calles urbanas, los semáforos interrumpen las corrientes peatonales que cruzan las calles; también cuando es imposible el adelantar por falta de espacio en las aceras, obligándolos a disminuir su velocidad y adecuarse a la velocidad de los que van adelante. Los centros atractores (paraderos, teatros, oficinas, entre otros) tienden a generar grupos substanciales de peatones. El valor y la frecuencia de aparición de pelotones se deben comparar con el volumen medio peatonal, con el objeto de proporcionar una visión más exacta de las condiciones del nivel de servicio en los tramos viales. Definida la relación entre el flujo promedio de peatones y la tasa de flujo dentro de los pelotones, la misma que se cumple para flujos mayores de 1.64 peatones/min/m:

$$q(p) = q + 13.12$$

Donde:

- q(p) Tasa pico de flujo en los pelotones de peatones. (peatones/min./m.).
- q Flujo promedio de peatones por unidad de medida de tiempo (15 min.).
- k Densidad peatonal expresada en peatones por metro longitudinal y por metro de ancho (peatones/m²).

IV.4.4.2.3. Síntesis del Procedimiento de Acuerdo al Highway Capacity Manual (HCM).

El HCM provee metodologías de análisis de capacidad en vías peatonales. El flujo peatonal afecta también a toda la vialidad; a los giros vehiculares y reduce la capacidad de la intersección. Para el caso de esta investigación, se usan los siguientes parámetros:

Tabla N° 6.- Parámetros del HCM para Áreas Peatonales

PARÁMETROS	VALOR (*)
Ancho mínimo de circulación de un peatón sin incomodar.	0.75 m
Valor máximo de densidad peatonal (K) (Peatones/m ²)	Menores a 5
Capacidad de un andén con ancho de 1.5 a 2.0 m	82 peatones/min./m.
Superficie peatonal máxima según Capacidad	0.45–0.81 m ² /peatón
Superficie peatonal estática (ascensor, vehículo de TP)	0.18–0.27 m ² /peatón
Superficie ocupada por un peatón en tiempo de espera	0.45 m ² /peatón
Velocidad peatonal máxima	105 m./min.
Velocidad peatonal cuando hay arrastre de pies	45 m./min.

Superficie peatonal con movimiento de arrastre de pies	0.54–0.72 m ² /peatón
Velocidad media de marcha de los peatones	81–82.3 m./min. (1.35–1.37 m/s)
Tiempo de arranque del peatón en un cruce.	3 segundos

FUENTE: Pushkarev, B. y Zupan J. Urban Space for Pedestrian, MIT Press, Cambridge, MA.

IV.4.4.2.4. Criterio del Ancho Efectivo de la Instalación Peatonal.

En una instalación peatonal no todo el espacio es usado para movimientos peatonales. Los peatones en su recorrido se alejan prudentemente del sardinel y tampoco se acercan mucho a la fachada de los edificios. Por lo tanto, para determinar niveles de servicio, es necesario restar del ancho total existente, el espacio no utilizado. Además, la mayoría de las instalaciones peatonales tienen áreas para observación de vitrinas, bancas, puestos de revista, vendedores ambulantes, etc., que reducen el ancho disponible. Para el análisis de capacidad se tiene en cuenta únicamente el ancho efectivo dado por la siguiente expresión:

$$A_E = A_T - B$$

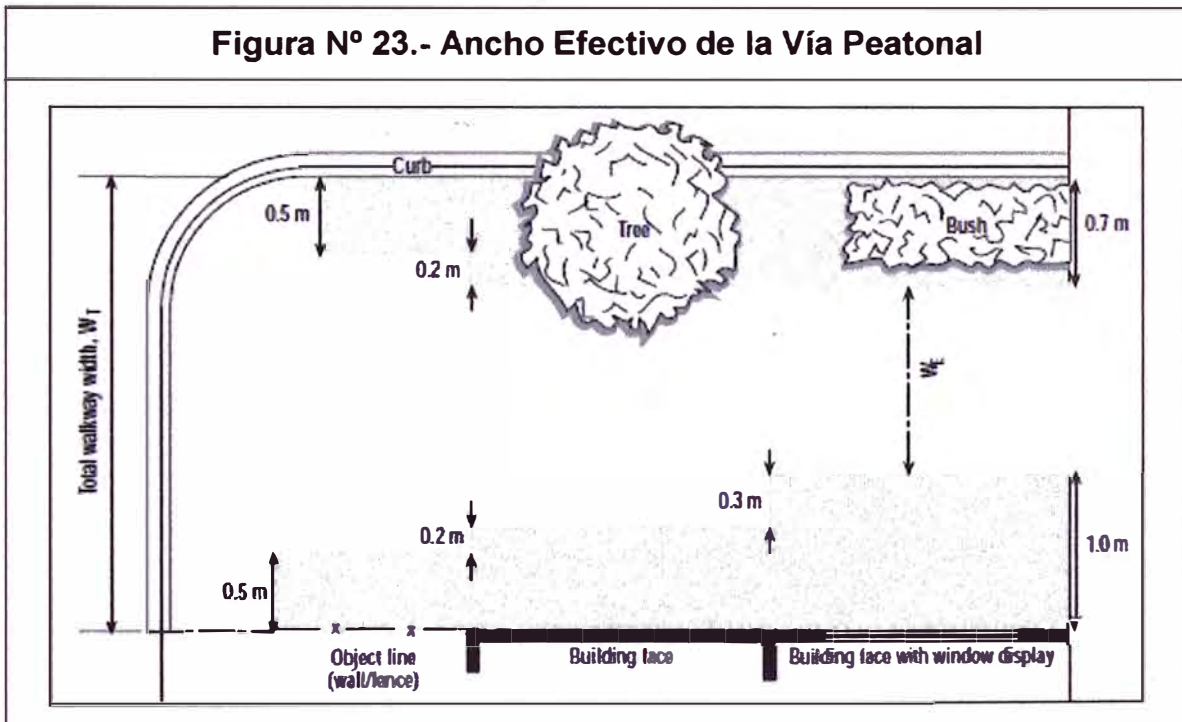
Donde:

$A_E = W_E$: Ancho efectivo o ancho libre de la vía peatonal (acera o andén) en metros.

$A_T = W_T$: Ancho total del andén en metros

B : Ancho total de las zonas no utilizadas para movimientos peatonales en metros.

En la Figura N° 23 se muestra gráficamente como se presenta el ancho efectivo de las aceras.



FUENTE: Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, D.C., 2000

IV.4.4.2.5. Criterio del Nivel de Servicio

Los factores de ajuste del ancho de vía peatonal por obstáculos fijos se observan en la Tabla N° 7

Tabla N° 7.- Factores de Ajuste del Ancho de Vía Peatonal por Obstáculos Fijos⁶

OBSTÁCULOS	B ⁷	OBSTÁCULOS	B
Amoblamiento urbano		Usos Comerciales	
Postes de alumbrado público	0.75–1.10	Casetas de revistas	1.22-3.96
Poste y cajas de semáforos	0.90–1.22	Mostradores o escaparates	Variable
Señales de tránsito	0.61-0.75	Elementos de publicidad	Variable
Cabinas telefónicas	1.22	Elementos de publicidad	Variable
Canecas de basura	0.91	Cafeterías (2 filas de mesas)	Variable
Bancas	0.52	Columnas	0.75–0.91
Entrada y salida de garajes	Variable	Portales de entrada	0.61–1.83
Árboles	0.61-1.22	Puertas de entrada al sótano	1.52–2.13
Jardines	1.52	Acometidas de servicios	0.30
		Soportes de toldos	0.75

FUENTE: Pushkarev, B. y Zupan J. Urban Space for Pedestrian, MIT Press, Cambridge, MA.

El valor límite de superficie peatonal correspondiente al nivel de servicio E o Capacidad se fijo en 0.54 m²/peatón. Para valores menores a 1.35 m²/peatón la velocidad de caminata se vera restringida, lo que hace que este valor sea limite apropiado para el nivel de servicio D. Para valores mayores de 2.16 m²/peatón, la mayoría de las velocidades peatonales no están restringidas, mientras que para superficies de 3.6 m²/peatón virtualmente todas las velocidades están sin impedimentos. Se fijo el nivel de servicio A para superficies mayores de 11.7 m²/peatón. Este es el límite por encima del cual los peatones circulan a velocidad libre sin verse afectados por la presencia de otras

⁶ Para tener en cuenta la distancia de seguridad u holgura que guardan los peatones con los obstáculos, debe añadirse entre 0.30 y 0.45 metros al ancho no útil (B) asignado a un obstáculo individual.

⁷ Ancho aproximado no útil. Distancia desde el sardinel o línea de fachada al borde del objeto.

personas en términos de velocidad, trayectoria y posición dentro de la corriente de peatones.

Tabla N° 8.- Niveles de Servicio Peatonal en Vías Peatonales

Nivel de Servicio	Superficie Peatonal S(m ² /peatón)	Intensidades		
		Flujo Peatonal, q(peat./min/m)	Velocidad Media, V(m/s)	Relación q/c
A	> 5.6	≤ 16	> 1,30	≤ 0.21
B	> 3.7 – 5.6	> 16 – 23	> 1.27 – 1.30	> 0.21 – 0.31
C	> 2.2 – 3.7	> 23 – 33	> 1.22 – 1.27	> 0.31 – 0.44
D	> 1.4 – 2.2	> 33 – 49	> 1.14 – 1.22	> 0.44 – 0.65
E	> 0.75 – 1.4	> 49 – 75	> 0.75 – 1.14	> 0.65 – 1.00
F	≤ 0.75	Variable	≤ 0.75	Variable

FUENTE: Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, D.C., 2000

IV.4.4.2.6. Descripción de los Niveles de Servicio:

- **Nivel de Servicio A**, cada persona puede elegir la velocidad que desee para caminar y evitar conflicto con otros peatones.
- **Nivel de Servicio B**, los peatones comienzan a estar conscientes de otros peatones.
- **Nivel de Servicio C**, los peatones necesitan introducir ajustes menores a su velocidad y dirección para evitar conflictos.
- **Nivel de Servicio D**, la libertad para elegir individualmente la velocidad de caminata y sobrepasar a otros peatones es restringida.
- **Nivel de Servicio E**, el caminar es sumamente congestionado y las posibles maniobras de cruce,

retroceso o el cruzar transversalmente el flujo son muy difíciles, la velocidad de los peatones es reducida.

- **Nivel de Servicio F**, los peatones parecen que estuvieran parados en un área de espera o pueden avanzar absolutamente de un modo muy desordenado.

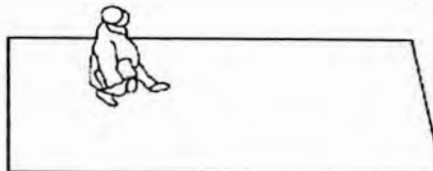
Para la presente investigación, el nivel de servicio esperado para la infraestructura peatonal es de un nivel de servicio "D".

Figura Nº 24.- Niveles de Servicio en Vías Peatonales

LOS A

Pedestrian Space > 5.6 m²/p *Flow Rate* ≤ 16 p/min/m

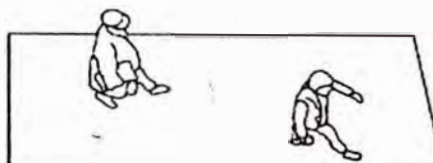
At a walkway LOS A, pedestrians move in desired paths without altering their movements in response to other pedestrians. Walking speeds are freely selected, and conflicts between pedestrians are unlikely.



LOS B

Pedestrian Space > 3.7-5.6 m²/p *Flow Rate* > 16-23 p/min/m

At LOS B, there is sufficient area for pedestrians to select walking speeds freely, to bypass other pedestrians, and to avoid crossing conflicts. At this level, pedestrians begin to be aware of other pedestrians, and to respond to their presence when selecting a walking path.



LOS C

Pedestrian Space > 2.2-3.7 m²/p *Flow Rate* > 23-33 p/min/m

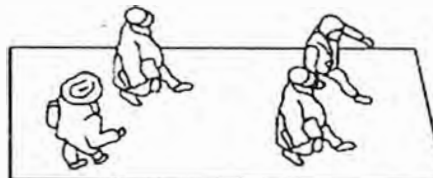
At LOS C, space is sufficient for normal walking speeds, and for bypassing other pedestrians in primarily unidirectional streams. Reverse-direction or crossing movements can cause minor conflicts, and speeds and flow rate are somewhat lower.



LOS D

Pedestrian Space > 1.4-2.2 m²/p *Flow Rate* > 33-49 p/min/m

At LOS D, freedom to select individual walking speed and to bypass other pedestrians is restricted. Crossing or reverse-flow movements face a high probability of conflict, requiring frequent changes in speed and position. The LOS provides reasonably fluid flow, but friction and interaction between pedestrians is likely.



LOS E

Pedestrian Space > 0.75-1.4 m²/p *Flow Rate* > 49-75 p/min/m

At LOS E, virtually all pedestrians restrict their normal walking speed, frequently adjusting their gait. At the lower range, forward movement is possible only by shuffling. Space is not sufficient for passing slower pedestrians. Cross- or reverse-flow movements are possible only with extreme difficulties. Design volumes approach the limit of walkway capacity, with stoppages and interruptions to flow.



LOS F

Pedestrian Space ≤ 0.75 m²/p *Flow Rate* varies p/min/m

At LOS F, all walking speeds are severely restricted, and forward progress is made only by shuffling. There is frequent, unavoidable contact with other pedestrians. Cross- and reverse-flow movements are virtually impossible. Flow is sporadic and unstable. Space is more characteristic of queued pedestrians than of moving pedestrian streams.



FUENTE: Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, D.C., 2000

IV.4.4.2.7. Análisis de vías Peatonales en el Área de Estudio

La aplicación de los criterios de nivel de servicio en el Área de Estudio es directa. La secuencia de cálculo básicamente consistió en los siguientes pasos:

Paso 1. Conocer los datos del aforo peatonal en el período pico de 15 minutos, el ancho total de la vía y la identificación de los obstáculos en la vía peatonal.

Paso 2. Calcular el ancho efectivo de la vía peatonal utilizando como referencia la Tabla N° 7 más atrás.

Paso 3. Calcular el flujo promedio de peatones en peatones/min/m, utilizando:

$$q = \frac{q_{15}}{15A_E}$$

Donde:

q : Flujo promedio de peatones (peatones/min/m).

q_{15} Flujo pico peatonal en un período de 15 minutos (peatones/15min).

A_E Ancho efectivo en metros, según la ecuación.

Paso 4. Convertir el flujo medio de peatones a tasa de flujo estimada de pelotón de peatones utilizando la ecuación respectiva.

Paso 5. Luego en la Tabla N° 8 se ubica el valor promedio de flujo o tasa de pelotón para obtener el respectivo nivel de servicio. La velocidad es un criterio importante para la determinación del nivel de servicio debido a su fácil observación y medida, porque describe la sensación de calidad del servicio percibida por los usuarios.

IV.4.4.2.8. Funciones Volumen-Demora

Las funciones volumen – demora son modelos que permiten representar el comportamiento de las vialidades, reflejado en los tiempos de recorrido ante diferentes niveles de flujo peatonal y capacidad de la vía. En condiciones normales, cuando el volumen es bajo, el peatón circula a una velocidad de flujo libre. Sin

embargo, a medida que el flujo se incrementa y se van formando pelotones de personas, la velocidad baja hasta que se llega a un nivel de congestión en que la velocidad de recorrido tiende a cero y el tiempo de recorrido para un tramo en específico en esas condiciones tiende a infinito (teóricamente). En la vida real, aún en condiciones de congestión, la velocidad nunca llega a cero.

Las funciones son calibradas en función de datos de aforos de tránsito y mediciones de tiempos y velocidades de recorrido simultáneas. Existen diversos tipos de funciones volumen – demora, siendo dos las más utilizadas en este tipo de aplicaciones: las funciones desarrolladas por el Bureau of Public Roads de EUA (funciones BPR) o las funciones cónicas, que en realidad son una derivación de las funciones BPR y que son utilizadas en situaciones de congestión severo. La Figura N° 25 presenta el comportamiento típico de una función volumen – demora, donde a medida que la relación volumen/capacidad tiende a 1.0, el tiempo de recorrido aumenta.

La función general de BPR es el siguiente:

$$t = t_f \left[1 + \alpha \left(\frac{v}{c} \right)^\beta \right]$$

Donde:

t	Tiempo de viaje con congestión
t_f	Tiempo de viaje en flujo libre
V	Volumen
c	Capacidad
α, β	Parámetros de calibración

Usualmente, los valores para α, β son 0.15 y 4.0 respectivamente, sin embargo, pueden usarse diferentes valores en varios casos. En la tabla siguiente se muestran algunos valores de estos parámetros que son aplicados para el caso de vehículos motorizados.

