

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCION DE POSGRADO**



**PLAN VIAL PARA UNA DISTRIBUCION EFICIENTE DEL
TRAFICO DE VEHÍCULOS EN LA CIUDAD DE MOYOBAMBA**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE TRANSPORTE**

ELABORADO POR

JOSE LUIS NORIEGA DAVILA

ASESOR

M.Sc.ING. ROCIO ESPINOZA VENTURA

LIMA-PERÚ

2014

PLAN VIAL PARA UNA DISTRIBUCION EFICIENTE DEL TRAFICO
DE VEHÍCULOS EN LA CIUDAD DE MOYOBAMBA

BACH. JOSE LUIS NORIEGA DAVILA

Presentado a la Sección de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en cumplimiento
parcial de los requerimientos para el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE TRANSPORTE DE
LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

2014

Autor: Ing. José Luis Noriega Dávila

Recomendado: M.Sc. Ing. Rocío Espinoza Ventura

Aceptado por: PhD Jorge Elias Alva Hurtado
Jefe de la Sección de Posgrado

@ 2014; Universidad Nacional de Ingeniería, todos los derechos reservados ó el autor
autoriza a la UNI-FIC a reproducir la tesis en su totalidad o en partes.

RESUMEN

El área urbana de la ciudad de Moyobamba presenta inconvenientes en la distribución de los viajes, debido principalmente a problemas de congestión vehicular, incremento de los tiempos de viaje y déficit de infraestructura; estos inconvenientes son consecuencias propias del crecimiento de las actividades económicas y del aumento de la población. La demanda de transporte se incorpora a través de matrices que cuantifican los viajes en el par origen-destino de la encuesta domiciliaria de viajes.

Para la distribución de los viajes vehiculares se desarrolló el sub modelo gravitacional doblemente acotado, el cual permite representar los viajes generados y atraídos en el par O-D por modo utilizado; y para la asignación de los flujos en las redes se tuvo en cuenta el primer principio de Wardrop. Con la información ingresada a la base de datos del Transcad se presenta la modelación de la red vial, identificando las vías más cargadas potencialmente utilizadas por la demanda para llevar a cabo estos desplazamientos. Con los resultados se procede a la jerarquización de la red vial urbana.

ABSTRACT

The urban area of Moyobamba drawbacks in the distribution of travel, mainly due to problems of congestion, increased travel times and lack of infrastructure; these problems are specific consequences of the growth of economic activities and population growth. Transport demand is incorporated through travel matrices that quantify the source-destination pair travel household survey.

For the distribution of vehicle trips sub doubly bounded gravity model, which allows to represent the trips generated and attracted by the OD pair mode used was developed; and the allocation of flows in networks Wardrop's first principle was taken into account. With the information entered into the database TransCAD modeling of the road network is presented, identifying pathways potentially used charged more demand to perform these movements. With the results we proceed to the hierarchy of the urban road network.

DEDICATORIA

Esta tesis lo dedico con mucho cariño a mi esposa por su comprensión y estímulo para concretar una meta en mi carrera profesional, a mis padres y hermanos por su fortaleza ante las adversidades.

AGRADECIMIENTO

Al Msc. Ing. Rocío Espinoza Ventura por el asesoramiento durante la realización de esta tesis.

Al Msc. Ing. Rómulo Chinchay Romero por los aportes durante la realización de esta tesis.

Al Dr. Ing. José Matías León, Msc. Ing. Leonardo Flores Gonzales, Msc Ing. Edwin Apolinario Morales; por su apoyo desinteresado durante el levantamiento de las observaciones de la tesis.

A mis profesores de posgrado los llevaré por siempre, quienes forjaron nuevos conocimientos en mi formación profesional.

A mis compañeros de la maestría en ciencias en ingeniería de transportes por su amistad y apoyo en todo momento.

A la Universidad Nacional de Ingeniería y la Facultad de Ingeniería Civil por permitirme ser parte de su gran familia.

INTRODUCCION

En las últimas décadas la ciudad de Moyobamba viene experimentando una tendencia migratoria de poblaciones de la sierra norte del Perú, lo que viene generando un rápido crecimiento urbano de la ciudad, así como, el número de vehículos (mototaxis, motos lineales, autos) se ha incrementado considerablemente. Muchas áreas de la ciudad presentan concentración y cambios en el uso del suelo y la demanda de transporte ha crecido sin que exista la posibilidad de que aumente proporcionalmente la oferta constituida principalmente por la infraestructura vial. Los desplazamientos de la población sufren atrasos importantes, la congestión ha aumentado significativamente, contribuyendo al deterioro de la calidad de vida,

El transporte urbano debe garantizar que la accesibilidad de las personas a las distintas zonas se cumpla eficazmente a través de una adecuada distribución vehicular, en términos de tiempo, por lo que es necesario que exista la adecuada conectividad físico-espacial que la haga posible, disminuyendo el efecto de la distancia. Para materializar estas funciones es necesario desarrollar un modelo de transporte que permita representar de una manera simplificada los comportamientos de la distribución vehicular.

Para simplificar la representación de la demanda fue necesario dividir la ciudad en zonas de tránsito (ZAT) para agregar orígenes y destinos de viajes, obteniendo matrices origen-destino, las cuales permitieron obtener los viajes realizados entre cada par de zona de la ciudad.

En este trabajo de investigación se desarrolla el modelo de distribución gravitacional doblemente acotado que permite obtener la distribución de los flujos vehiculares entre las diferentes zonas de tránsito teniendo los vectores orígenes O_i , los vectores destinos D_j y las funciones de impedancias (tiempo de viajes entre zonas) y el modelo de asignación del primer modelo de Wardrop que permite asignar los flujos en las redes, para luego plantear una jerarquización vial en el área urbana.