Tabla N° 9.- Ejemplo de Parámetros de la Función BPR para el Caso de Vehículos Motorizados⁸

Infraestructura		α	β
Vía	Km.		
Freeways	70 mph	0.88	9.8
	60 mph	0.83	5.5
	50 mph	0.56	3.6
Multilane	70 mph	1.00	5.4
	60 mph	0.83	2.7
	50 mph	0.71	2.1

FUENTE: Delay - volumen - relations for travel forecasting; based on the 1985 highway capacity manual. United States Department of Transportation

El modelo general de la función cónica se presenta a continuación y es la función que mejor podría representar el comportamiento peatonal en vías de los centros de negocio central con alto nivel de afluencia peatonal:

$$f^c = 2 + \sqrt{\alpha^2(1-x)^2 + \beta^2} - \alpha(1-x) - \beta$$

$$\text{Donde: } \beta = \frac{2\alpha - 1}{2\alpha - 2}, \quad y \quad x = \frac{\text{Volumen}}{\text{Capacidad}}$$

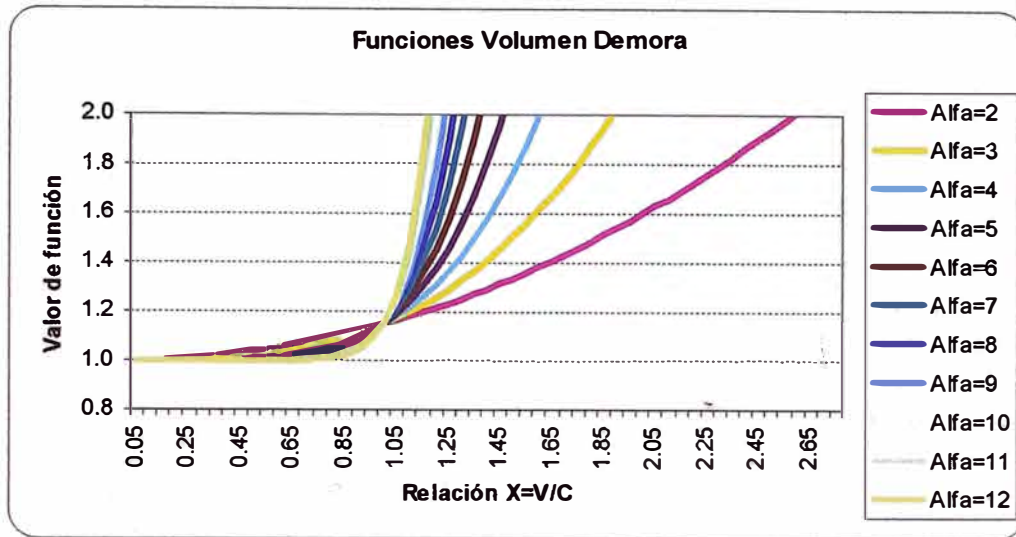
f^c : Tiempo de viaje con congestión

x : Relación volumen capacidad

α, β : Parámetros de calibración

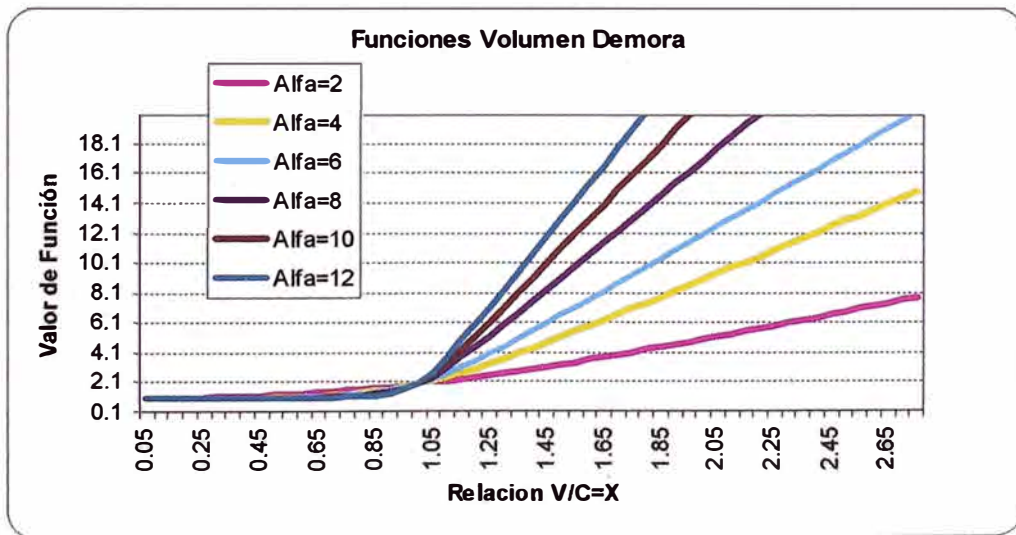
⁸ <http://tmip.fhwa.dot.gov/clearinghouse/docs/general/dvrt/ch4.stm>

Figura N° 25.- Ejemplo de Comportamiento de Una Función BPR



FUENTE: Elaboración propia

Figura N° 26.- Ejemplo de Comportamiento de Una Función Cónica



FUENTE: Elaboración propia

Es importante mencionar que las funciones volumen – demora deben ser calculadas sólo cuando se observen condiciones de congestamiento en periodos pico, por lo que el periodo de simulación deberá ser una hora o dos según sea el caso. Sin embargo, cuando se utilizan matrices diarias y no se observan condiciones de congestamiento, las funciones volumen demora son constantes, es decir que el tiempo no varía en función del volumen de tránsito existente en la vía, por lo tanto, no es necesario calibrar una función, sino que se utiliza un valor promedio por sentido a partir de los tiempos y velocidades de recorrido inventariados en campo.

IV.4.4.3. Modelo de Demanda

El modelo de demanda está representado básicamente por las matrices de viaje entre diversos pares origen destino. Estas matrices pueden ser creadas de acuerdo a diversos segmentos que agrupan a los viajes de las personas con ciertas características relacionadas a su edad, ingreso o genero, entre otros aspectos.

IV.4.4.3.1. Período de Modelación

El periodo de modelación se debe definir antes de la creación de las matrices de viaje. Se debe considerar el

hecho de que los flujos, los tiempos entre otras variables no son los mismos a cualquier hora del día.

El número de periodos a definir depende del tipo de proyecto analizado y del nivel de precisión que se requiera para el estudio; obviamente la cantidad de periodos influirá en el costo y duración del estudio.

En el caso de los modelos para vehículos de transporte motorizado en un área urbana, es usual el modelar con periodos punta de la mañana y tarde y el periodo valle. Para el caso de la presente investigación se planteó el uso del periodo pico debido a que se está trabajando en un área urbana y no se tiene disponibilidad económica como para ampliar los periodos de estudio.

IV.4.4.3.2. Desarrollo de Matrices Origen – Destino

Definido el período de modelación, se establece el proceso para obtener matrices para el periodo a simular con el cual, se garantice el nivel de confianza en los resultados obtenidos.

La información con la cual se trabajó para la elaboración de las matrices de viaje, la cual es un insumo importante

para la creación del modelo de simulación, se obtuvo de la base de datos del PMTU. Esta base de datos, contiene información muy valiosa para el planeamiento de la movilidad de las personas.

IV.4.4.3.3. Estratificación de las Matrices de Viaje

El objetivo principal de la estratificación o segmentación de las matrices es reducir errores de análisis, caracterizando correctamente al mercado de transporte mediante la identificación de grupos homogéneos de la población bajo estudio.

Para estratificar la demanda, se han considerado los siguientes criterios (Ortúzar, 2006)⁹:

1. Posibilidad de medición: el grado al cual es posible obtener (o existe) información respecto a las características de las personas.
2. Accesibilidad: el nivel al que, los que toman decisiones pueden identificar y efectivamente enfocar sus esfuerzos de marketing (o mejoramiento) en los segmentos elegidos.

⁹ Ortúzar, J, de D. (2000) Modelos econométricos de elección discreta. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

3. Volumen: tamaño mínimo de los segmentos, de tal forma que valga la pena considerarlos en forma separada.

Una adecuada estratificación influirá en la reducción del error en la estimación del valor del tiempo, mediante el ajuste de un modelo de regresión logística planteado y ajustado considerando tal estratificación.

Es relevante conocer el valor que los usuarios le dan al tiempo, considerando que la utilización de la nueva ruta les causará un costo pero a su vez una reducción del tiempo de viaje. La estratificación podría considerar atributos como el motivo de viaje, nivel socioeconómico, frecuencia de viaje, edad, género, tiempo de viaje, entre otros.

IV.4.4.3.3.1. Atributos para la Estratificación

Motivos de Viaje:

- Trabajo
- Compras
- Estudios
- Otros

Nivel Socioeconómico:

- De \$0 a \$500
- De \$500 a \$1,500
- De \$1,500 a \$3,000
- Mayor a \$3,000

Frecuencia de Viaje:

- Viajes por día
- Viajes por semana
- Viajes por mes
- Viaje ocasional

IV.4.5. Calibración del Modelo de Tránsito Peatonal

La calibración del modelo debe hacerse para cada fase de modelación en cada proceso para la situación actual de tal forma que se pueda representar los movimientos peatonales adecuadamente. Sin embargo, para efectos de la presente tesis se ha calibrado la asignación base o situación actual de tal forma que se representen adecuadamente los viajes peatonales en la red vial peatonal.

– Calibración es esencialmente la comparación de lo obtenido en campo mediante la recolección de información y lo obtenido en el modelo mediante la asignación de viajes. La calibración tiene por

objetivo reproducir la situación real de tiempos y volúmenes en la red vial, verificando que los caminos calibrados en el modelo correspondan a las alternativas que efectivamente los usuarios utilizan para desplazarse. El proceso de calibración se muestra en la Figura N° 27.

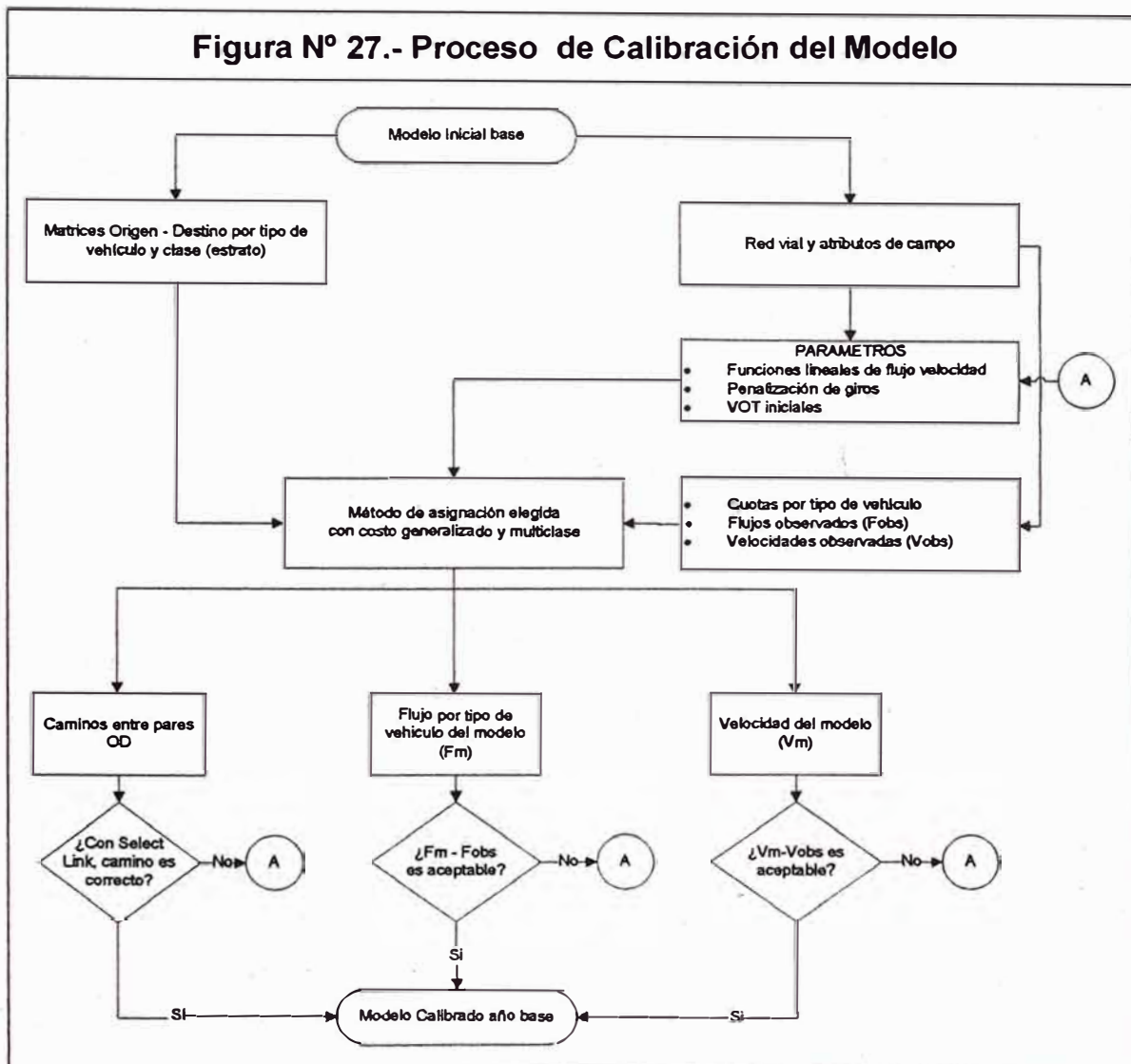
En resumen, en la calibración se debe buscar:

$$TiempoRecorrido_{Modelo} \cong TiempoRecorrido_{Reales}$$

$$Volumen_{Modelo} \cong Volumen_{Reales}$$

$$Caminos_{Modelo} \cong Caminos_{Reales}$$

Primero, se han calibrado los tiempos de viaje de las personas en los diversos tramos de la red. Segundo, se calibraron los volúmenes también en la red vial peatonal y, finalmente, se revisaron los desplazamientos en la red vial. La calibración del sistema se puede observar en el Capítulo VII sobre el caso de estudio.



FUENTE: Cal y Mayor y Asociados S.C.

IV.4.5.1. Análisis del modelo

Una vez calibrado el modelo, es necesario efectuar diversos análisis con el fin de validarlo. El análisis que se realizó para la validación del modelo incluye lo siguiente:

- Verificación de las características viales.
- Análisis de líneas de deseo para verificar que la distribución de los viajes sea consistente.

- Análisis de caminos con Select Link, lo cual permite identificar en un tramo específico cuál es la convergencia de los flujos si estos son razonables.

Este análisis para la validación del modelo nos permite identificar posibles errores de las fuentes de información, a pesar de que la calibración parezca muy razonable, se debe realizar este análisis.

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE TRÁNSITO PEATONAL

Este capítulo contiene la forma de como se implementó el modelo de tránsito peatonal y una descripción del software que se utilizó para realizar las simulaciones que se presentan en el capítulo siguiente.

Para realizar la implementación del modelo, se hizo una revisión de las características y atributos con que cuenta el programa. El programa utilizado es el EMME/3 y sus siglas significan Équilibre Multimodal y Multimodal Equilibrium en Francés e Inglés respectivamente el cual se refiere a la teoría de equilibrio de redes y el número 3 es la versión del programa. El EMME/3, es un paquete de software que se puede usar en varias plataformas de computadoras y permite una amplia gama de manipulación de la información a través de sus diversos módulos. El programa posee un poderoso lenguaje de macro para la automatización de comandos usados frecuentemente o repetitivos. El lenguaje de macro también posee facilidades de programación

como la sustitución de parámetros, el uso de registros de texto, el llamado de una macro a través de otra, entre otros.

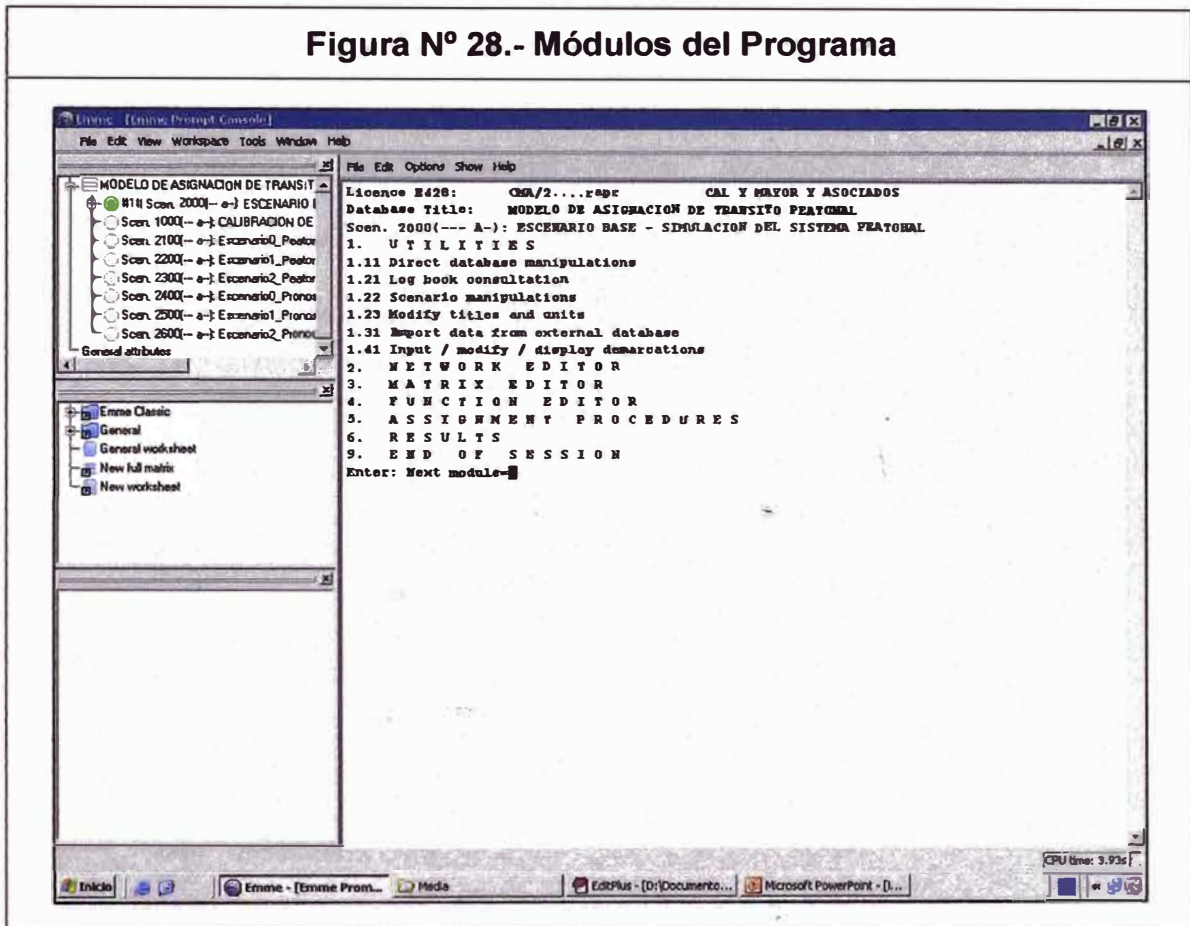
El ingreso de la información se ha realizado manualmente y utilizando las herramientas de ingreso de datos por bloques lo cual facilita la integración de datos y se aprovecha el tiempo en las corridas.

V.1. Módulos del Programa

Este software contiene 6 módulos que ayudan a integrar la información en una base de datos llamada “emmebank” con la cual nos permite manipular la información de acuerdo a las necesidades requeridas. Además, cuenta con una interfase gráfica que permite visualizar la información resultante de las diversas simulaciones. Aunque la interfase gráfica de usuario no es muy amigable, permite al analista tener herramientas adicionales para realizar mejores análisis de la información.

En la Figura N° 28 se puede apreciar los módulos que contiene el programa utilizado en el desarrollo de la investigación y en la implementación del modelo elaborado para realizar simulaciones considerando el movimiento peatonal en zonas urbanas.

Figura N° 28.- Módulos del Programa



FUENTE: Elaboración propia

V.1.1. Utilidades

El primer módulo es el denominado “Utilidades”; Es el módulo del sistema utilizado para cambiar unidades de medida, hacer manipulaciones de escenarios, visualizar la bitácora del sistema, entre otros. Este módulo es el primer paso para la creación del modelo ya que se deben configurar las unidades de medida o importar datos de un banco de datos externo de ser necesario.

V.1.2. Editor de Red

El editor de red contiene todas las herramientas requeridas para manipular y mostrar los elementos y atributos de red. Algunos sub-módulos permiten diferentes tipos de manipulación de un tipo particular de elemento. Otros, proveen funcionalidades que pueden ser usados con varios tipos de elementos. En el editor de redes se pueden manipular elementos como enlaces, nodos, giros entre otros. Con este módulo se agrega la red peatonal (nodos y enlaces) y sus atributos lo cual permiten establecer la oferta del sistema.

V.1.3. Editor de Matriz

Las matrices representan a la oferta del sistema y están relacionadas a las zonas de tránsito. Las zonas pueden ser agrupadas en grupos de zonas que son definidos como juegos dentro de un conjunto. Hay cuatro tipos de matrices: completa, origen, destino y escalar. Las matrices son automáticamente expandidas cuando su uso lo requiere.

El editor de matrices contiene los sub-módulos que pueden ser usados para manipular y mostrar matrices y realizar varios cálculos de matrices. Hay también un sub-módulo para manejar grupos de zonas.

V.1.4. Editor de Función

Todas las funciones son integradas en el banco de datos y usadas por los procedimientos de asignación tales como la función volumen demora definidas para los enlaces y las funciones de penalización de giros en el caso de nodos. Todas estas funciones son especificadas por el usuario como expresiones algebraicas.

El editor de funciones contiene cuatro módulos que pueden ser utilizados para manipular y mostrar funciones en el momento que se requiera.

V.1.5. Procedimientos de Asignación

Este grupo de módulo contiene todas las herramientas requeridas para preparar y ejecutar varios tipos de asignaciones a la red evaluada.

Las siguientes asignaciones son implementadas dentro del sistema:

- Asignación de equilibrio; (Asignación todo-o-nada, bi-modal y multimodal).
- Asignación de Equilibrio con demanda variable

V.1.6. Resultados de Asignación

Este grupo de módulos contiene herramientas para mostrar resultados de las asignaciones realizadas en un escenario actual.

Se pueden realizar varios tipos de reporte y ploteos, es decir, en texto o gráfico.

Además, hay dos módulos que permiten la comparación de resultados del escenario actual con algunos otros.

V.2. Componente Gráfico del Programa

El programa, además, cuenta con un componente gráfico en donde se pueden visualizar no solo los resultados que se obtienen de las corridas realizadas sino también se pueden visualizar los atributos de los diversos elementos integrados en el banco de datos del modelo.

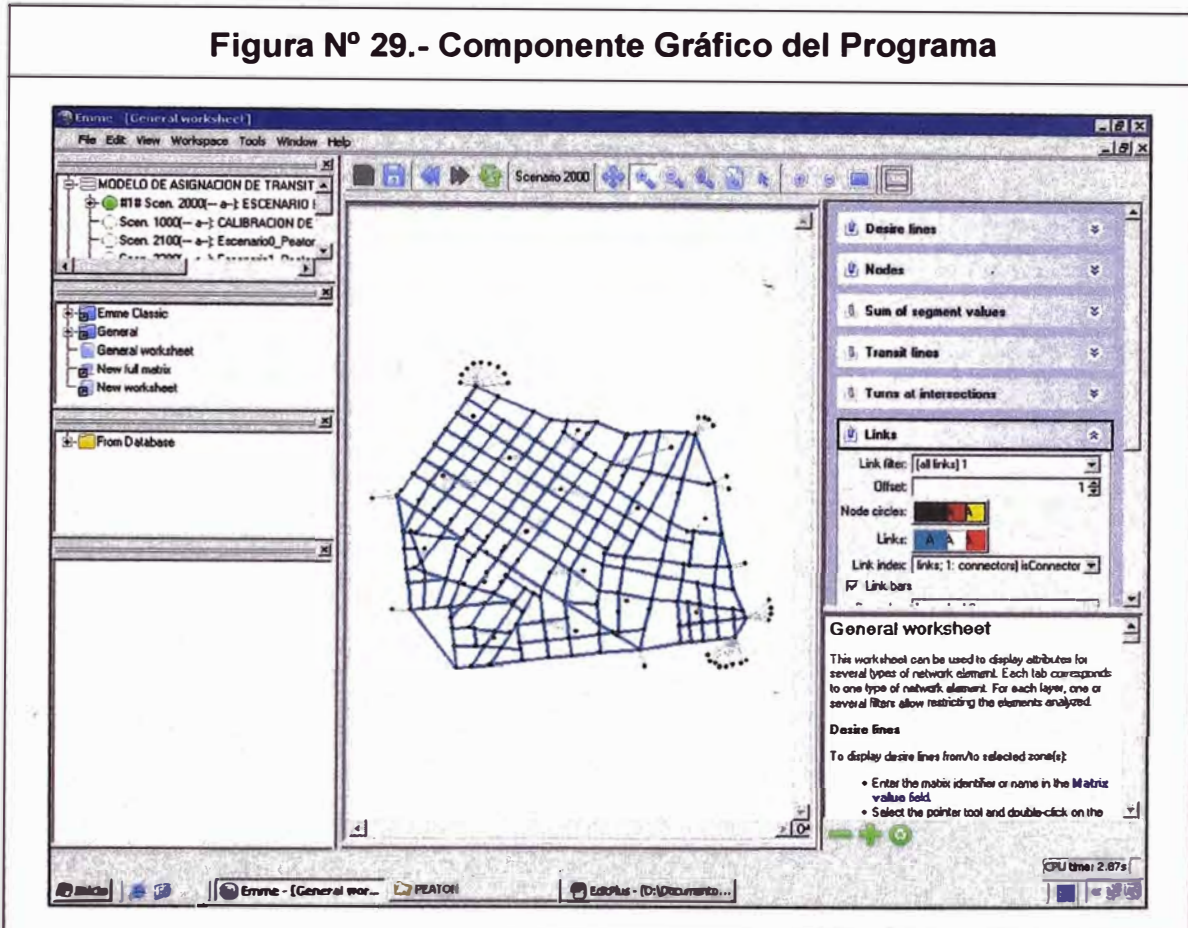
Como se aprecia en la Figura N° 29, el programa contiene tres secciones separadas verticalmente.

La primera sección de la izquierda está compuesta por los diversos escenarios simulados y las rutas cortas para realizar análisis gráficos específicos.

La segunda sección muestra gráficamente el contenido del modelo realizado que puede contener enlaces, nodos, resultados de corridas, líneas de regresión o diversos cuadros de análisis.

La tercera sección contiene los elementos y atributos que se quiere mostrar en los gráficos.

Figura N° 29.- Componente Gráfico del Programa



FUENTE: Elaboración propia

V.3. Archivos de Entrada y Salida

Los archivos de entrada del modelo deben ser creados en un editor de texto con extensión *.txt o *.prn y deben seguir un formato específico (ver Manual del EMME/3) que pueda ser leído por el sistema. El nombre del archivo de ingreso también lo define el usuario del sistema.

En el caso de los archivos de salida, el usuario del sistema puede definir, en cualquier momento durante el proceso, el nombre y la extensión (*.txt o *.prn) del archivo que se obtendrá como resultado. Usualmente, la extensión siempre es *.txt ya que facilita la manipulación de datos en otros programas.

CAPITULO VI

ESTUDIO DE CASO

Este capítulo contiene los resultados de la implementación del modelo de tránsito peatonal y la simulación de un caso real mediante el planteamiento de diversos escenarios de análisis que fueron elaborados conjuntamente mediante coordinaciones con personal técnico del Área de Ingeniería de la Gerencia de Transporte Urbano de la Municipalidad de Lima.

A lo largo de la presente investigación se han mostrado gráficos y tablas como resultado de la elaboración del modelo de asignación de tránsito peatonal. En estos gráficos y tablas se presentan a la oferta y demanda del sistema, los cuales son elementos importantes para la elaboración del modelo de simulación. Para verificar el correcto funcionamiento del modelo, se realizó la simulación de un caso real en coordinación con Ingenieros de Transporte de la Municipalidad de Lima.

El planteamiento de escenarios tiene como base diversos proyectos que se pretenden elaborar en la Ciudad de Lima en cuanto a la movilidad de los

peatones. La prioridad de los proyectos para la elaboración de escenarios también fue coordinado con lo cual se decidió lo presentado en el punto VII.5.2. más adelante.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los resultados obtenidos en el “Estudio de Tránsito Peatonal en Tramos del Centro Histórico de Lima” desarrollado para Protransporte de Lima¹⁰ y en el cual se analizan diversas vías peatonales en el centro histórico de la Ciudad de Lima.

VI.1. Zonificación

La zonificación resultante de la elaboración del estudio de caso se presenta en la Tabla N° 10 obteniendo 31 zonas externas y 16 zonas internas.

¹⁰ Protransporte de Lima es una dependencia de la Municipalidad Metropolitana de Lima a cargo de la planificación y operación de un Sistema Masivo de Transporte sobre Buses de Alta Capacidad.

Tabla N° 10.- Relación de Zonas de Tránsito del Modelo

Zonas	Región	Provincia	Tipo
453	Junín		Externa
407	Lima	Yauyos	Externa
454	Huancavelica		Externa
455	Ica		Externa
408	Lima	Cañete	Externa
406	Lima	Huarocharí	Externa
451	Huanuco		Externa
450	Ancash		Externa
452	Pasco		Externa
336	Lima	Lima	Externa
400	Lima	Barranca	Externa
402	Lima	Huaura	Externa
404	Lima	Huaral	Externa
401	Lima	Cajatambo	Externa
403	Lima	Oyón	Externa
320	Lima	Lima	Externa
405	Lima	Canta	Externa
335	Lima	Lima	Externa
322	Lima	Lima	Externa
341	Lima	Lima	Externa
324	Lima	Callao	Externa
321	Lima	Lima	Externa
323	Lima	Lima	Externa
332	Lima	Lima	Externa
331	Lima	Lima	Externa
334	Lima	Lima	Externa
330	Lima	Lima	Externa
343	Lima	Lima	Externa
333	Lima	Lima	Externa
340	Lima	Lima	Externa
342	Lima	Lima	Externa
315	Lima	Lima	Interna
314	Lima	Lima	Interna
308	Lima	Lima	Interna
311	Lima	Lima	Interna
312	Lima	Lima	Interna
307	Lima	Lima	Interna
306	Lima	Lima	Interna
300	Lima	Lima	Interna
301	Lima	Lima	Interna
302	Lima	Lima	Interna
304	Lima	Lima	Interna
305	Lima	Lima	Interna
310	Lima	Lima	Interna

303	Lima	Lima	Interna
309	Lima	Lima	Interna
313	Lima	Lima	Interna

VI.2. Segmentos de Demanda

Para elaborar las matrices de viajes peatonales se debe tener en consideración los segmentos posibles en que se puedan desagregar los viajes tratando de formar grupos homogéneos con el objeto de representar de mejor manera el comportamiento de los viajes en el modelo.

Los segmentos de demanda considerados para la elaboración del presente caso se detallan en la tabla siguiente.

Tabla N° 11.- Segmentos de Demanda en el Modelo para el Caso Estudiado

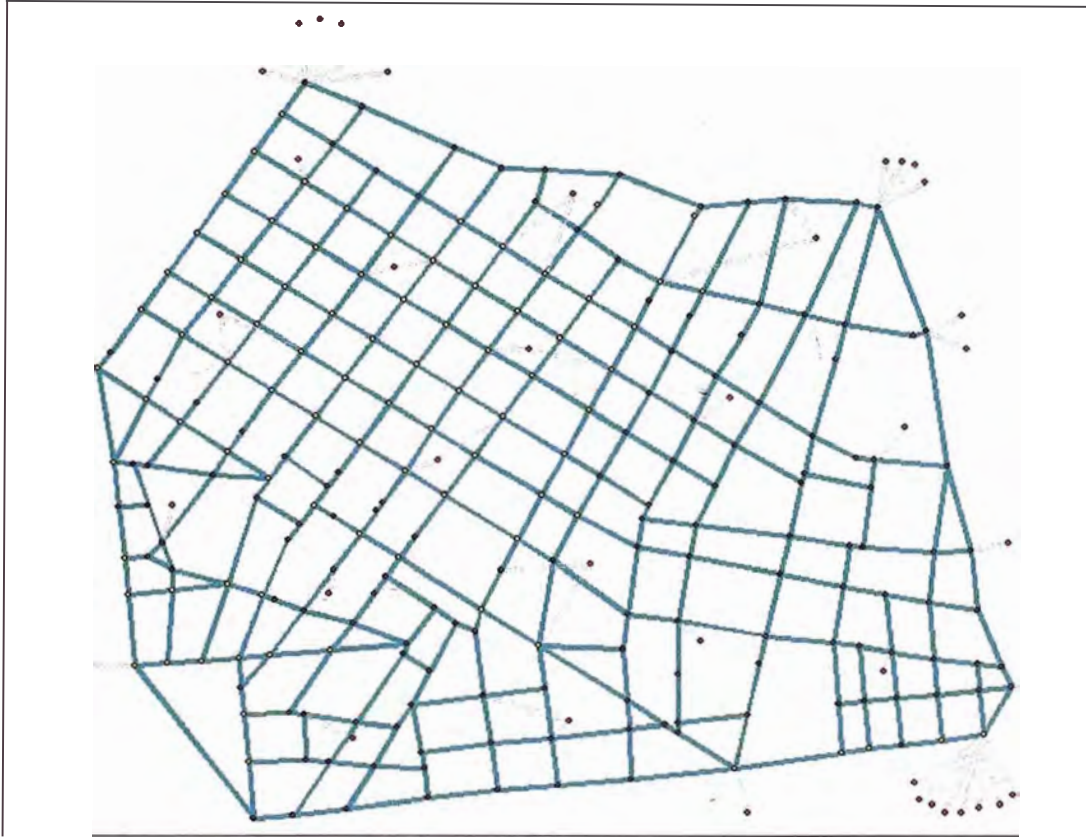
N°	Segmento	Detalle del Segmento
1	TRABAJO	Al trabajo
2	ESTUDIOS	Al colegio
3	NEGOCIO	Para negocio
		Regresar a la oficina
4	PRIVADO	Compras
		Comer
		Entretenimiento
		Recoger/despachar
		Otro privado
5	HOGAR	Al hogar

VI.3. Red Peatonal del Modelo

Como se mencionó en el Capítulo V, el área de influencia de la presente investigación en el programa de modelación se presenta en la Figura N° 8, el cual está limitado por las vías que comprenden y cubren el Centro de Lima. Las avenidas que limitan el Área de Influencia del presenta caso de estudio son:

- Avenida Tacna
- Avenida Garcilazo de la Vega
- Avenida Bolivia
- Avenida Nicolás de Piérola
- Jr. Huanta
- Jr. Amazonas

Figura N° 30.- Red Peatonal del Modelo en EMME/3



FUENTE: Elaboración propia

VI.3.1. Velocidades de la Red Modelada

Las velocidades de la red modelada se presentan en un gráfico temático en la Figura N° 31. Las velocidades modeladas se encuentran entre 2.1 km/hr y 6.3 km/hr la cual es la velocidad mínima (con arrastre de pies) y la velocidad máxima del peatón bajo en buenas condiciones.