En el Capítulo I, Generalidades.- Contiene los antecedentes, formulación del problema, objetivos de la investigación, hipótesis, justificación, alcance, limitaciones, tipo de investigación y diseño de la investigación.

El Capítulo II, Marco Teórico.- En este capítulo se investiga los antecedentes del presente proyecto de investigación, así como las bases teóricas que respaldan este trabajo.

El Capítulo III, Marco Metodológico.- Ese explica la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación así como las actividades realizadas.

El Capítulo IV, Desarrollo.- Se explica de manera detallada cada una de las fases realizadas para el cumplimiento de cada objetivo específico que delimita el desarrollo del plan vial urbano.

El Capítulo V, Resultados.- Contempla los resultados obtenidos a lo largo del proyecto en las pruebas que certifican la validez de los objetivos cumplidos.

El Capítulo VI, Conclusiones y Recomendaciones.- Muestra las conclusiones que se logra obtener una vez finalizado el estudio con sus respectivas recomendaciones para futuras investigaciones derivadas de la presente tesis.

Finalmente, se presentan las fuentes de información y los anexos.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN:	i
ABSTRACT	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INTRODUCCION	iv
TABLA DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	ix
ANEXOS	x
LISTA DE SIGLAS Y SIMBOLOS	xi
GLOSARIO	xiv

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.	Introducción	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Formulación del problema	3
1.3.	Objetivos de la investigación	4
1.3.1.	Objetivos general	4
1.3.2.	Objetivos específicos	4
1.4.	Hipótesis	4
1.5.	Justificación	5
1.6.	Alcance	5
1.7.	Limitaciones	6
1.8.	Metodología de la investigación	6
1.9	Tipo de investigación	7

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.	Introducción	
2.1.	Muestra	9
2.2.	Estudio Origen-Destino	10
2.3.	Planificación del transporte	12
2.4.	Modelos de transporte	13
2.4.1.	Modelos de generación/atracción	13
2.4.2.	Modelos de distribución zonal	14
2.4.3.	Modelos de distribución modal	14
2.4.4.	Modelos de asignación	14
2.5.	Teoría de distribución de tránsito y modelos de distribución	15

2.5.1.	Modelo de distribución de viajes gravitacional de máxima entropía o doblemente acotado	16
2.6.	Problemas de asignación de tránsito (TAP)	19
2.6.1.	Modelos estáticos de asignación de tráfico	21
2.6.2.	Modelos dinámicos de asignación de tráfico	23
2.6.3.	Primer principio de Wardrop o equilibrio de usuario	23
2.6.4.	Segundo principio de Wardrop o equilibrio del sistema	25
2.7.	Teoría de asignación de tránsito y modelos de equilibrio	25
2.7.1.	Asignación de Todo o Nada (AON)	26
2.7.2.	Asignación STOCH	26
2.7.3.	Asignación de incrementos	27
2.7.4.	Restricción de capacidad	27
2.7.5.	Optimización del sistema (SO)	28
2.7.6.	Equilibrio del Usuario/Determinístico (UE)	28
2.7.7.	Equilibrio Estocástico del Usuario (SUE)	28
2.8.	Modelos de optimización	29
2.9.	Programación lineal y Programación no lineal	31
2.9.1.	Programación lineal	31
2.9.2.	Programación no lineal	32
2.10.	Algoritmos	34
2.10.1.	Función impedancia	34
2.10.2.	Parámetros α y β	35
2.11.	Jerarquización de vía	36

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.	Introducción	47
3.1.	Periodo de modelación	47
3.2.	Construcción de vectores origen-destino	47
3.3.	Modelo de distribución gravitacional doblemente acotado	49
3.4.	Modelo de asignación de tráfico en equilibrio	51
3.5.	Formulación del problema	51
3.6.	Algoritmo de Frank Wolfe	52
3.7.	Programa de optimización Transcad	54
3.8.	Jerarquización de las vías	58

CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

4.	Introducción	60
4.1.	Zona de estudio	60
4.2.	Propuesta de crecimiento urbano	60
4.3.	Descomposición del problema mediante algoritmo de optimización	62

4.4.	Aplicación al caso de asignación de la ciudad de Moyobamba	66
4.4.1.	Población y zonificación del área de estudio	66
4.4.2.	Periodo de modelación	68
4.4.3.	Vectores Origen-Destino	69
4.4.4.	Construcción del modelo de la red vial	73
4.4.5.	Distribución de viajes entre zonas	75
4.4.6.	Separación espacial entre zonas	75
4.4.7.	Obtención de viajes entre par origen-destino	76
4.4.8.	Asignación de trafico	80

CAPITULO V: RESULTADOS

5.	Introducción	86
5.1.	Zona de estudio	86
5.2.	Población de estudio	86
5.3.	Obtención de los viajes entre par de zona origen-destino	86
5.4.	Obtención de los flujos en la red	87
5.5.	Caracterización de la jerarquización de vías planteadas	96

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.	Introducción	107
6.1.	Conclusiones	107
6.2.	Recomendaciones	108

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía	109
--------------	-----

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Tamaños muestrales recomendado internacionalmente	10
Tabla N° 2.2: Capacidad en vías urbanas, un sentido de circulación	44
Tabla N° 2.3: Capacidad en vías urbanas, dos sentidos de circulación	45
Tabla N° 4.1: Distribución de las ciudad por zonas de tránsito	67
Tabla N° 4.2: Ocupación promedio en base a los aforos realizados en hora punta de la mañana	69
Tabla N° 4.3: Matriz vectores viajes de vehículos modo motokar	70
Tabla N° 4.4: Matriz vectores viajes de vehículos modo motolineal	71
Tabla N° 4.5: Matriz vectores viajes de vehículos modo auto	72