Figura N° 31.- Velocidades en la Red



FUENTE: Elaboración propia

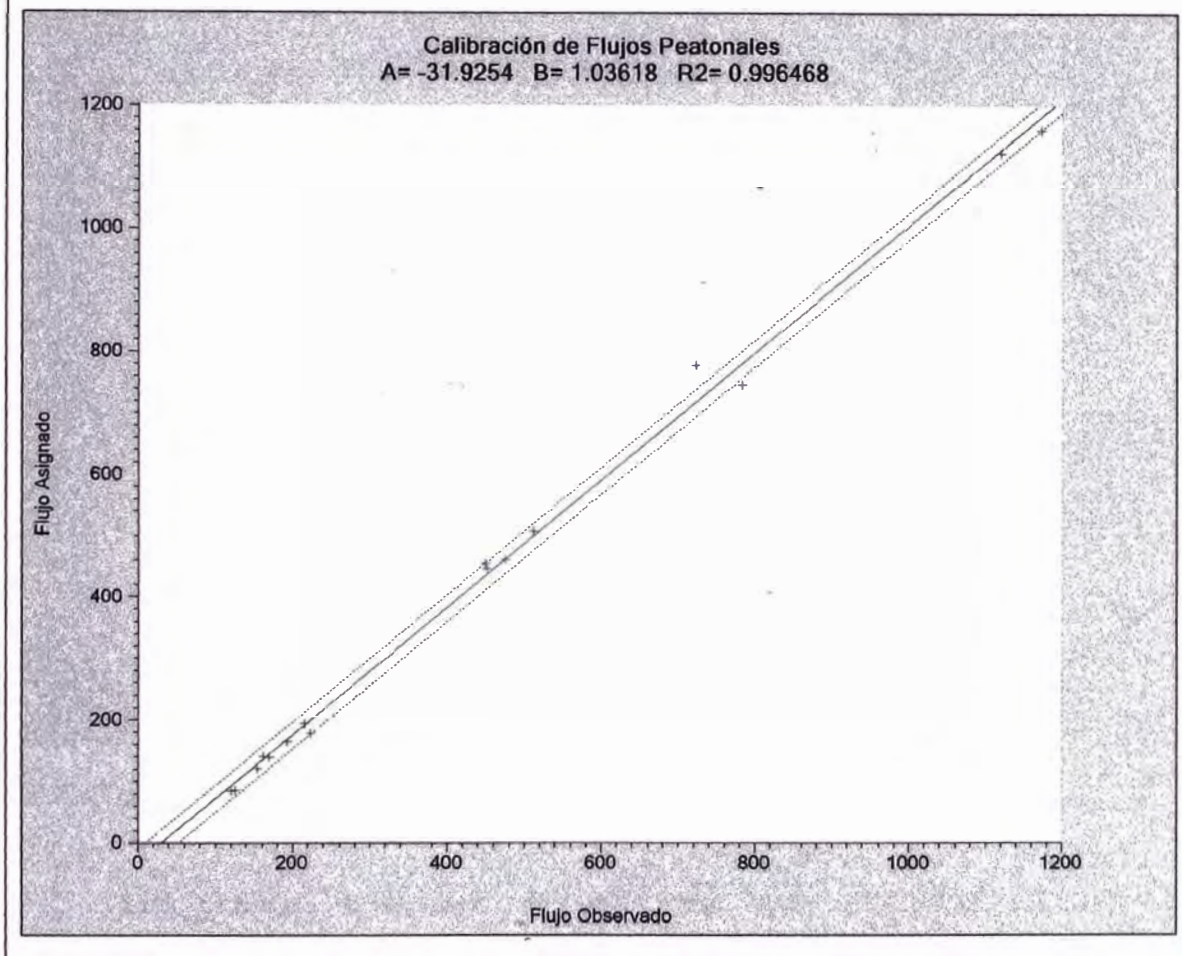
VI.4. Calibración del Modelo

Como ya se ha mencionado anteriormente, calibración involucra la relación entre los flujos, tiempos o velocidades modelados y los flujos, tiempos o velocidades observados. Además, implica la revisión de caminos coherentes en el modelo.

En el gráfico siguiente, se presenta la calibración del flujo peatonal en el modelo. Como se puede apreciar en la Figura N° 32, se ha obtenido un coeficiente de determinación (R^2) de 0.996 para el caso de flujos

peatonales, lo cual es alto y nos brinda una buena calibración para la simulación de diversos escenarios.

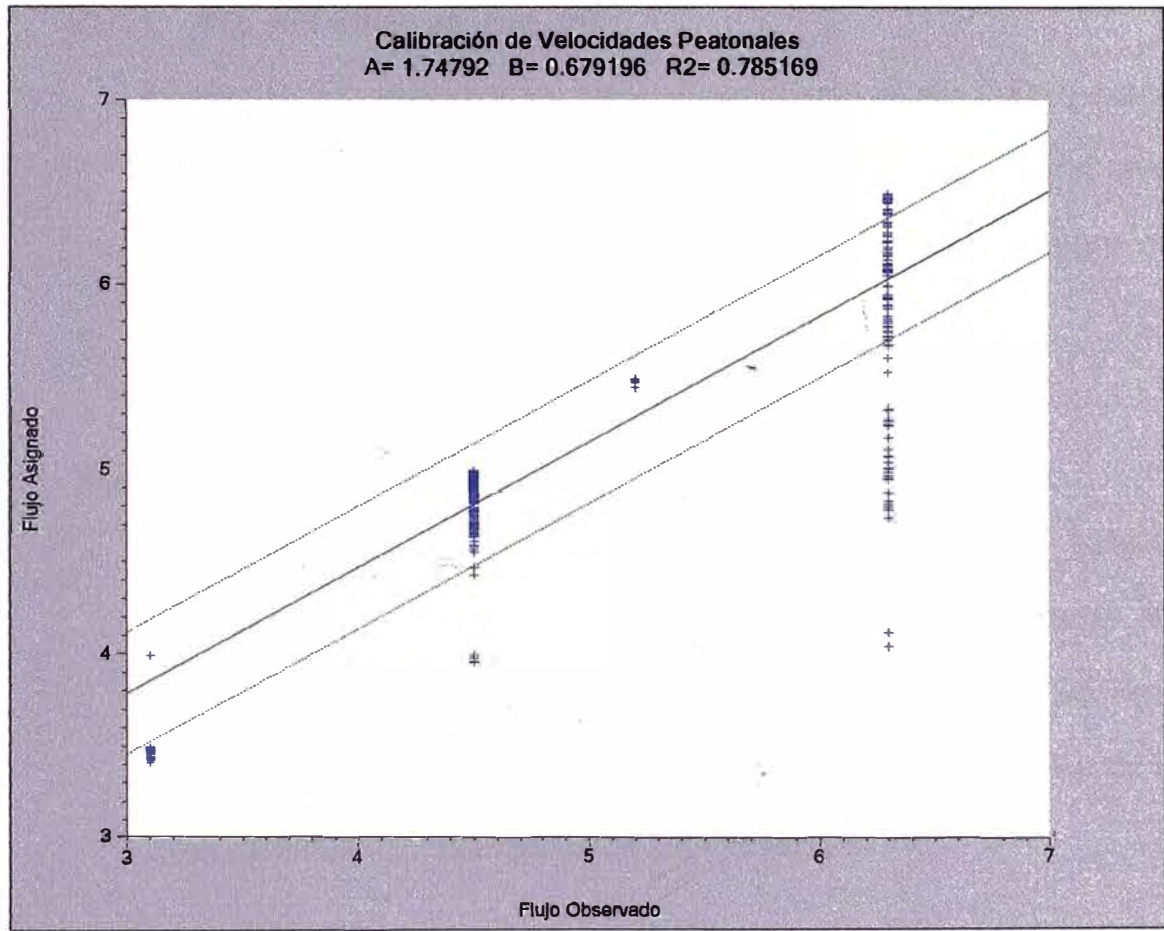
Figura N° 32.- Calibración de Flujos Peatonales del Modelo en EMME/3



FUENTE: Elaboración propia

Además, el coeficiente de determinación (R^2) resultante de la calibración de velocidades es 0.785 y se puede apreciar en la Figura N° 33.

Figura N° 33.- Calibración de Velocidades Peatonales del Modelo en EMME/3



FUENTE: Elaboración propia

Los gráficos anteriores de calibración son obtenidos del modelo mediante el uso de unos módulos que presenta el programa de simulación.

VI.5. Premisas para las Simulaciones en el Modelo

VI.5.1. Año Horizonte de Estudio

El modelo fue calibrado con datos obtenidos en el año 2006 y datos actualizados, por lo que las simulaciones del año base fueron para dicho periodo de tiempo. Además, se realizan simulaciones para los años 2011 y 2016.

VI.5.2. Planteamiento de Escenarios de Simulación

Una vez elaborado, calibrado y validado el modelo de tránsito peatonal, se pueden simular múltiples escenarios futuros de análisis. Para elaborar los escenarios de análisis, se han considerado los posibles proyectos que se puedan desarrollar en el área de influencia, planteándose los siguientes:

VI.5.2.1. Descripción del Escenario 1

Escenario Futuro, involucra la simulación del modelo peatonal y la estimación de los flujos peatonales en años futuros sin modificaciones en el sistema. Se establece este escenario para poder medir el nivel de servicio en las vías de análisis más importantes en el caso de no realizar modificaciones en el sistema. Las vías peatonales analizadas son la Av. Emancipación, Jr. Callao y Jr. Ica.

VI.5.2.2. Descripción del Escenario 2

Escenario Futuro, involucra la simulación del modelo peatonal y la estimación de los flujos peatonales en años futuros con modificaciones en la oferta mediante el ensanchamiento de las vías más importantes del sistema. Se establece este escenario para poder medir el nivel de servicio en las vías de análisis más importantes en el caso de realizar modificaciones en la oferta. Las vías peatonales analizadas son la Av. Emancipación, Jr. Callao y Jr. Ica.

VI.5.2.3. Descripción del Escenario 3

Escenario Futuro, involucra la simulación del modelo peatonal y la estimación de los flujos peatonales en años futuros considerando la peatonalización del Jr. Ica. Se establece este escenario para poder analizar el comportamiento de las personas ante modificaciones en Jr. Ica.

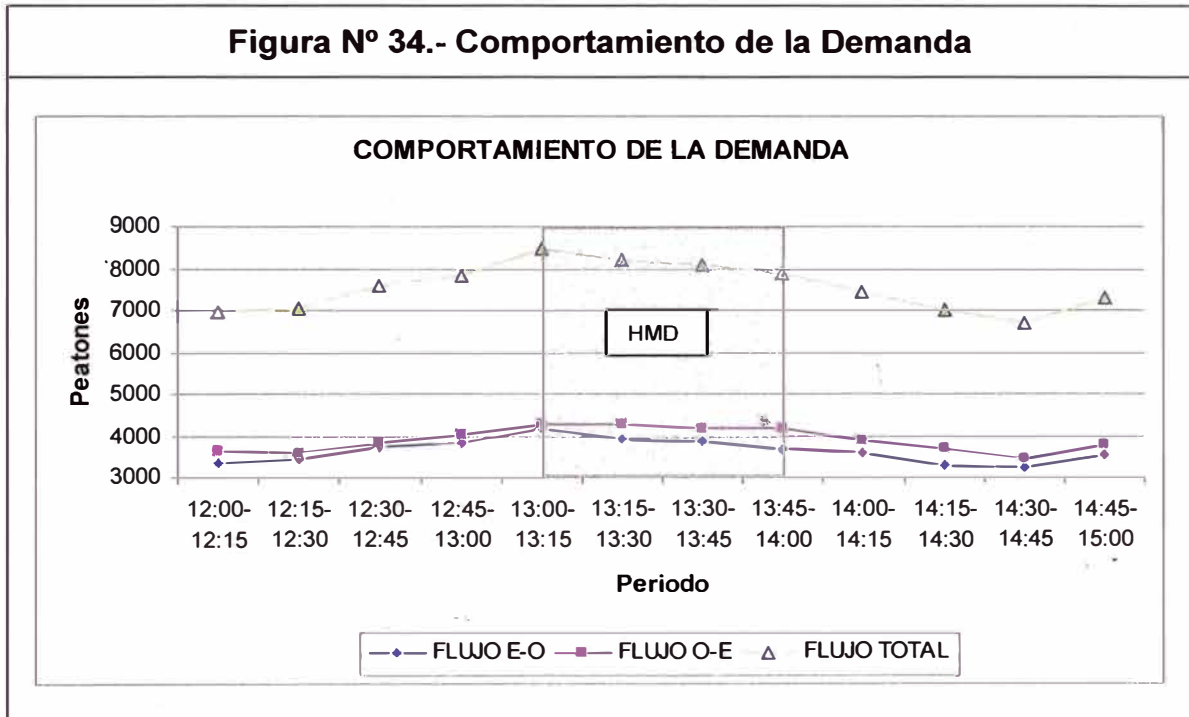
VI.5.3. Periodos de Simulación

El periodo simulado es el periodo de máxima demanda de todo el día el cual comprende de las 13 horas a las 14 horas:

- 1 hora pico de la tarde

Este alto movimiento de personas se explica debido a que en esas horas las personas salen a almorzar.

Figura N° 34.- Comportamiento de la Demanda



FUENTE: Elaboración propia

VI.6. Factores de Crecimiento para el Pronóstico

Debido a que se carecía de información referente a las variables socioeconómicas, usos de suelo y otras variables que nos permitan realizar pronósticos en el área de estudio para los diferentes años horizonte, se tomaron suposiciones sobre el crecimiento de la población y los usos de suelo basados en la experiencia del personal técnico de la municipalidad.

Para obtener un mejor resultado del comportamiento de la población en el área de estudio, se consideraron factores de crecimiento por segmentos. Estos factores fueron los siguientes.

Tabla N° 12.- Factores de Crecimiento por Segmento

N°	Segmento	2011	2016
1	TRABAJO	1.28	1.57
2	ESTUDIOS	1.18	1.40
3	NEGOCIO	1.26	1.49
4	PRIVADO	1.26	1.28
5	HOGAR	1.20	1.22

VI.7. Resultados de las Simulaciones

Los resultados de las simulaciones se presentan en este punto. Los resultados que se presentan a continuación están resumidos mediante un post-proceso realizado en una hoja de cálculo después de obtener los resultados de las corridas del modelo.

Las primeras tablas en cada escenario muestran un flujo ponderado por la distancia al cual llamaremos viajes completos equivalentes en toda la vía. Las segundas tablas contienen los flujos peatonales y los niveles de servicio de las vías por tramo y sentido.

El detalle de salidas de las simulaciones se puede apreciar en los anexos del presente documento.

VI.7.1. Resultados del Escenario 1

Para el Escenario 1, el cual consiste en el pronóstico de los flujos peatonales hasta el 2016 sin considerar proyectos en la oferta, se muestran las tablas siguientes conteniendo los resultados de la simulación.

Tabla N° 13.- Indicadores de la Av. Emancipación, Escenario 1

INDICADORES					TASAS PEATON	
AÑO	FLUJO	CAP	Q/C	NS		
2006	732	4,224	0.173	A		
2007	764	4,224	0.181	A	4.4%	
2008	798	4,224	0.189	A	4.4%	
2009	833	4,224	0.197	A	4.4%	
2010	870	4,224	0.206	A	4.4%	TASAS
2011	908	4,224	0.215	B	4.4%	4.4%
2012	922	4,224	0.218	B	1.5%	
2013	935	4,224	0.221	B	1.5%	
2014	949	4,224	0.225	B	1.5%	
2015	963	4,224	0.228	B	1.5%	TASAS
2016	978	4,224	0.231	B	1.5%	1.5%

FUENTE: Elaboración propia

Tabla N° 14.- Indicadores de Jr. Callao, Escenario 1

INDICADORES					TASAS PEATON	
AÑO	FLUJO	CAP	Q/C	NS		
2006	866	3,936	0.220	B		
2007	915	3,936	0.232	B	5.6%	
2008	967	3,936	0.246	B	5.6%	
2009	1,021	3,936	0.259	B	5.6%	
2010	1,079	3,936	0.274	B	5.6%	TASAS
2011	1,140	3,936	0.290	B	5.6%	5.6%
2012	1,156	3,936	0.294	B	1.4%	
2013	1,172	3,936	0.298	B	1.4%	
2014	1,189	3,936	0.302	B	1.4%	
2015	1,205	3,936	0.306	B	1.4%	TASAS
2016	1,222	3,936	0.311	C	1.4%	1.4%

FUENTE: Elaboración propia

Tabla N° 15.- Indicadores de Jr. Ica, Escenario 1

AÑO	INDICADORES				TASAS PEATON	
	FLUJO	CAP	Q/C	NS		
2006	60	3,936	0.015	A		
2007	77	3,936	0.020	A	27.7%	
2008	98	3,936	0.025	A	27.7%	
2009	126	3,936	0.032	A	27.7%	
2010	160	3,936	0.041	A	27.7%	TASAS
2011	205	3,936	0.052	A	27.7%	27.7%
2012	213	3,936	0.054	A	3.9%	
2013	221	3,936	0.056	A	3.9%	
2014	230	3,936	0.058	A	3.9%	
2015	239	3,936	0.061	A	3.9%	TASAS
2016	248	3,936	0.063	A	3.9%	3.9%

FUENTE: Elaboración propia

Figura N° 35.- Asignación del Flujo Peatonal a la Red Peatonal, Escenario 1



FUENTE: Elaboración propia

Tabla N° 16.- Indicadores por Tramo y Sentido de la Av. Emancipación, Escenario 1

AV. EMANCIPACION

SENTIDO 1		2006				2011				2016			
TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	130	77	2112	0.036	A	55	2112	0.026	A	21	2112	0.010	A
TRAMO2	130	19	2112	0.009	A	18	2112	0.009	A	19	2112	0.009	A
TRAMO 3	130	281	2112	0.133	A	305	2112	0.144	A	372	2112	0.176	A
TRAMO 4	130	544	2112	0.257	B	678	2112	0.321	C	706	2112	0.334	C
TRAMO 5	130	632	2112	0.299	B	784	2112	0.371	C	828	2112	0.392	C
TRAMO 6	130	571	2112	0.271	B	699	2112	0.331	C	745	2112	0.353	C
TRAMO 7	130	427	2112	0.202	A	536	2112	0.254	B	568	2112	0.269	B
TRAMO 8	200	335	2112	0.159	A	441	2112	0.209	A	481	2112	0.228	B

SENTIDO 2		2006				2011				2016			
TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	130	50	2112	0.024	A	65	2112	0.031	A	2	2112	0.001	A
TRAMO2	130	21	2112	0.010	A	20	2112	0.009	A	21	2112	0.010	A
TRAMO 3	130	334	2112	0.158	A	351	2112	0.166	A	363	2112	0.172	A
TRAMO 4	130	553	2112	0.262	B	702	2112	0.332	C	747	2112	0.354	C
TRAMO 5	130	628	2112	0.297	B	822	2112	0.389	C	906	2112	0.429	C
TRAMO 6	130	591	2112	0.280	B	740	2112	0.351	C	824	2112	0.390	C
TRAMO 7	130	493	2112	0.233	B	615	2112	0.291	B	675	2112	0.320	C
TRAMO 8	200	335	2112	0.159	A	445	2112	0.211	B	528	2112	0.250	B

Tabla N° 17.- Indicadores por Tramo y Sentido de Jr. Callao, Escenario 1

JR. CALLAO

SENTIDO 1		2006				2011				2016			
TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	150	297	1968	0.151	A	546	1968	0.277	B	531	1968	0.270	B
TRAMO2	130	788	1968	0.401	C	1064	1968	0.541	D	1223	1968	0.622	D
TRAMO 3	130	533	1968	0.271	B	715	1968	0.363	C	770	1968	0.391	C
TRAMO 4	120	583	1968	0.296	B	693	1968	0.352	C	762	1968	0.387	C
TRAMO 5	130	356	1968	0.181	A	411	1968	0.209	A	428	1968	0.217	B
TRAMO 6	130	186	1968	0.095	A	264	1968	0.134	A	276	1968	0.140	A
TRAMO 7	130	289	1968	0.147	A	384	1968	0.195	A	380	1968	0.193	A
TRAMO 8	150	421	1968	0.214	B	503	1968	0.255	B	526	1968	0.267	B

SENTIDO 2		2006				2011				2016			
TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	150	320	1968	0.162	A	514	1968	0.261	B	433	1968	0.220	B
TRAMO2	130	803	1968	0.408	C	1073	1968	0.545	D	1278	1968	0.649	D
TRAMO 3	130	541	1968	0.275	B	715	1968	0.363	C	796	1968	0.405	C
TRAMO 4	120	592	1968	0.301	B	717	1968	0.364	C	757	1968	0.385	C
TRAMO 5	130	378	1968	0.192	A	410	1968	0.208	A	446	1968	0.227	B
TRAMO 6	130	183	1968	0.093	A	257	1968	0.130	A	282	1968	0.143	A
TRAMO 7	130	279	2112	0.132	A	378	2112	0.179	A	413	2112	0.195	A
TRAMO 8	150	442	1968	0.224	B	525	1968	0.267	B	562	1968	0.285	B

Tabla N° 18.- Indicadores por Tramo y Sentido de Jr. Ica, Escenario 1

JR. ICA

SENTIDO 1

TRAMO	DIST(MET)	2006				2011				2016			
		FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	140	0	1968	0.000	A	0	1968	0.000	A	0	1968	0.000	A
TRAMO2	130	0	1968	0.000	A	0	1968	0.000	A	0	1968	0.000	A
TRAMO 3	130	10	1968	0.005	A	32	1968	0.016	A	33	1968	0.017	A
TRAMO 4	120	8	1968	0.004	A	158	1968	0.080	A	226	1968	0.115	A
TRAMO 5	130	69	1968	0.035	A	216	1968	0.110	A	277	1968	0.141	A
TRAMO 6	130	74	1968	0.038	A	217	1968	0.110	A	261	1968	0.132	A
TRAMO 7	130	41	1968	0.021	A	136	1968	0.069	A	167	1968	0.085	A
TRAMO 8	170	10	1968	0.005	A	32	1968	0.016	A	32	1968	0.016	A

SENTIDO 2

TRAMO	DIST(MET)	2006				2011				2016			
		FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	140	0	1968	0.000	A	0	1968	0.000	A	0	1968	0.000	A
TRAMO2	130	0	1968	0.000	A	0	1968	0.000	A	0	1968	0.000	A
TRAMO 3	130	10	1968	0.005	A	39	1968	0.020	A	35	1968	0.018	A
TRAMO 4	120	13	1968	0.006	A	190	1968	0.096	A	275	1968	0.140	A
TRAMO 5	130	92	1968	0.047	A	243	1968	0.123	A	277	1968	0.141	A
TRAMO 6	130	95	1968	0.048	A	241	1968	0.123	A	268	1968	0.136	A
TRAMO 7	130	61	1968	0.031	A	172	1968	0.087	A	191	1968	0.097	A
TRAMO 8	170	12	1968	0.006	A	33	1968	0.017	A	37	1968	0.019	A

VI.7.2. Resultados del Escenario 2

Para el Escenario 2, el cual consiste en el pronóstico de los flujos peatonales hasta el 2016 considerando proyectos en la oferta, se muestran las tablas siguientes conteniendo los resultados de la simulación.

Tabla N° 19.- Indicadores de la Av. Emancipación, Escenario 2

AÑO	INDICADORES				TASAS PEATON	
	FLUJO	CAP	Q/C	NS		
2006	623	6,336	0.098	A		
2007	653	6,336	0.103	A	4.8%	
2008	684	6,336	0.108	A	4.8%	
2009	717	6,336	0.113	A	4.8%	
2010	752	6,336	0.119	A	4.8%	TASAS
2011	788	6,336	0.124	A	4.8%	4.8%
2012	798	6,336	0.126	A	1.4%	
2013	810	6,336	0.128	A	1.4%	
2014	821	6,336	0.130	A	1.4%	
2015	832	6,336	0.131	A	1.4%	TASAS
2016	844	6,336	0.133	A	1.4%	1.4%

FUENTE: Elaboración propia

Tabla N° 20.- Indicadores de Jr. Callao, Escenario 2

AÑO	INDICADORES				TASAS PEATON	
	FLUJO	CAP	Q/C	NS		
2006	1,543	5,904	0.261	B		
2007	1,600	5,904	0.271	B	3.7%	
2008	1,658	5,904	0.281	B	3.7%	
2009	1,719	5,904	0.291	B	3.7%	
2010	1,781	5,904	0.302	B	3.7%	TASAS
2011	1,847	5,904	0.313	C	3.7%	3.7%
2012	1,873	5,904	0.317	C	1.4%	
2013	1,900	5,904	0.322	C	1.4%	
2014	1,927	5,904	0.326	C	1.4%	
2015	1,955	5,904	0.331	C	1.4%	TASAS
2016	1,983	5,904	0.336	C	1.4%	1.4%

FUENTE: Elaboración propia

Tabla N° 21.- Indicadores de Jr. Ica, Escenario 2

AÑO	INDICADORES				TASAS PEATON	
	FLUJO	CAP	Q/C	NS		
2006	472	5,904	0.080	A		
2007	493	5,904	0.083	A	4.4%	
2008	514	5,904	0.087	A	4.4%	
2009	537	5,904	0.091	A	4.4%	
2010	560	5,904	0.095	A	4.4%	TASAS
2011	585	5,904	0.099	A	4.4%	4.4%
2012	595	5,904	0.101	A	1.8%	
2013	606	5,904	0.103	A	1.8%	
2014	617	5,904	0.104	A	1.8%	
2015	628	5,904	0.106	A	1.8%	TASAS
2016	639	5,904	0.108	A	1.8%	1.8%

FUENTE: Elaboración propia

Figura N° 36.- Asignación del Flujo Peatonal a la Red Peatonal, Escenario 2



FUENTE: Elaboración propia

Tabla N° 22.- Indicadores por Tramo y Sentido de la Av. Emancipación, Escenario 2

AV. EMANCIPACION

SENTIDO 1		2006				2011				2016			
TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	130	121	3168	0.038	A	67	3168	0.021	A	67	3168	0.021	A
TRAMO2	130	39	3168	0.012	A	1	3168	0.000	A	1	3168	0.000	A
TRAMO 3	130	150	3168	0.048	A	221	3168	0.070	A	262	3168	0.083	A
TRAMO 4	130	535	3168	0.169	A	652	3168	0.206	A	687	3168	0.217	B
TRAMO 5	130	468	3168	0.148	A	602	3168	0.190	A	644	3168	0.203	A
TRAMO 6	130	459	3168	0.145	A	578	3168	0.182	A	620	3168	0.196	A
TRAMO 7	130	334	3168	0.105	A	387	3168	0.122	A	408	3168	0.129	A
TRAMO 8	200	332	3168	0.105	A	451	3168	0.142	A	470	3168	0.148	A

SENTIDO 2		2006				2011				2016			
TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	130	100	3168	0.032	A	77	3168	0.024	A	1	3168	0.000	A
TRAMO2	130	14	3168	0.005	A	16	3168	0.005	A	17	3168	0.005	A
TRAMO 3	130	207	3168	0.065	A	284	3168	0.090	A	313	3168	0.099	A
TRAMO 4	130	542	3168	0.171	A	674	3168	0.213	B	733	3168	0.231	B
TRAMO 5	130	460	3168	0.145	A	620	3168	0.196	A	682	3168	0.215	B
TRAMO 6	130	475	3168	0.150	A	625	3168	0.197	A	660	3168	0.208	A
TRAMO 7	130	399	3168	0.126	A	495	3168	0.156	A	515	3168	0.163	A
TRAMO 8	200	329	3168	0.104	A	476	3168	0.150	A	565	3168	0.178	A

Tabla N° 23.- Indicadores por Tramo y Sentido de Jr. Callao, Escenario 2

JR. CALLAO SENTIDO 1		2006				2011				2016			
		TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD
TRAMO 1	150	1279	2952	0.433	C	1425	2952	0.483	D	1464	2952	0.496	D
TRAMO 2	130	1189	2952	0.403	C	1468	2952	0.497	D	1575	2952	0.533	D
TRAMO 3	130	924	2952	0.313	C	1135	2952	0.384	C	1198	2952	0.406	C
TRAMO 4	120	758	2952	0.257	B	997	2952	0.338	C	1062	2952	0.360	C
TRAMO 5	130	620	2952	0.210	A	636	2952	0.215	B	656	2952	0.222	B
TRAMO 6	130	368	2952	0.125	A	462	2952	0.156	A	484	2952	0.164	A
TRAMO 7	130	492	2952	0.167	A	593	2952	0.201	A	604	2952	0.205	A
TRAMO 8	150	498	2952	0.169	A	651	2952	0.221	B	703	2952	0.238	B

SENTIDO 2		2006				2011				2016			
		TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD
TRAMO 1	150	1302	2952	0.441	D	1339	2952	0.454	D	1441	2952	0.488	D
TRAMO 2	130	1190	2952	0.403	C	1525	2952	0.517	D	1695	2952	0.574	D
TRAMO 3	130	898	2952	0.304	B	1152	2952	0.390	C	1267	2952	0.429	C
TRAMO 4	120	745	2952	0.253	B	963	2952	0.326	C	1061	2952	0.359	C
TRAMO 5	130	623	2952	0.211	B	641	2952	0.217	B	684	2952	0.232	B
TRAMO 6	130	374	2952	0.127	A	457	2952	0.155	A	506	2952	0.171	A
TRAMO 7	130	499	3168	0.158	A	611	3168	0.193	A	670	3168	0.211	B
TRAMO 8	150	507	2952	0.172	A	669	2952	0.227	B	749	2952	0.254	B

Tabla N° 24.- Indicadores por Tramo y Sentido de Jr. Ica, Escenario 2

JR. ICA

SENTIDO 1

TRAMO	DIST(MET)	2006				2011				2016			
		FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	140	249	2952	0.084	A	151	2952	0.051	A	156	2952	0.053	A
TRAMO2	130	0	2952	0.000	A	25	2952	0.009	A	24	2952	0.008	A
TRAMO 3	130	172	2952	0.058	A	176	2952	0.060	A	195	2952	0.066	A
TRAMO 4	120	176	2952	0.060	A	348	2952	0.118	A	420	2952	0.142	A
TRAMO 5	130	399	2952	0.135	A	518	2952	0.175	A	571	2952	0.194	A
TRAMO 6	130	396	2952	0.134	A	494	2952	0.167	A	530	2952	0.180	A
TRAMO 7	130	332	2952	0.112	A	418	2952	0.142	A	460	2952	0.156	A
TRAMO 8	170	131	2952	0.044	A	130	2952	0.044	A	131	2952	0.044	A

SENTIDO 2

TRAMO	DIST(MET)	2006				2011				2016			
		FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	140	213	2952	0.072	A	157	2952	0.053	A	164	2952	0.056	A
TRAMO2	130	40	2952	0.014	A	27	2952	0.009	A	25	2952	0.009	A
TRAMO 3	130	184	2952	0.062	A	224	2952	0.076	A	226	2952	0.077	A
TRAMO 4	120	222	2952	0.075	A	420	2952	0.142	A	496	2952	0.168	A
TRAMO 5	130	428	2952	0.145	A	570	2952	0.193	A	617	2952	0.209	A
TRAMO 6	130	406	2952	0.138	A	529	2952	0.179	A	584	2952	0.198	A
TRAMO 7	130	342	2952	0.116	A	460	2952	0.156	A	503	2952	0.171	A
TRAMO 8	170	141	2952	0.048	A	157	2952	0.053	A	161	2952	0.055	A

VI.7.3. Resultados del Escenario 3

Para el Escenario 3, el cual consiste en el pronóstico de los flujos peatonales hasta el 2016 considerando la peatonalización en Jr. Ica, se muestran las tablas siguientes conteniendo los resultados de la simulación.