Tabla N° 4.6: Matriz viajes interzonales e intrazonales de vehículos modo motokar	77
Tabla N° 4.7: Matriz viajes interzonales e intrazonales de vehículos modo motolineal	78
Tabla N° 4.8: Matriz viajes interzonales e intrazonales de vehículos modo auto	79
Tabla N° 5.1: Producción y atracción de viajes por zona	87
Tabla N° 5.1a: Flujos Vs. Capacidad – primer modelamiento	89
Tabla N° 5.1b: Flujos Vs. Capacidad – primer modelamiento	90
Tabla N° 5.2a: Flujos Vs. Capacidad – segundo modelamiento	91
Tabla N° 5.2b: Flujos Vs. Capacidad – segundo modelamiento	92
Tabla N° 5.2a: Flujos Vs. Capacidad – segundo modelamiento	93
Tabla N° 5.2b: Flujos Vs. Capacidad – segundo modelamiento	94

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 2.1: Matriz genérica de orígenes y destinos	19
Cuadro N° 2.2: Capacidad en vías urbanas, un sentido de circulación	44
Cuadro N° 4.1: Crecimiento urbano según horizonte de desarrollo	62
Cuadro N° 4.2: Identificación de vía	74
Cuadro N° 4.3: Funciones de impedancia	76
Cuadro N° 4.4: Factores de conversión a unidad de carro patrón (UCP)	80

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Dimensión espacial de los viajes	11
Figura N° 2.2: Modelo clásico de transporte de cuatro etapas	15
Figura N° 2.3: Esquema del modelo de cuatro etapas	15
Figura N° 2.4: Esquema de la modelización de la asignación de tráfico	36
Figura N° 2.5: Clasificación jerárquica del sistema vial	37
Figura N° 3.1: Construcción de la matriz origen-destino (matriz O-D)	48
Figura N° 4.1: Ciudad de Moyobamba	60

Figura N° 4.2: Área urbana de la ciudad de Moyobamba	61
Figura N° 4.3: Plano de crecimiento urbano según horizonte de desarrollo	62
Figura N° 4.4: Sectorización de la ciudad por zonas de tránsito	67
Figura N° 4.5: Viajes en hora punta modo motokar	68
Figura N° 4.6: Viajes en hora punta modo moto lineal	68
Figura N° 4.7: Viajes en hora punta modo auto	69
Figura N° 4.8: Construcción de la red vial a modelar	73
Figura N° 4.9: Sentido de las vías	74
Figura N° 5.1: Flujos Vs. Capacidad de vías – primer modelamiento	88
Figura N° 5.2: Flujos Vs. Capacidad de vías – segundo modelamiento	88
Figura N° 5.2: Jerarquización de vías de la ciudad de Moyobamba	103

ANEXOS

Copia de resolución de aprobación del Plan de Desarrollo Urbano 2014-2018	
Plano N° 1: Ubicación	U-01
Plano N° 2: Urbano actual	UA-01
Plano N° 3: Zona de análisis de tránsito	ZAT-01
Plano N° 4: Crecimiento urbano según horizonte de desarrollo	CU-01
Plano N° 5: Flujos Flujos Vs. capacidad - primer modelamiento	PM-01
Plano N° 6: Flujos Vs. capacidad de vías -segundo modelamiento	SM-01
Plano N° 7: Jerarquización de vías	JV-01
Plano N° 8: Secciones de vías	SV-01

Lista de Siglas y Símbolos

$G(A; V)$	Dígrafo conexo y sin lazos
C_a	tiempo de viaje en el arco a en función del flujo c_0
A	tiempo de viaje libre en el arco
F_a	flujo en el arco a
k_a	Capacidad de arco(Vehículos/hora)
a	arco
h_r	flujo en la ruta r
Z_{min}	Función objetivo mínimo
Z_{max}	Función objetivo máximo
$C_a(f_a)$	función de coste que indica el retraso en el arco $a \in A$, para cada arco $(i; j) \in A$, como función del flujo total f_a que lleva el mismo arco a
R^n	Espacio vectorial columna n -upla de los reales
$\sum_{j=1}^n v_j$	La suma de los elementos v_j desde $j = 1$ hasta $j = n$
ATS	Velocidad promedio de viaje
ATSd	Velocidad promedio de viaje direccional
BFFS	Velocidad base de flujo libre
C	Capacidad
D	Densidad
D_j	Densidad de embotellamiento
D_o	Densidad optima
ER	Equivalente de número de vehículos por vehículo recreacional
ET	Equivalente de número de vehículos por camión
FHP	Factor de hora pico
FFS	Velocidad de flujo libre
FFSd	Velocidad de flujo libre direccional
f_{HV}	Factor de ajuste de vehículos pesados
f_A	Factor de ajuste para puntos de acceso
f_{LS}	Factor de ajuste debido al ancho de carril y al ancho de hombro
f_{np}	Factor de ajuste para porcentaje de zonas de “no rebasar”
f_G	Factor de ajuste debido al grado de inclinación

HCM	Highway Capacity Manual
Hr	Hora
Hp	Caballo de fuerza
Km	Kilómetro
LOS	Nivel de servicio
L	Longitud de segmento de la carretera
Lb	Libra
M	Metro
MOE	Medida de efectividad
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
PT	Proporción de camiones en el tránsito
PR	Proporción de vehículos recreacionales en el tránsito
PTSF	Porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo
S	Segundos
S	Velocidad promedio de viaje
SMT	Velocidad media temporal
SME	Velocidad media espacial
SFM	Velocidad principal de tránsito medida en campo
S _o	Velocidad crítica
Ta	Tiempo promedio de viaje
v	Razón de flujo
V	Volumen horario
Vd	Volumen horario direccional
Vo	Volumen horario opuesto
Vm	Volumen máximo
Veh	Vehículos
HCM	Highway Capacity Manual
S	Velocidad promedio de viaje
L	Longitud de segmento de la carretera
ta	Tiempo promedio de viaje en el segmento
Sr	Velocidad de rodaje
Se	Velocidad media espacial