Tabla N° 25.- Indicadores de Jr.-Ica, Escenario 3

AÑO	INDICADORES				TASAS PEATON	
	FLUJO	CAP	Q/C	NS		
2006	1,065	6,298	0.169	A		
2007	1,110	6,298	0.176	A	4.3%	
2008	1,157	6,298	0.184	A	4.3%	
2009	1,206	6,298	0.192	A	4.3%	
2010	1,258	6,298	0.200	A	4.3%	TASAS
2011	1,311	6,298	0.208	A	4.3%	4.3%
2012	1,335	6,298	0.212	B	1.8%	
2013	1,360	6,298	0.216	B	1.8%	
2014	1,385	6,298	0.220	B	1.8%	
2015	1,410	6,298	0.224	B	1.8%	TASAS
2016	1,436	6,298	0.228	B	1.8%	1.8%

FUENTE: Elaboración propia

Figura N° 37.- Asignación del Flujo Peatonal a la Red Peatonal, Escenario 3



FUENTE: Elaboración propia

Tabla N° 26.- Indicadores por Tramo y Sentido de Jr. Ica, Escenario 3

JR. ICA

SENTIDO 1		2006				2011				2016			
TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	140	203	3148.8	0.065	A	163	3148.8	0.052	A	162	3148.8	0.051	A
TRAMO2	130	246	3148.8	0.078	A	302	3148.8	0.096	A	320	3148.8	0.102	A
TRAMO 3	130	615	3148.8	0.195	A	647	3148.8	0.206	A	675	3148.8	0.214	B
TRAMO 4	120	665	3148.8	0.211	B	956	3148.8	0.304	B	1109	3148.8	0.352	C
TRAMO 5	130	793	3148.8	0.252	B	934	3148.8	0.297	B	1022	3148.8	0.325	C
TRAMO 6	130	633	3148.8	0.201	A	839	3148.8	0.266	B	919	3148.8	0.292	B
TRAMO 7	130	687	3148.8	0.218	B	853	3148.8	0.271	B	906	3148.8	0.288	B
TRAMO 8	170	400	3148.8	0.127	A	494	3148.8	0.157	A	546	3148.8	0.173	A

SENTIDO 2		2006				2011				2016			
TRAMO	DIST(MET)	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS	FLUJO	CAPACIDAD	Q/C	NS
TRAMO 1	140	210	3148.8	0.067	A	167	3148.8	0.053	A	167	3148.8	0.053	A
TRAMO2	130	269	3148.8	0.085	A	323	3148.8	0.103	A	381	3148.8	0.121	A
TRAMO 3	130	644	3148.8	0.204	A	704	3148.8	0.224	B	701	3148.8	0.223	B
TRAMO 4	120	682	3148.8	0.217	B	1014	3148.8	0.322	C	1179	3148.8	0.374	C
TRAMO 5	130	813	3148.8	0.258	B	981	3148.8	0.312	C	1077	3148.8	0.342	C
TRAMO 6	130	666	3148.8	0.211	B	878	3148.8	0.279	B	968	3148.8	0.308	B
TRAMO 7	130	719	3148.8	0.228	B	927	3148.8	0.294	B	1042	3148.8	0.331	C
TRAMO 8	170	419	3148.8	0.133	A	523	3148.8	0.166	A	564	3148.8	0.179	A

VI.8. Conclusiones del Caso de Estudio

El modelo de simulación realizado para este caso de estudio es relativamente agregado en la zona centro. Para un nivel de estudio más detallado podrían desagregarse las zonas a un nivel que se puedan agrupar dos o tres manzanas. Esto facilitaría enormemente el análisis de los resultados de simulación en las zonas de estudio.

Como se puede apreciar en el Escenario 2, Jirón Callao presenta tramos con un nivel de servicio "C" y "D". Muchas veces cuando el modelo es relativamente agregado los flujos tienden a dirigirse por la única vía posible que tienen para movilizarse. Es por esta razón que podría explicarse el nivel de servicio C o D en ciertos tramos.

De obtener el nivel de servicio "D", se puede realizar una mejora en las condiciones de la red vial peatonal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

Cuando se realizaron las diversas corridas para las simulaciones en el modelo, se presentaron los resultados de análisis en forma gráfica y en texto al especialista de la Municipalidad concluyendo que con el modelo de simulación preparado en la presente investigación se tiene mejores herramientas de decisión ante cualquier evaluación sobre el impacto en las aceras en el Centro de la Ciudad.

Obviamente, nadie puede predecir el futuro. Sin embargo, la realización de modelos para simular peatones son herramientas sumamente importantes ya que ayudan a los planificadores y diversas autoridades en el campo del transporte a tomar decisiones y realizar planes a corto y mediano plazo.

La realización de este modelo de simulación es relevante ya que se le da importancia al movimiento del peatón más que al vehículo brindando una herramienta de análisis que permite predecir el movimiento de peatones considerando patrones de comportamiento

peatonal y las características de las zonas analizadas como el uso de suelo.

Se debe tener mucha consideración en cuanto a la relación del proyecto que se requiere realizar y la magnitud o detalle del modelo de simulación, debido a que éste es otro factor que ayuda a conseguir los objetivos que se logren plantear.

El elaborar un modelo estático para realizar simulaciones de asignación del tránsito peatonal debe ser un esfuerzo multidisciplinario de tal forma que ayude a disminuir los errores y tiempos de elaboración del modelo.

2. Recomendaciones

Este modelo no utiliza otros medios de transportarse. Por lo que para mejorar un modelo de este tipo, se podría considerar el uso de la bicicleta como medio de movilización para ciertas personas y ciertos proyectos.

Se podría trabajar con diversos estratos considerando la edad, sexo y condición física de la persona, entre otros. Así mismo, los coeficientes de los valores del tiempo podrían ser mejorados tomando las variables mencionadas anteriormente.

3. Resultados respecto a los Objetivos

Presento a continuación un vistazo general de la investigación frente a los objetivos específicos propuestos.

- Asignar la matriz de viajes peatonales en la red vial urbana con el objeto de cuantificar el número de viajes y definir las medidas a tomar para la mejora de las facilidades del tránsito peatonal.

En el Capítulo VI se muestra en cuanto a resultados la asignación de matrices de viajes a la red peatonal. Asimismo, en los anexos se pueden encontrar parte de las matrices utilizadas y las salidas obtenidas de las simulaciones.

- Conocer la aplicación que puede tener la tecnología, en especial los modelos de asignación del tránsito peatonal, para la comprensión y cuantificación del comportamiento de los flujos peatonales en el entorno urbano con gran concentración de peatones.

A lo largo de la realización de los diferentes capítulos de la presente investigación se investigó sobre las aplicaciones de los modelos de simulación con la asignación del tránsito peatonal a la red vial urbana.

En la tesis, se explica y aplica la simulación del modelo.

- Diseñar un marco referencial que oriente a los diferentes investigadores, estudiantes, autoridades y personas interesadas en el uso de las Tecnologías de Información como herramienta de apoyo a las decisiones en la circulación del flujo de tránsito peatonal.

El desarrollo de la presente tesis es un marco referencial para las diversas personas interesadas en las simulaciones de peatones en la red vial urbana.

- Cuantificar los efectos e impactos del tránsito peatonal en las vías peatonales. El visualizar estos efectos, ayudará a identificar el problema, causas y efectos como por ejemplo la presencia de cuellos de botella, distancias de caminata larga y tiempos de caminata largos.

Los impactos sobre las redes peatonales se analizaron y estudiaron en el Capítulo VI sobre el caso de estudio en donde se evalúan tres escenarios distintos con modificaciones a la oferta del sistema.

BIBLIOGRAFIA

- “Information Needs To Support State and Local Transportation Decision Making into the 21st Century”, Proceedings of a Conference, Irvine, California, USA, March 1997, 92 p.
- Callan Stirzaker and Hussein Dia, “Development and Evaluation of a Traffic Micro-Simulation Model for the Western Brisbane Commuting Corridor”, Workshop on Traffic Simulation, Australia, August 2004.
- Charles Reeler and Gareth Millar, “Enhancing the Reported Statistics from Traffic Simulation Models”, Workshop on Traffic Simulation, Australia, August 2004.
- Cuong T. Nguyen, “An Interactive Decision Support System For Scheduling Fighter Pilot Training”, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, Ohio, USA, March 2002, 116 p.
- Enrique Yacuzzi & Víctor M. Rodríguez, “Diseño e Implantación de un Sistema de Apoyo a las Decisiones Basado en el Modelo de Transporte”, Universidad del CEMA, Córdoba, Argentina, Abril 2002

- Federal Highway Administration – U.S. Department of Transportation, “Guidebook on Methods to Estimate Non-Motorized Travel: Overview of Methods”, Publication No. FHWA-RD-98-165, USA, July 1999.
- Federal Highway Administration – U.S. Department of Transportation, “Guidebook on Methods to Estimate Non-Motorized Travel: Supporting Documentation”, Publication No. FHWA-RD-98-166, USA, July 1999.
- Gordon Duncan and Chris Wilson, “Input & Output Standards for Traffic Simulation”, Workshop on Traffic Simulation, Australia, August 2004.
- Inro Consultants Inc., “Manual del Usuario del EMME/2”, Release 9.3, Montreal, 2002.
- Iris V. Vega y Susana G. Martinez, “Simulación de Riesgos de Sismos en una Casa – Habitación utilizando Realidad Virtual”, Universidad de Colima, Colima, Julio 2004, 65 p.
- J. Barceló, “Dynamic Traffic Assignment and Microscopic Simulation, Workshop on Traffic Simulation”, Australia, August 2004.
- J. Barceló, “Microscopic Traffic Simulation with AIMSUN NG: From Traffic Analysis To Traffic Management”, Workshop on Traffic Simulation, Australia, August 2004.
- James R. Emshoff y Roger L. Sisson, “Computer Simulation Models”, U.S.A., 1970, 302 pag.
- Jan Bazant S., “Manual de Criterios de Diseño Urbano”, 5ta Edición, México, Trillas, 1996, 384 pag.
- Jaume Barceló and David García, “Some Issues Concerning the Use of Simulation in Advanced Traffic Management Systems”, 20th Conference

- of the Australian Road Research Board. Proceedings of the 20th ARRB Transport Research Conference, Melbourne, Australia, March 2001.
- Jay W. Forrester, "Principles of Systems", U.S.A., 2da Edición, 1973, 10 capítulos.
 - José A. Chanca y José A. Castellano, "Simulación Microscópica de Tráfico Urbano y su Aplicación en un Area de la Ciudad de Zaragoza", XXV Jornadas de Automática, Ciudad Real, Septiembre 2004.
 - Juan de Dios Ortúzar y Luis G. Willumsen, "Modelling Transport", 3ra Edición, Inglaterra, John Wiley & Sons Ltd., 2004, 499 pag.
 - Juan de Dios Ortúzar, "Modelos de Demanda de Transporte", 2da Edición, Chile, Alfaomega, 1998, 240 pag.
 - Kay Kitazaya y Michal Batty, "Pedestrian Behaviour Modeling", Centre for Advanced Spatial Analysis, London, UK, 2004.
 - Kim Thomas and Hussein Dia, "Simulation of Lane-Blocking Incidents and Probe Vehicle Data for Development of Automated Arterial Incident Detection Models", Workshop on Traffic Simulation, Australia, August 2004.
 - Lic. Félix A. Romero, "Análisis y Estudio de Técnicas de Representación para la Simulación Microscópica: El Caso del Tráfico Autónomo", Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción", Asunción, Paraguay, Diciembre 2001, 152 p.
 - Nicholas James Cottman, "Modelling the Impacts of Intelligent Transport Systems using Microscopic Traffic Simulation", Workshop on Traffic Simulation, Australia, August 2004.

- Peter Hidas, “Comparison of Lane Changing Abilities of Microsimulation Models”, Workshop on Traffic Simulation, Australia, August 2004.
- Rafael Cal y Mayor R., James Cárdenas G., “Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones”, 8ª. Edición, México, Alfaomega, 2007, 597 pag.
- Ricki G. Ingalls, “Introduction To Simulation”, Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, USA, 2002.
- Robert Schlaifer, “Analysis of Decisions Under Uncertainty”, U.S.A., 729 pag.
- Secretaría de Infraestructura del Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y Cal y Mayor y Asociados S.C., “Desarrollo de una Metodología para la Elaboración de Estudios de Demanda y de Asignación de Tránsito en Proyectos de Infraestructura Carretera”, México, 2004, 131 pag.
- Subhashini Ganaphaty, S. Narayanan and Krishnamurthy Srinivasan, “Simulation Based Decision Support For Supply Chain Logistics”, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, USA, 2003.
- Wafa Elgarah, John D. Haynes and James F. Courtney, “A Dialectical Methodology for Decision Support Systems Design”, Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island, Hawaii, January 2002.
- Winnie Daamen y Serge Hoogendoorn, “Research on pedestrian traffic flow in the Netherlands”, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, May 2003.

- Yachiyo Engineering Co., LTD & Pacific Consultants International, “Plan Maestro de Transporte Urbano para el Area Metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú”, Lima, Perú, 2005, 3 Volúmenes.

ANEXOS

Anexo N° 1.- Macros Principales que Componen el Proceso de Simulación.

Macro: ACALIBRA

```

~o|16
~?!i&32768
~o=39
~#!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
~# *****
~# ***** MODELO DE ASIGNACION PEATONAL *****
~# ***** Universidad Nacional de Ingeniería *****
~# ***** Escuela de Postgrado en Ingeniería de Sistemas *****
~# ***** Tesis de Investigación para el Grado de MSc. *****
~# ***** Elaborado por Ing. Ricardo Pezo Romero *****
~#
~# *****
~#
~# Esta macro ingresa la información necesaria para iniciar el
~# proceso de calibración.
~#
~# *****
~# Este programa debe comenzar en el menú principal
~#
~# Ejecución de programa : ~<acalibra
~#
~# *****
~# DEFINICION DE LAS VARIABLES DE ENLACES DE USUARIO
~# En todo los escenarios, las variables de red ul1,ul2,ul3
~# deben ser reservados para el proceso de simulación.
~#
~# CREACION DE VARIABLES
~# Se deben crear las variables de enlace
~# @vol1 = Flujo del estrato de demanda 1
~# @vol2 = Flujo del estrato de demanda 2
~# @vol3 = Flujo del estrato de demanda 3
~# @vol4 = Flujo del estrato de demanda 4
~# @vol5 = Flujo del estrato de demanda 5
~# @caphr = Capacidad de la red en horas

```

```

~# @capmi = Capacidad de la red en minutos
~#
~#
~# DEFINICION DE MATRICES
~# En todo los escenarios, la definicion de archivos de entrada
~# de las matrices deben tener la siguiente forma:
~# Matriz de entrada = mat<periodo>.txt
~# p.e. mat06.txt matriz de demanda.
~# En este archivo deben estar todas las matrices principales.
~# Las matrices del mf101 al mf105 estan reservados para el
~# ingreso de las matrices principales de demanda.
~#=====
~# PARAMETRO DE PROGRAMA PRINCIPAL
~#=====
reports=?
batchout=?
~#=====
~# Definicion de Variables:
~#           s = Nro de Escenario
~#=====
s=1000
~#=====
~# INICIALIZA VARIABLES
~#=====
~+|2.41|1|y|@vol1|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol2|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol3|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol4|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol5|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol6|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol7|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol8|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol9|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol10|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol11|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol12|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol13|n|0||all|4|q
~#=====
~#=====
~# INGRESA VARIABLES
~#=====
~# -----
~# Inicializa el Modelo
~# -----
~+|4.12|1|y|q           / Elimina funciones
~+|2.31|1|y|q           / Elimina penalizacion de giros
~+|2.12|2|1|y|q        / Elimina red peatonal
~# -----
~# Carga la red peatonal (redpeaton.txt)
~# -----
batchin=input\redpeaton.txt
~+|2.11|1|c
batchin=
~# -----
~# Carga los giros penalizados (tpfes.txt)
~# -----
batchin=input\tpf.txt
~+|2.31|2|1|c|q

```

```

batchin=
~# -----
~# Carga las funciones de VDF calibradas (vdfes.txt)
~# -----
batchin=input\vdf.txt
~+|4.11|1|c
batchin=
~# -----
~# Ingresa Volumen Observado
~# -----
~+|2.41|1|y|@volca|n|0||all|4|q
batchin=input\volcamto.txt
~+|2.41|3|@volca|n|all||n|y|q
batchin=
~# -----
~# Ingresa Velocidad Observada
~# -----
~+|2.41|1|y|@velca|n|0||all|4|q
batchin=input\velcam.txt
~+|2.41|3|@velca|n|all||n|y|q
batchin=
~# -----
~# Ingresa capacidad de la red (peaton/hr/met)
~# -----
~+|2.41|1|y|@caphr|n|0||all|4|q
batchin=input\caphrmet.txt
~+|2.41|3|@caphr|n|all||n|y|q
batchin=
~# -----
~# Ingresa capacidad de la red (peaton/min/met)
~# -----
~+|2.41|1|y|@capmi|n|0||all|4|q
batchin=input\capminmet.txt
~+|2.41|3|@capmi|n|all||n|y|q
batchin=
~# -----
~# Copia el atributo de capacidad (peaton/hr/met) @caphr al ul3
~# -----
~+|2.41|1|y|ul3|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|ul3|@caphr||all|4|q
~# -----
~# Borra matrices
~# -----
~<delmat 101 105 /Elimina matrices
~# -----
~# Carga matrices (mat06.txt) (101 - 105)
~# -----
batchin=input\mat06.txt
~+|3.11|1|c
batchin=
~# =====
~# -----
~# -----
~# -----
~# Descripcion de Factores del Dia
~# r1= Factor de Hora Punta de la Tarde
~#
~# -----

```

```

~+|~r1=0.3
~# -----
~# Multiplica por los factores para convertir a Matrices de Hora
Punta
~# -----
~+|3.21|1|y|mf101|n|mf101*%r1%|||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf102|n|mf102*%r1%|||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf103|n|mf103*%r1%|||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf104|n|mf104*%r1%|||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf105|n|mf105*%r1%|||n|1|q
~# -----
~# suma matrices.
~# -----
~<suma5 106 101 102 103 104 105 camto Total_Viajes_Peaton
~# -----
~#=====
~# ASIGNACION PARA CALIBRAR EN ESCENARIO 1001
~#=====
~#
~#           1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
~<asigna_calibra a a a a a 101 102 103 104 105 27 28 /Asignacion
Multiclase para Calibrar
~#=====
~# -----
batchin=
batchout=
reports=
s=1000
~#=====
~/.... FIN DEL PROCESO
~#=====
~o=2

```

Macro: ASIGNA_CALIBRA

```

~#=====
~# Esta macro realiza asignacion multiclase por tiempos
~# y calcula las matrices de TIEMPO Y KM C/S PROYECTO
~# puede utilizarse sin proyecto o con proyecto
~#=====
~# %1% modo de simulacion
~# %2% matriz a asignar en el modo %1%
~# %3% matriz generada para tiempos de viaje en modo %1%
~# %4% matriz generada para km recorridos en modo %1%
~#=====
5.11
1
~+|~x=%q%|~?x=2|2
~+|5|%1%||@vol1|n| /CG y vol
5
mf%6%

```

```
mf%11%
y
Tmpto
Matriz de tiempos de viaje autos
~+|~x=%q%|~?x=1|y|0
```

```
%2%
~+||@vol2|n|      /CG y vol
mf%7%
```

```
%3%
~+||@vol3|n|      /CG y vol
mf%8%
```

```
%4%
~+||@vol4|n|      /CG y vol
mf%9%
```

```
%5%
~+||@vol5|n|      /CG y vol
mf%10%
```

```
150
.1
.1
5.21
1
c
```

Macro: AMODEL_PEATON

```

~#~o|16
~#~?!i&32768
~#~o=39
~#!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
~# *****
~# ***** MODELO DE ASIGNACION PEATONAL *****
~# ***** Universidad Nacional de Ingenieria *****
~# ***** Escuela de Postgrado en Ingenieria de Sistemas *****
~# ***** Tesis de Investigacion para el Grado de MSc. *****
~# ***** Elaborado por Ing. Ricardo Pezo Romero *****
~#
~# *****
~#
~# Esta macro ingresa la informacion necesaria para inciar el
~# proceso de simulacion.
~#
~# *****
~# Este programa debe comenzar en el menu principal
~#
~# Ejecucion de programa : ~<amodel_peaton
~#
~# *****
~# DEFINICION DE LAS VARIABLES DE ENLACES DE USUARIO
~# En todo los escenarios, las variables de red ul1,ul2,ul3
~# deben ser reservados para el proceso de simulacion.
~#
~# CREACION DE VARIABLES
~# Se deben crear las variables de enlace
~# Se deben crear las variables de enlace
~# @vol1 = Flujo del estrato de demanda 1
~# @vol2 = Flujo del estrato de demanda 2
~# @vol3 = Flujo del estrato de demanda 3
~# @vol4 = Flujo del estrato de demanda 4
~# @vol5 = Flujo del estrato de demanda 5
~# @caphr = Capacidad de la red en horas
~# @capmi = Capacidad de la red en minutos
~# @redln = 1 si el enlace es peatonalizacion y 0 caso contrario
~#
~#
~# DEFINICION DE MATRICES
~# En todo los escenarios, la definicion de archivos de entrada
~# de las matrices deben tener la siguiente forma:
~# Matriz de entrada = mat<periodo>.txt
~# p.e. mat06.txt matriz de demanda.
~# En este archivo deben estar todas las matrices principales.
~# Las matrices del mf101 al mf105 estan reservados para el
~# ingreso de las matrices principales de demanda.
~# =====
~/... MACRO PRINCIPAL - INICIA EL PROCESO
~# =====
~# -----
~# %1% - Realiza Pronostico o Situacion Base (1, 0)
~#     1 = Realiza Pronostico
~#     0 = Realiza Base

```



```

~# %2% - Proyecto a evaluar (0, 1, 2)
~#      0 = No se realizan proyectos
~#      1 = Ampliacion de la red peatonal
~#      2 = Peatonalizacion
~# %3% - Modo de la red a simular (a, b)
~#
~# -----
~# Utilizado para Base
~# -----
~#~<ampeatonp 0 2 a / Simulacion de Situacion Base
~# -----
~# Utilizado para Pronostico
~# -----
~#~<ampeatonp 1 2 a / Simulacion para Pronosticos
~#=====
~/.... FIN DEL PROCESO
~#=====
~#~o=2

```

Macro: AMPEATON

```

~o|16
~?!i&32768
~o=39
~#!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
~# *****
~# ***** MODELO DE ASIGNACION PEATONAL *****
~# ***** Universidad Nacional de Ingenieria *****
~# ***** Escuela de Postgrado en Ingenieria de Sistemas *****
~# ***** Tesis de Investigacion para el Grado de MSc. *****
~# ***** Elaborado por Ing. Ricardo Pezo Romero *****
~#
~# *****
~#
~# Esta macro ingresa la informacion necesaria para iniciar el
~# proceso de simulacion.
~#
~# *****
~# Este programa debe comenzar en el menu principal
~#
~# Ejecucion de programa : ~<ampeaton
~#
~# *****
~# DEFINICION DE LAS VARIABLES DE ENLACES DE USUARIO
~# En todo los escenarios, las variables de red u11,u12,u13
~# deben ser reservados para el proceso de simulacion.
~#
~# CREACION DE VARIABLES
~# Se deben crear las variables de enlace
~# Se deben crear las variables de enlace
~# @vol1 = Flujo del estrato de demanda 1
~# @vol2 = Flujo del estrato de demanda 2
~# @vol3 = Flujo del estrato de demanda 3

```

```

~# @vol4 = Flujo del estrato de demanda 4
~# @vol5 = Flujo del estrato de demanda 5
~# @caphr = Capacidad de la red en horas
~# @capmi = Capacidad de la red en minutos
~# @redln = 1 si el enlace es peatonalizacion y 0 caso contrario
~#
~#
~#
~# DEFINICION DE MATRICES
~# En todo los escenarios, la definicion de archivos de entrada
~# de las matrices deben tener la siguiente forma:
~# Matriz de entrada = mat<periodo>.txt
~# p.e. mat06.txt matriz de demanda.
~# En este archivo deben estar todas las matrices principales.
~# Las matrices del mfl01 al mfl05 estan reservados para el
~# ingreso de las matrices principales de demanda.
~# -----
~# Descripcion de parametros de AMPEATONP
~# -----
~# %1% Modo de la red a simular
~# %2% Periodo de modelacion 2006=06
~# %3% Estrato a modelar (camtr,cames,camne,campr,camot)
~# %4% Matriz viajes captados
~# %5% Matriz viajes no captados
~# %6% Matriz viajes captados totales
~# %7% Matriz viajes no captados totales
~# %8% Costo de $/km - segun tipo de peaton
~# %9% Proyecto a simular
~# %10% Tasa de ocupacion o tasa de pelotones
~# %11% Tipo de escenario a simular (al,me,ba)
~#=====
~# PARAMETRO DE PROGRAMA PRINCIPAL
~#=====
reports=?
batchout=?
~#=====
~# Definicion de Variables:
~#           s = Nro de Escenario
~#           ~z = Año de Modelacion
~#           ~t1 = Tipo de Escenario (al,me,ba)
~#=====
s=2000
~z=06
~t1=me
~:pronostico
~#=====
~# INICIALIZA VARIABLES
~#=====
~+|2.41|1|y|@vol1|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol2|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol3|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol4|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol5|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol6|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol7|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol8|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol9|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@vol10|n|0||all|4|q

```

```

~+|2.41|1|y|@voll1|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@voll2|n|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|@voll3|n|0||all|4|q
~# -----
~# Inicializa el Modelo
~# -----
~+|4.12|1|y|q / Elimina funciones
~+|2.31|1|y|q / Elimina penalizacion de giros
~+|2.12|2|1|y|q / Elimina red peatonal
~# -----
~# Carga la red peatonal (redpeaton.txt)
~# -----
batchin=input\redpeaton.txt
~+|2.11|1|c
batchin=
~# -----
~# Ingresa la red @redln (para potenciales) a simular o proyecto a
evaluar
~# -----
~+|2.41|1|y|@redln|n|0||all|4|q
batchin=input\redl%2%.txt
~+|2.41|3|@redln|n|all||n|y|q
batchin=
~# -----
~# Carga los giros penalizados (tpf.txt)
~# -----
batchin=input\tpf.txt
~+|2.31|2|1|c|q
batchin=
~# -----
~# Carga las funciones VDF calibradas (vdf.txt)
~# -----
batchin=input\vdf.txt
~+|4.11|1|c
batchin=
~# -----
~# Ingresa capacidad de la red (peaton/hr/met)
~# -----
~+|2.41|1|y|@caphr|n|0||all|4|q
batchin=input\caphrmet.txt
~+|2.41|3|@caphr|n|all||n|y|q
batchin=
~# -----
~# Ingresa capacidad de la red (peaton/min/met)
~# -----
~+|2.41|1|y|@capmi|n|0||all|4|q
batchin=input\capminmet.txt
~+|2.41|3|@capmi|n|all||n|y|q
batchin=
~# -----
~# Copia el atributo de capacidad (peaton/hr/met) @caphr al ul3
~# -----
~+|2.41|1|y|ul3|0||all|4|q
~+|2.41|1|y|ul3|@caphr||all|4|q
~# -----
~# Borra matrices
~# -----
~<delmat 101 105 /Elimina matrices

```

```

~# -----
~# Carga matrices (mat06.txt) (101 - 105)
~# -----
batchin=input\mat06.txt
~+|3.11|1|c
batchin=
~# -----
~# -----
~# -----
~# Descripcion de Factores del Dia
~# r1= Factor de Hora Punta de la Tarde
~#
~# -----
~+|~r1=0.3
~# -----
~# Multiplica por los factores para convertir a Matrices de Hora
Punta
~# -----
~+|3.21|1|y|mf101|n|mf101*%r1%|||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf102|n|mf102*%r1%|||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf103|n|mf103*%r1%|||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf104|n|mf104*%r1%|||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf105|n|mf105*%r1%|||n|1|q
~#=====
~# Parametros de Decision para Pronostico
~# (Se activa si pronostico es 1 caso contrario es 0)
~#=====
~y=%1%
~?!y=1
~$>mbase
~#=====
~# PRONOSTICOS FUTUROS
~#=====
~# Descripcion de los factores
~# r11= Trabajo
~# r12= Estudios
~# r13= Negocios
~# r14= Privado
~# r15= Otros
~# -----
~# Definicion de la variable ~t1=# para la eleccion del tipo de
escenario.
~# Se selecciona entre el escenario medio, alto y bajo
~# -----
~?!t1=al
~$>alto
~?z=11
~+|~r11=1.32|~r12=1.17|~r13=1.35|~r14=1.35|~r15=1.30
~?z=16
~+|~r11=1.66|~r12=1.48|~r13=1.63|~r14=1.63|~r15=1.32
~:alto
~?!t1=me
~$>medio
~?z=11
~+|~r11=1.28|~r12=1.17|~r13=1.26|~r14=1.26|~r15=1.20
~?z=16
~+|~r11=1.57|~r12=1.40|~r13=1.49|~r14=1.28|~r15=1.22
~:medio

```

```

~?!t1=ba
~$>bajo
~?z=11
~+|~r11=1.24|~r12=1.17|~r13=1.17|~r14=1.17|~r15=1.17
~?z=16
~+|~r11=1.48|~r12=1.32|~r13=1.35|~r14=1.35|~r15=1.19
~:bajo
~# -----
~# multiplica por los factores
~# -----
~+|3.21|1|y|mf101|n|mf101*%r11%||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf102|n|mf102*%r12%||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf103|n|mf103*%r13%||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf104|n|mf104*%r14%||n|1|q
~+|3.21|1|y|mf105|n|mf105*%r15%||n|1|q
~#
~:mbase
~#=====
~# -----
~# Inicializa matriz mf106 y guarda la suma de matrices mf101 al
mf105
~# -----
~# mf106 Sumatoria de matrices de caminata de la mf101 a la mf105
~#
~# -----
~# -----
~# Caminata
~# -----
~<suma5 106 101 102 103 104 105 camto Total_Viajes_Caminata
~# -----
~# -----
~# -----
~#=====
~# ASIGNACION DE REDES POR ESTRATO
~#=====
~# ASIGNACION DE PEATONES
~#=====
~<amodel_pe%2% %3% 20%z% camtr 801 821 501 521 0.0 %2% 1.0 %t1%
/PEATON Estrato 1 (trabajo)
~<amodel_pe%2% %3% 20%z% cames 801 821 502 522 0.0 %2% 1.0 %t1%
/PEATON Estrato 2 (estudio)
~<amodel_pe%2% %3% 20%z% camne 801 821 503 523 0.0 %2% 1.0 %t1%
/PEATON Estrato 3 (negocio)
~<amodel_pe%2% %3% 20%z% campr 801 821 504 524 0.0 %2% 1.0 %t1%
/PEATON Estrato 4 (privado)
~<amodel_pe%2% %3% 20%z% camot 801 821 505 525 0.0 %2% 1.0 %t1%
/PEATON Estrato 5 (otros)
~# -----
~# -----
~# Utilizan el Proyecto en Peaton
~# -----
~<suma5 11 501 502 503 504 505 pe_%2% Peaton_usan_proyecto_%2%
/ (peaton)
~# -----
~# No utilizan el Proyecto en Peaton
~# -----
~<suma5 911 521 522 523 524 525 pe_%2% Peaton_no_usan_proyecto_%2%
/ (peaton)

```

```

~# -----
~#=====
~# ASIGNA CAPTACION TOTAL EN LA RED (y select link)
~#=====
~#~+|2.41|1|y|@slink|n|0||all|4|q
~#batchin=input\slinkp%1%.txt
~#~+|2.41|3|@slink|n|all||n|y|q
~#-----
~<delesc100 2600 2600
~#-----
~<copesc 2000 2600 Escenario%2%_Pronostico_Peaton_Con_Proyecto
s=2600
~x=%2%
~?x=0
~<quetzal11 a b 11 911 1 97 /Peaton
~?x=1
~<quetzal11 a b 11 911 1 97 /Peaton
~?x=2
~<quetzal11 a c 11 911 1 97 /Peaton
batchout=output\pvol_pe_20%z%_p%2%_t1%.txt
~+|2.41|1|n|volau+timau+length+@redln||@redln=1||3|q
batchout=
batchout=output\pcap_pe_20%z%_p%2%_t1%.txt
~+|2.41|1|n|volau/ul3||@redln=1||3|q
batchout=
~#-----
~#-----
~# -----
s=2000
~# -----
~?!y=1
~$>mbasel
~z+5
~?!z>16
~$pronostico
~:mbasel
~#=====
batchin=
batchout=
reports=
~#=====
~/.... FIN DEL PROCESO PERIODO 20%z%
~#=====
~o=2