St	Velocidad media temporal
FFS	Velocidad de flujo libre
Sp	Velocidad percentil
TPDA	Tráfico promedio diario anual
D	Densidad
V	Razón de flujo
FHP	Factor de hora pico
Dj	Densidad de embotellamiento
Do	Densidad crítica
Vm	Máximo volumen
v/c	Radio de proporción de flujo
LOS	Nivel de servicio
VSi	Volumen de servicio para LOSi
SFi	Razón de flujo de servicio para LOSi
FHP	Factor de hora pico
Lb/hp	Relación entre peso y caballaje de un vehículo
FD	Factor direccional
Et	Factor de equivalencia de camiones
Eb	Factor de equivalencia de buses

GLOSARIO

Embotellamiento	Período de tiempo en el cual los vehículos deben parar al no poder circular debido al demasiado tránsito vehicular, siendo cero la velocidad y el volumen.
Flujo Ininterrumpido	Circulación de vehículos en las carreteras donde no existen intersecciones con semáforos o con señales de alto.
Flujo interrumpido	Circulación de vehículos en las carreteras donde existen intersecciones como semáforos o señales de alto y es utilizado para el tránsito urbano.
Flujo libre	Son las condiciones que se dan cuando la densidad y el volumen son bajas y la velocidad alta.
Hora Pico	Hora en la cual el tránsito llega a su volumen más alto.
Tránsito	Circulación vehicular dentro de una carretera.
Capacidad	Es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito. Asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto en análisis.
Confort	Sinónimo a comodidad.
Congestionamiento	Período de tiempo en el cual los vehículos deben parar al no poder circular, debido al demasiado tránsito vehicular, siendo cero la velocidad y el volumen.
Densidad Crítica (D_0)	Ésta se alcanza cuando el flujo es el máximo del tránsito de una carretera, es decir su capacidad.
Facilidad	Toda infraestructura diferente a la carretera que le presta un servicio complementario a la misma.
Factor de hora pico	La relación entre el volumen horario y la máxima razón de flujo se define como el factor de hora pico (FHP)
Nivel de Servicio (LOS)	Un nivel de Servicio (LOS) es una designación que describe un rango operativo sobre un tipo particular de una carretera.

Período pico	Período de tiempo en la cual el tránsito llega a su volumen más alto. Puede ser en períodos de una hora en cuyo caso se denomina hora pico.
Razón de flujo	Es la cantidad de vehículos que pasan en un tramo en un período de tiempo determinado. Para períodos menores a una hora, generalmente el volumen se expresa como un equivalente horario de las razones de flujo.
Tránsito	Es el flujo vehicular sobre una vía pública.
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual. Es el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición.
TRB	Transportation Research Boards (Consejo o Comité para la Investigación de Transportes).
Vehículos de diseño	Son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por las carreteras regionales.
Vehículo recreacional	Es aquel vehículo en el cual se hacen viajes familiares o de turismo, tal como las casas rodantes y los remolques.
Velocidad crítica (So)	Es la velocidad que ocurre cuando la densidad es muy alta o crítica. Cuando la carretera llega a su capacidad máxima.
Volumen horario	Se define como la cantidad de vehículos que circulan en un tramo durante una hora, si no se tiene el dato de la hora se hace el cálculo según el período que se tenga calculado.
Centroide	Es un punto representativo de una zona que concentra la mayor cantidad de actividades en función del uso del suelo de la zona en estudio.
Circuitos	Trayectos cerrados previamente fijados para unidad es de transporte público (Núñez et al., 2008).

Demanda elástica	Es aquella demanda sensible al precio, esto implica que su variación influye notablemente en las cantidades de mandadas.
Flujo	Cantidad de vehículos o personas que cruzan una vía (Núñez et al., 2008).
Heurística	Es la capacidad de un sistema para realizar cambios automáticamente bajo ciertas reglas, con el objetivo de satisfacer las condiciones de un problema y una característica humana.
Matriz origen destino	Matriz de dos dimensiones, en la que las filas representan las zonas de origen y las columnas los destino de una red de transporte, y sus elementos muestran la cantidad de viajes o desplazamientos hechos desde las zonas de origen a las de destino para un período de tiempo especificado (Meyer y Miller, 2001).
Modelo de asignación de tráfico	Modelo matemático que estiman el volumen de tráfico en la red y los puntos de congestión (Taha, 1995).
Operadores de transporte	Organización que presta el servicio de transporte de personas y bienes (Núñez et al. 2008).
Óptimo social	Función objetivo que permite maximizar los beneficios del operador de transporte minimiza el tiempo de viaje de los usuarios y el mantenimiento de las vías (Gruttner et al., 2002)

CAPITULO I
GENERALIDADES

1. Introducción

En este capítulo se describe las pautas iniciales para el desarrollo de la tesis, como son los antecedentes, formulación del problema, objetivos de la investigación, hipótesis, justificación, alcance, limitaciones encontradas, metodología de la investigación y diseño de la investigación; que permitirá guiar el desarrollo de la presente investigación científica.

1.1. Antecedentes

La modelación de la distribución de viajes es un proceso fundamental en la planificación de una ciudad, consiste en la representación simplificada de la interacción entre la demanda representada por el uso de los medios de transporte por las personas y la oferta por la red de vías. Los modelos de distribución agregados de viajes se usan para predecir flujos entre zonas de origen y de destino.

El modelo gravitacional relaciona explícitamente el flujo entre zonas con la impedancia intrazonal de los viajes, es decir el número de viajes entre zonas aumenta con el incremento de atracciones de dichos viajes, y se disminuye con el aumento de la resistencia dada entre ellos

Stewart, en 1948 y Zipf, en 1969, fueron los pioneros en la aplicación del modelo gravitatorio a los estudios socioespaciales, el modelo teórico, se ha traducido bajo la forma $F_{ij} = k (P_i^a \cdot P_j^b / d_{ij}^c)$ donde P_i , P_j , es la población de las ciudades i y j ; k , a y b , con constantes. A partir de ahí pueden analizarse todo tipo de interacciones: flujos migratorios, tráfico de mercancías, flujos financieros, intercambio de información, etc.

El modelo de distribución más elemental y conocido corresponde al denominado problema de transporte o problema de Hitchcock (Hitchcock, 1941), que consiste en el abastecimiento de insumos a mínimo costo de una serie de destinos a partir de la producción de insumos en determinados orígenes. Este es un problema de programación lineal con costos constantes.

Un avance respecto al problema de Hitchcock corresponde al modelo gravitacional entrópico doblemente acotado clásico (Wilson, 1970). Este modelo, a partir del concepto de entropía, y dadas ciertas generaciones y atracciones de viajes, permite determinar la matriz de distribución de viajes más probable, considerando que cada uno de los viajes del sistema tiene igual probabilidad de pertenecer a cada una de las celdas de la matriz de viajes (viajeros homogéneos). Particularmente, los modelos entrópicos corresponden a aquellos modelos de distribución de viajes que en su deducción analítica consideran explícitamente el concepto de entropía, el cual permite obtener la matriz de viajes más probable, considerando una serie de restricciones exógenas adicionales.

El concepto de equilibrio de tráfico se origina en 1924, con Frank Knight. En 1952, Wardrop presenta dos principios que formalizan la noción de equilibrio con la introducción de un concepto alternativo de conducta basado en la minimización de costos totales de viaje. El primer modelo matemático de las redes del equilibrio estaba formulado por Beckmann, McGuire y Winsten, en 1956.

La ciudad de Moyobamba cuenta con un plan de desarrollo urbano para el periodo 2013-2018, el cual pretende ser una guía para los inversores, los actores políticos y la sociedad civil, en torno a los intereses de uso y ocupación del territorio con efectos positivos en el mediano, y largo plazo

1.2. Formulación del Problema

La ciudad de Moyobamba en los últimos años viene creciendo urbanísticamente y además crece el parque automotor, sin embargo no se realizaron estudios e investigaciones para reducir los impactos viales, siendo los más notorios los siguientes: la congestión vehicular en la zona céntrica de la ciudad, incremento de la contaminación ambiental, mayor tiempo de viaje, carencia de señalizaciones, incremento de accidentes de tránsito.

En la actualidad no se cuenta con un estudio de jerarquización de las vías que permita una distribución adecuada del flujo vehicular, considerando además que las calles y avenidas tienen una limitada capacidad vial, la cual contribuye a la congestión vehicular, situación que incomoda a los usuarios de las vías.

Por lo que el problema a resolver se puede resumir con respuesta a la siguiente pregunta ¿Con una adecuada jerarquización de la vía se soluciona el problema de congestión vehicular en la ciudad de Moyobamba?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Definir una jerarquización vial integral, para mejorar la distribución de los flujos vehiculares en las redes principales de la ciudad de Moyobamba.

1.3.2. Objetivo específico

- Definir la red de vías locales y su funcionalidad.
- Definir la red de vías colectoras y su funcionalidad.
- Definir la red de vías arteriales y su funcionalidad.
- Definir la red de vías expresas y su funcionalidad.

1.4. Hipótesis

Con una adecuada jerarquización de las vías se soluciona el problema de congestión vehicular en la ciudad de Moyobamba.

1.5. Justificación

Este trabajo de investigación tiene una relevancia importante para el desarrollo de la ciudad, porque permitirá solucionar el problema de la congestión vehicular que se aprecia en la ciudad de Moyobamba principalmente en las horas punta, a partir del centro de la ciudad; donde se tiene la mayor concentración de los flujos vehiculares.

Una adecuada distribución del tráfico de los vehículos mejorará las condiciones de accesibilidad de la población, permitiendo que los ciudadanos de las áreas periféricas se integren hacia las zonas céntricas de la ciudad donde se encuentra la mayor concentración de los servicios básicos (educativos, salud, oportunidades laborales, instituciones públicas, instituciones privadas, comercio, restaurantes, hoteles, etc.); sin que este genere congestión vehicular alguna.

La tesis tendrá una aplicación directa en el ordenamiento del tránsito vehicular, los beneficiarios serán los pobladores de la ciudad de Moyobamba, su implementación estará relacionado con el plan de desarrollo urbano correspondiente al periodo 2014-2018.

1.6. Alcance

- Definir geográficamente el área a la cual estarán referidos los procesos de recolección y análisis de información; dividiéndola en zonas de análisis de transporte (ZAT) para referir a ellas los análisis de transporte derivados.
- Determinar las variables que caracterizarán los patrones de viajes de la población y que se involucrarán en la toma de información.
- Construcción de la jerarquización vial de transporte, en base a la matriz de viajes entre zonas y los flujos vehiculares obtenidos en las redes-
- El plan vial se presenta como una propuesta para su implementación dentro del desarrollo urbano de la ciudad.

1.7. Limitaciones

- El área de estudio para este trabajo es la comprendida por la zona urbana actual, en proceso de consolidación y de expansión urbana de la ciudad de Moyobamba, no se consideran sus distritos por encontrarse fuera de su jurisdicción urbana futura.
- El plan vial se enfoca únicamente en determinar la jerarquización de la red vial, no se considera aspectos de seguridad vial, costo que demandaría su implementación, elaboración de su normatividad legal, entidad responsable de su puesta en funcionamiento, operación y mantenimiento.
- En esta tesis se desarrolla los sub modelos de distribución y asignación, no se considera los sub modelos de generación y partición modal.