```

Macro: AMPEATONP

```

~#
~#=====
~#!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
~# *****
~# ***** MODELO DE ASIGNACION PEATONAL *****
~# ***** Universidad Nacional de Ingenieria *****
~# ***** Escuela de Postgrado en Ingenieria de Sistemas *****
~# ***** Tesis de Investigacion para el Grado de MSc. *****
~# ***** Elaborado por Ing. Ricardo Pezo Romero *****
~#
~#=====
~# Esta macro es invocado desde AMPEATONP
~#=====
~#
~# %1% Modo de la red a simular
~# %2% Periodo de modelacion 2006=06
~# %3% Estrato a modelar (camtr,cames,camne,campr,camot)
~# %4% Matriz viajes captados
~# %5% Matriz viajes no captados
~# %6% Matriz viajes captados totales
~# %7% Matriz viajes no captados totales
~# %8% Costo de $/km - segun tipo de peaton
~# %9% Proyecto a simular
~# %10% Tasa de ocupacion o tasa de pelotones
~# %11% Tipo de escenario a simular (al,me,ba)
~#=====
~# Inicio de Simulacion por Estratos
~#=====
~# t1= blanco
~# t2= estrato de la demanda
~# t3= Asignacion multiclase con proyecto calculo de matrices
~# t4= Asignacion multiclase que eligieron el proyecto
~# t5= Asignacion multiclase para calculo de potenciales
~# t6= asignacion multiclase sin proyecto
~# t7= blanco
~# t8= Asigna potenciales modificados
~# z= numero de matriz del estrato evaluado
~# y= Proyecto a simular
~# r1= parametro de dispersion de funciones de utilidad
~# r2= Costo de $/km - segun tipo de peaton
~# r3= Factor de tiempos de cames, camne, campr y camot con respecto
a camtr
~# r3=1.1 para cames; r3= 1.0 para camne; r3= 1.2 para campr
~# r3=1.1 para camot (se usan si no se sabe)
~# @voll,...,@vol5 = Campos para grabar volumen
~# r4= Tasa de ocupacion o tasa de pelotones
~#=====
~# Coeficientes de la funcion de utilidad por estrato y longitud de
viaje
~#=====
~# r11=Coeficiente de tiempo por tipo de peaton
~# r12=Coeficiente de Costos por tipo de peaton
~# r13=Constante de la funcion de utilidad
~# r14=VOT por segmento utilizado
~#

```

```

~#=====
~# Inicializa parametros por tipo de vehiculo
~#=====
~t2=%3%
~/... Iniciando tipo de peaton
~?!t2=camtr
~$>sigue11
~t3=%1% c c c c 101 102 103 104 105 29 30
~t4=%1% c c c c c 87 88 102 103 104 105
~t5=%1% c c c c 101 102 103 104 105 300
~t6=%1% c c c c 101 102 103 104 105 27 28
~t8=%1% c c c c c 300 301 102 103 104 105
~+|~z=101|~r1=0.9|~r2=%8%|~r3=1.0|~r4=%10%
~+|~r11=-0.020|~r12=-0.013|~r13=0.0|~r14=1.49
~:sigue11
~?!t2=cames
~$>sigue12
~t3=%1% c c c c 102 101 103 104 105 29 30
~t4=%1% c c c c c 87 88 101 103 104 105
~t5=%1% c c c c 102 101 103 104 105 300
~t6=%1% c c c c 102 101 103 104 105 27 28
~t8=%1% c c c c c 300 301 101 103 104 105
~+|~z=102|~r1=0.9|~r2=%8%|~r3=1.1|~r4=%10%
~+|~r11=-0.020|~r12=-0.013|~r13=0.0|~r14=1.49
~:sigue12
~?!t2=camne
~$>sigue21
~t3=%1% c c c c 103 101 102 104 105 29 30
~t4=%1% c c c c c 87 88 101 102 104 105
~t5=%1% c c c c 103 101 102 104 105 300
~t6=%1% c c c c 103 101 102 104 105 27 28
~t8=%1% c c c c c 300 301 101 102 104 105
~+|~z=103|~r1=0.9|~r2=%8%|~r3=1.0|~r4=%10%
~+|~r11=-0.020|~r12=-0.013|~r13=0.0|~r14=1.49
~:sigue21
~?!t2=campr
~$>sigue22
~t3=%1% c c c c 104 101 102 103 105 29 30
~t4=%1% c c c c c 87 88 101 102 103 105
~t5=%1% c c c c 104 101 102 103 105 300
~t6=%1% c c c c 104 101 102 103 105 27 28
~t8=%1% c c c c c 300 301 101 102 103 105
~+|~z=104|~r1=0.9|~r2=%8%|~r3=1.2|~r4=%10%
~+|~r11=-0.020|~r12=-0.013|~r13=0.0|~r14=1.49
~:sigue22
~?!t2=camot
~$>sigue31
~t3=%1% c c c c 105 101 102 103 104 29 30
~t4=%1% c c c c c 87 88 101 102 103 104
~t5=%1% c c c c 105 101 102 103 104 300
~t6=%1% c c c c 105 101 102 103 104 27 28
~t8=%1% c c c c c 300 301 101 102 103 104
~+|~z=105|~r1=0.9|~r2=%8%|~r3=1.1|~r4=%10%
~+|~r11=-0.026|~r12=-0.024|~r13=0.0|~r14=1.10
~:sigue31
~#=====
~# SIMULACION SITUACION ACTUAL
~#=====

```



```

~#=====
~# Modifica los atributos de UL3 Capacidad de la Red del Proyecto
~# Porcentaje de disminucion (1.00=P1, 1.05=P2, 1.10=P3)
~# (Situacion Actual)
~#=====
~y=%9%
~?y=0
~+|2.41|1|y|ul3|ul3/1.00||vdf=30||4|q
~?y=1
~+|2.41|1|y|ul3|ul3/1.05||vdf=30||4|q
~?y=2
~+|2.41|1|y|ul3|ul3/1.10||vdf=30||4|q
~#=====
~# Modifica los atributos de VDF en la Red para situacion actual
~#=====
batchin=input\mrvdff%9%.txt
~+|2.11|1|c
batchin=
~#=====
~# Asignacion multiclase "sin proyecto" mf27=tiempo CG, mf28=costo
~#=====
~<quetzal1 %t6% / Asignacion sin proyecto
~#=====
~#
~# SIMULACION SITUACION FUTURA
~#=====
~#
~# Modifica los atributos de VDF en la Red para situacion futura
~#=====
batchin=input\mrvdff%9%.txt
~+|2.11|1|c
batchin=
~#=====
~# Modifica los atributos de UL3 Capacidad de la Red del Proyecto
~# Porcentaje de aumento (1.00=P1, 1.05=P2, 1.10=P3)
~# (Situacion Futura)
~#=====
~y=%9%
~?y=0
~+|2.41|1|y|ul3|ul3*1.00||vdf=30||4|q
~?y=1
~+|2.41|1|y|ul3|ul3*1.05||vdf=30||4|q
~?y=2
~+|2.41|1|y|ul3|ul3*1.10||vdf=30||4|q
~#=====
~#Asig. multiclase "con proyecto" mf29=tiempo CG, mf30=costoIn
~#=====
~<quetzal4 %t3% / Asignacion con proyecto
~#=====
~# Diferencia de tiempos entre sin y con proyectos
~#=====
~<resta2 25 27 29 dcg diferencia_tiempos
~#=====
~# Estimacion de potenciales
~#=====
~<quetzal2 %t5%
~#=====

```

```

~#...Potencial restriccion dif. tiempo >1.0 min.
~#=====
~+|3.21|1|y|mf300|n|mf300*(mf25>0.0)|n|1|q
~<resta2 301 %z% 300
~#=====
~# asigna los potenciales modificados
~#=====
~<quetzal3 %t8%
~#=====
~# CALCULO DE UTILIDADES VIAJES
~#=====
~# Sin Proy tiempo y costo y 0 es factor tiempo
~# Con Proy tiempo y costo y r3 es factor tiempo
~<utilidad 46 27 %r11% 28 %r12% 0 %r3% / Sin proyecto
~<utilidad 47 29 %r11% 30 %r12% %r13% %r3% / Con proyecto
~#=====
~# Modelo de eleccion de caminos (usan=%4% nousan=%5%)
~#=====
~<logitt %4% %z% %r1% 46 47 311 %5% %r2% %x%
~#=====
~# Asigna que realmente usan
~#=====
~<copiamat 87 %4% /si utilizan proyecto
~<copiamat 88 %5% /no utiliza el proyecto
~#=====
~# COPIA las matrices mf87-> mf501 y mf88->mf521 para reasignar
~#=====
~<copiamat %6% 87 usan utilizan_proyecto
~<copiamat %7% 88 nous noutilizan_proyecto
~#=====
~<quetzal3 %t4%
~#=====
~#=====
batchout=
reports=
~#*****
~# FIN DEL PROCEDIMIENTO
~#*****

```

Anexo N° 2.- Formato de Ingreso de la Red Peatonal.

```

c Emme Module:    2.14(v9.04)   Date: 06-10-11 10:31   User:
E428/CMA/2....rapr
c Project:        Proyecto Modelo de Asignacion de Transito Peatonal
c Scenario 1001:  Calibracion del Escenario Base
t nodes init
a*  453 -77019.00 -12047.50 0 0 0 0453
a*  454 -77017.80 -12059.10 0 0 0 0454
a*  314 -77028.18 -12057.30 0 0 0 0314
a*  321 -77032.60 -12041.10 0 0 0 0321
a*  404 -77033.00 -12040.70 0 0 0 0404
a   1001 -77034.78 -12050.97 0 0 0 1001
a   1049 -77034.07 -12049.99 0 0 0 1049
a   1002 -77029.75 -12043.98 0 0 0 1002
a   1026 -77030.84 -12043.49 0 0 0 1026
a   1035 -77033.80 -12051.69 0 0 0 1035

t links init
a   300   1018   0.10 abc           1 4.0   1           0           0           0
a   300   1089   0.13 abc           1 4.0   1           0           0          10000
a   301   1079   0.07 abc           1 4.0   1           0           0           0
a   301   1080   0.07 abc           1 4.0   1           0           0           0
a   302   1076   0.03 abc           1 4.0   1           0           0          10000
a   303   1065   0.09 abc           1 4.0   1           0           0          10000
a  1226   1087   0.05 abc           2 1.5  24           0           0           4920
a  1226   1100   0.32 abc           2 1.5  24           0           0           4920
a  1226   1225   0.46 abc           2 1.5  24           0           0           4920
a  1227   1025   0.07 abc           2 1.5  24           0           0           4920
a  1227   1050   0.13 abc           2 1.5  24           0           0           4920
a  1228   1028   0.06 abc           2 1.5  24           0           0           4920
a  1228   1051   0.13 abc           2 1.5  24           0           0           4920

```

Anexo N° 3.- Formato de Ingreso de las Matrices de Viaje.

```

c Emme Module:    3.14(v9.06)   Date: 07-02-08 00:01   User:
E428/CMA/2....rapr
c Project:        MODELO DE ASIGNACION DE TRANSITO PEATONAL
t matrices
a matrix=mf101 camtr           0 Caminata Trabajo Dia
300  300:15.67   301:12.64   302:  20   303:  6.6   304:  5.91
300  305:49.16   306:17.81   307:26.42   308:44.34   309: 31.9
300  310:17.83   311:22.02   314:27.09   342:  51
301  300: 1.28   301:27.23   302:43.07   303:14.22   304:12.74
301  305:14.34   306: 1.46   307: 2.16   308:12.93   309:  9.3
301  310:38.41   311:47.42   312:  2.2   313:  2.73   314:  7.9
301  315: 6.08   333:  5.06   340: 17.4

```

302	300: 2.03	301:43.07	302:68.13	303: 22.5	304:20.14
302	305:22.68	306: 2.31	307: 3.42	308:20.45	309:14.72
302	310:60.75	311:75.01	312: 3.47	313: 4.32	314: 12.5
302	315: 9.61	333: 8	340:27.52		

Anexo N° 4.- Salidas de las Simulaciones.

Escenario 1 - 2006

inode	jnode	volau	ul3	result
1005	1053	76.5152	2112	.03623
1006	1046	334.743	2112	.1585
1009	1063	0	1968	0
1010	1069	11.8277	1968	.00601
1011	1076	297.101	1968	.15097
1012	1070	441.627	1968	.2244
1016	1046	426.909	2112	.20213
1016	1056	590.713	2112	.27969
1027	1054	334.093	2112	.15819
1027	1055	543.591	2112	.25738
1046	1006	335.033	2112	.15863
1046	1016	492.583	2112	.23323
1053	1005	50.0232	2112	.02369
1053	1054	19.3306	2112	.00915
1054	1027	280.855	2112	.13298
1054	1053	20.6977	2112	.0098
1055	1027	552.659	2112	.26168
1055	1056	631.775	2112	.29914
1056	1016	571.427	2112	.27056
1056	1055	628.191	2112	.29744
1063	1009	0	1968	0
1063	1064	0	1968	0
1064	1063	0	1968	0
1064	1065	10.041	1968	.0051
1065	1064	10.2424	1968	.0052
1065	1066	8.29797	1968	.00422
1066	1065	12.7703	1968	.00649
1066	1067	69.1604	1968	.03514
1067	1066	92.4884	1968	.047
1067	1068	73.7915	1968	.0375
1068	1067	94.8343	1968	.04819
1068	1069	41.0095	1968	.02084
1069	1010	10.3412	1968	.00525
1069	1068	61.492	1968	.03125
1070	1012	421.278	1968	.21406
1070	1071	279.217	2112	.1322
1071	1070	289.269	1968	.14699
1071	1072	183.068	1968	.09302
1072	1071	186.015	1968	.09452
1072	1073	378.169	1968	.19216
1073	1072	355.976	1968	.18088
1073	1074	592.047	1968	.30084
1074	1073	583.247	1968	.29637

1074	1075	540.681	1968	.27474
1075	1074	533.194	1968	.27093
1075	1076	802.647	1968	.40785
1076	1011	319.658	1968	.16243
1076	1075	788.207	1968	.40051

Escenario 2 - 2006

inode	jnode	volau	u13	result
1005	1053	121.188	3168	.03825
1006	1046	329.016	3168	.10386
1009	1063	249.342	2952	.08447
1010	1069	140.92	2952	.04774
1011	1076	1279.26	2952	.43335
1012	1070	506.805	2952	.17168
1016	1046	334.185	3168	.10549
1016	1056	475.069	3168	.14996
1027	1054	207.474	3168	.06549
1027	1055	534.906	3168	.16885
1046	1006	331.788	3168	.10473
1046	1016	399.407	3168	.12608
1053	1005	99.9108	3168	.03154
1053	1054	38.6812	3168	.01221
1054	1027	150.467	3168	.0475
1054	1053	14.4196	3168	.00455
1055	1027	542.261	3168	.17117
1055	1056	468.411	3168	.14786
1056	1016	458.562	3168	.14475
1056	1055	459.575	3168	.14507
1063	1009	213.181	2952	.07222
1063	1064	0	2952	0
1064	1063	39.9968	2952	.01355
1064	1065	171.903	2952	.05823
1065	1064	184.205	2952	.0624
1065	1066	175.659	2952	.05951
1066	1065	221.968	2952	.07519
1066	1067	399.079	2952	.13519
1067	1066	428.16	2952	.14504
1067	1068	396.302	2952	.13425
1068	1067	406.233	2952	.13761
1068	1069	331.512	2952	.1123
1069	1010	131.275	2952	.04447
1069	1068	342.292	2952	.11595
1070	1012	498.428	2952	.16884
1070	1071	499.042	3168	.15753
1071	1070	491.719	2952	.16657
1071	1072	373.952	2952	.12668
1072	1071	368.348	2952	.12478
1072	1073	623.14	2952	.21109
1073	1072	619.627	2952	.2099
1073	1074	745.37	2952	.2525
1074	1073	758.451	2952	.25693
1074	1075	897.507	2952	.30403
1075	1074	924.343	2952	.31312
1075	1076	1190.22	2952	.40319

1076	1011	1301.72	2952	.44096
1076	1075	1188.73	2952	.40269

Escenario 3 - 2006

inode	jnode	volau	ul3	result
1009	1063	203.45	3148.8	.06461
1010	1069	419.191	3148.8	.13313
1063	1009	210.23	3148.8	.06677
1063	1064	245.92	3148.8	.0781
1064	1063	269.179	3148.8	.08549
1064	1065	614.93	3148.8	.19529
1065	1064	643.538	3148.8	.20438
1065	1066	664.674	3148.8	.21109
1066	1065	681.701	3148.8	.2165
1066	1067	793.152	3148.8	.25189
1067	1066	812.938	3148.8	.25817
1067	1068	633.311	3148.8	.20113
1068	1067	665.779	3148.8	.21144
1068	1069	686.669	3148.8	.21807
1069	1010	400.017	3148.8	.12704
1069	1068	718.856	3148.8	.2283