1.8. Metodología de la investigación

A continuación se describen los pasos que se realizarán para el desarrollo del presente proyecto:

- Aplicación de una encuesta domiciliaria de transporte.
- Estimar los vectores origen O_i y destino D_j de viajes por modo de vehículos, teniendo presente la encuesta domiciliaria de viajes.
- Obtener la distribución de viajes V_{ij} por modo de vehículos, en el par intrazonal e interzonal sobre la base de los vectores O_i , D_j y los tiempos entre las zonas.
- Aplicar el modelo de asignación para obtener los flujos totales en los arcos.
- Jerarquizar los corredores viales principales para mejorar la circulación vehicular.

1.9. Tipo de investigación

La investigación que se desarrolla es el método hipotético-deductivo.

Este método tiene varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia.

Las intervenciones y recolección de datos se llevarán a cabo en los hogares seleccionados de la población, así como los aforos de viajes que se producen en las diferentes vías del área urbana de la ciudad de Moyobamba.

CAPITULO II
MARCO TEORICO

2. **Introducción**

En el presente capítulo se desarrolla los conceptos teóricos básicos relacionados a la distribución de los viajes (toma de muestras, periodos de modelación, construcción de las matrices de viajes) y asignación de los flujos en las redes; que serán la base para desarrollar alternativas de solución referente a la jerarquización de las futuras vías de la ciudad.

2.1. **Muestra**

Se define como el conjunto de unidades que han sido especialmente seleccionadas para representar a una población más grande con ciertos atributos de interés (población, número de hogares, número de viajes, elección modal, etc.). [1]

Población de interés.- Es el grupo completo sobre el que se busca información, se compone de elementos individuales. Una unidad muestral con frecuencia es el hogar, mientras que los elementos de interés son los individuos que lo componen.

Muestreo aleatorio estratificado.- Permite obtener las proporciones correctas de cada estrato en la muestra de subgrupos de la población que pudieran no quedar bien representados en un muestreo aleatorio simple.

Se utiliza información previa para subdividir la población en estratos homogéneos (respecto a las variables de estratificación), y después se efectúa un muestreo aleatorio simple dentro de cada estrato utilizando la misma tasa de muestreo.

Tamaño de la muestra.- Las encuestas sobre viajes siempre están basadas en algún tipo de muestreo. Sin embargo, aunque fuera posible entrevistar a todos los viajeros sobre un servicio específico en un día dado, ésta sólo sería una muestra de los viajeros que realizan viajes en una semana dada, mes o año.

La tabla siguiente muestra los valores que han sido recomendados en encuestas realizadas durante más de 20 años.

- [1] Fernández Córdova José, Año 2005, Estadística descriptiva, ed. N° 1, Ed. Pedagógico San Marcos – Fondo Editorial, Lima, Perú, pag. N° 20

Tabla N° 2.1:

Tamaños muestrales recomendados internacionalmente

Poblacion	Tamaño de la muestra (%)	
	Recomendado	Mínimo
Menos de 50,000	20	10
50,000 - 150,000	12	5
150,000 - 300,000	10	3
300,000 - 500,000	7	2
500,000 - 1,000,000	5	1.5
Mas de 1,000,000	4	1

Fuente: Ortúzar Juan de Dios y Willumsen Luis G, Modelos de transporte

2.2. Estudios Origen-Destino

El estudio está orientado a establecer la caracterización de la demanda de transporte en el área de estudio.

Ámbito de la encuesta.- El área de interés del estudio se determina por su límite exterior conocido como cordón externo. Una vez definido, el área se subdivide en zonas espacialmente desagregada (hogares) sobre los orígenes y destinos de los viajes, de forma que **variables como la población y los viajes puedan ser cuantificadas espacialmente.**

El interior del área de estudio también pueden existir cordones internos y líneas pantalla (es decir, una subdivisión ficticia que siga límites naturales o artificiales en los que existan pocos cruces para atravesarlos, como pueden ser un río o un barranco).

Encuestas domiciliarias.- Deben obtenerse los desplazamientos efectuados por todos los miembros de la familia en todos los modos de transporte, tanto dentro del área de estudio como entrando y saliendo de dicha área, durante el período temporal de referencia. Los datos obtenidos de la encuesta de origen y destino (O-D), se utilizan directamente para estimar los flujos de viajes entre todas las zonas en que se divide una ciudad. Estos intercambios de viajes se representan normalmente mediante valores que aparecen en una celda de una matriz de origen

y destino; es decir, cada celda de ésta matriz corresponde a una combinación particular de origen y destino de los viajes urbanos.

En la figura N° 2.1 se aprecia la dimensión espacial de los viajes en una zona urbana.

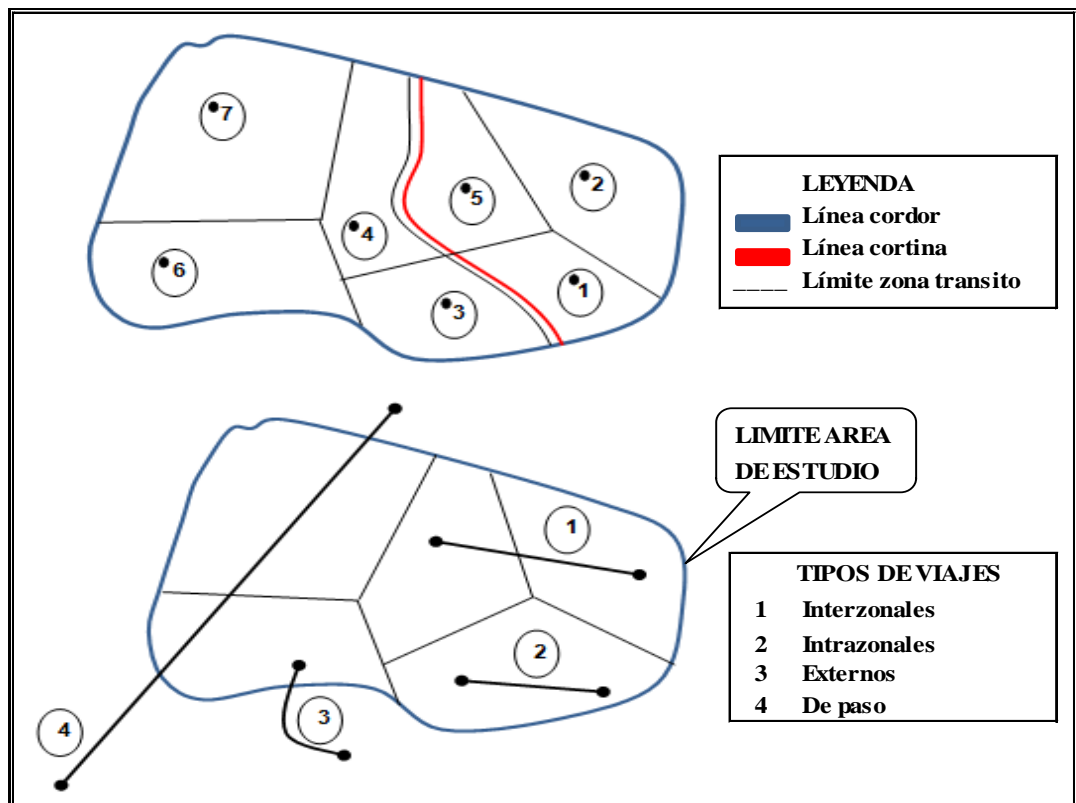


Figura N° 2.1: Dimensión espacial de los viajes

Fuente: Elaboración propia

Zona de análisis de tránsito (ZAT)

i).- La primera característica deseable de las zonas es su homogeneidad en usos de suelos y características socioeconómicas de la población, dado que éstas son dos variables fundamentales para explicar la demanda de viajes. [2]

ii).- Es importante que los límites de zonas sean compatibles con los cordones y las líneas-pantalla, así como con los límites de zonificaciones preexistentes.

[2] Barreno Bereau Emma, Cabrera Gil Grados Ezilda, Millones Rivalles Rosa, Año 2008, Metodología de modelamiento de un sistema de transporte urbano, Lima, Perú, pag. N° 12

iii).- Es necesario que las zonas sean lo más homogéneas posibles en su composición de usos del suelo y/o población.

iv).- Se debe evitar el uso de vías o calles principales como límites de zonas, ya que incrementa considerablemente la dificultad de asignar viajes a zonas, cuando éstos se originan o acaban en la frontera entre las mismas.

v).- La forma de las zonas debe permitir una identificación sencilla de los conectores de centroides. Esto es particularmente importante para la estimación sucesiva de características intrazonales (viajes en la misma zona).

vi).- Una zona debe representar el área natural de cobertura de las redes de transporte y sus conectores deben ser identificados de forma que representen los costes principales de acceso a la red.

vii).- Un número demasiado pequeño de zonas podría conducir a análisis demasiado agregados, reñidos con los objetivos de un estudio de transporte.

Un número demasiado reducido de zonas resultará en áreas zonales muy grandes (difícilmente homogéneas) lo que a su vez redundará en un gran número de viajes intrazonales; dado que la unidad de análisis básico es la zona, los modelos de asignación no pueden tratar tales viajes, y el análisis completo pierde credibilidad.

Viii).- La cantidad de zonas ideal es cada hogar, pero es poco práctico, luego sería cada manzana lo que sería más razonable pero aún requiere muchos datos.

El criterio que se usa en modelación es el espacio que una persona puede caminar, que es de 5 cuadras o 500 metros a la redonda, lo que sería el mínimo tamaño de una zonificación.

2.3. Planificación del Transporte

La planificación es la fase fundamental del proceso de desarrollo y organización del transporte, pues es la que permite conocer los problemas, diseñar o crear soluciones y, en definitiva, optimizar y organizar los recursos para enfocarlos a atender la demanda de movilidad.

A principios de los años 50's los estudios se enfocaban en la investigación del desarrollo de nuevas vías y al pronóstico del tránsito en el corto plazo. Los modelos que se enfocaban en la planeación de redes viales, no consideraban rutas individuales e ignoraban el hecho que el tiempo de viaje depende del flujo o volumen del tránsito de las rutas congestionadas y que múltiples vías pueden servir para un par origen - destino determinado (O-D).

Plan vial de transporte urbano.- Es una herramienta de gestión que permite mediante diversos medios técnicos, realizar una estructuración del sistema de transporte urbano logrando un equilibrio entre la oferta y la demanda. Es decir que la operatividad de los medios de transporte vaya en proporción a los usuarios de transporte permitiendo reducir los niveles de congestión vehicular, los tiempos de viaje, alcanzando un mejor servicio.

2.4. Modelos de Transporte

Un modelo de transporte urbano debe incluir el modelamiento del patrón de flujos, que está referido al comportamiento de los usuarios en las vías, el origen y el destino de los viajes, los horarios y las frecuencias, y el modo elegido, entre otros. Los modelos de planificación del transporte, usan el modelo de equilibrio entre oferta y demanda:

2.4.1. Modelos de generación/atracción de tráfico.- Explican los viajes que se producen o atraen en una zona en función de variables socioeconómicas de la zona. El esquema empieza considerando una zonificación del área de estudio, una codificación de la red de transporte y la obtención de una base de datos para el estudio. [3]

Tras esta fase se obtiene una modelización de la red de transporte mediante un grafo $G = (N, A)$ donde N y A son el conjunto de nodos y arcos (dirigidos) respectivamente.

- [3] Ortúzar Juan de Dios y Willumsen Luis G, Año 2008, Modelos de transporte, ed. N° 3, Ed. Ediciones de la Universidad de Cantabria, España, pag. N° 183.

El significado de los arcos depende de si la red es de tráfico o de transporte público. En el primer caso los arcos están asociados a las calles y los nodos a las intersecciones. En el segundo caso cada nodo está asociado a una parada y cada arco representa los posibles desplazamientos entre paradas que un usuario puede efectuar, además, hay otros arcos asociados al tiempo de viaje en el vehículo público, andando o esperando.

2.4.2. Modelos de distribución zonal.- Con ellos se pretende obtener la distribución de los viajes sobre el espacio, esto es, se obtiene el número de viajes que se efectúan de una zona a otra, obteniéndose la denominada matriz de viajes origen-destino (O-D).

En esta fase se obtiene un conjunto de pares ordenados de $N \times N$ y la demanda de viajes (que inicialmente consideraremos fija).

Denotamos este conjunto de pares de demandas por I y cada par O-D por i . Denotamos por g_i la demanda total de viajes para el par $i \in I$.

2.4.3. Modelos de distribución modal.- Explican la elección de modo, es decir, cómo eligen los usuarios el modo de transporte con el que satisfacen sus necesidades de viaje. Con estos modelos se pretende obtener una matriz O-D para cada modo de transporte presente en el estudio.

2.4.4. Modelos de asignación.- Explican el itinerario que elegirá cada usuario en función del modo elegido anteriormente. Es decir, cada matriz de demanda O-D, para cada modo de transporte, es asignada a su respectiva red de transporte. Usualmente se efectúa una asignación de tráfico por un lado (vehículos privados) y, por otro lado, una asignación a la red de transporte público.

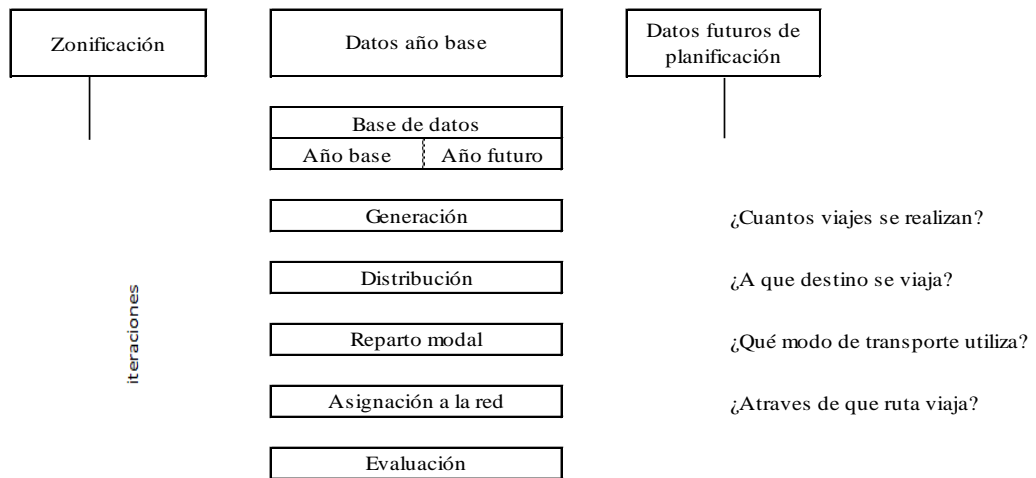


Figura N° 2.2: Modelo clásico de transporte de cuatro etapas
Fuente: Ortúzar Juan de Dios y Willumsen Luis G, Modelos de transporte

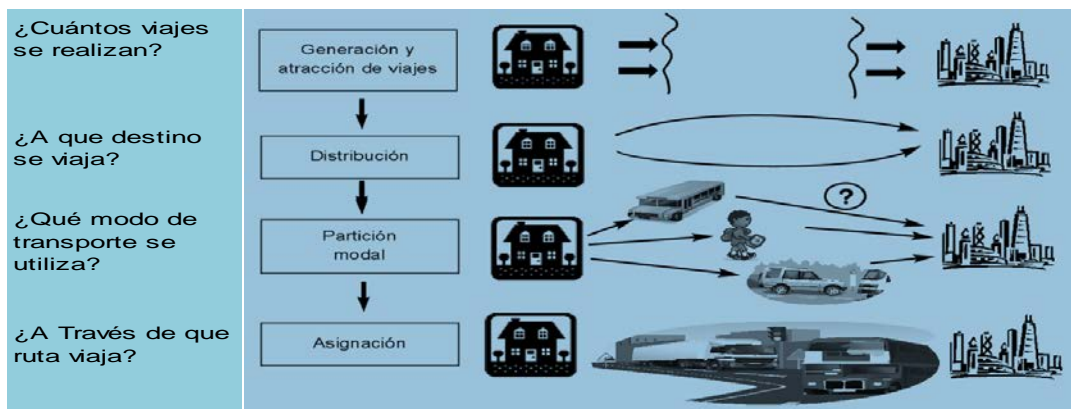


Figura N° 2.3: Esquema del modelo de cuatro etapas
Fuente: Ortúzar Juan de Dios y Willumsen Luis G, Modelos de transporte

2.5. Teoría de distribución de tránsito y modelos de distribución

Los modelos de distribución agregados de viajes se usan para predecir flujos entre zonas de origen y de destino en cada celda de la matriz, el cual permite tener una mejor idea acerca del patrón de generación de viajes, desde y hacia donde ocurren los viajes, los modos de transporte escogidos y las rutas tomadas.

El método que predomina en la planeación de transporte urbano es el modelo gravitacional, el proceso puede realizarse de varias maneras: por períodos y propósitos, por categorías socioeconómicas, por viajes motorizados, o combinaciones de ellos, entre otros.

El método gravitacional utiliza una matriz bidimensional de celdas donde las filas y columnas representan cada una de las zonas z del área de estudio (incluyendo las zonas externas).

El modelo gravitacional relaciona explícitamente el flujo entre zonas con la impedancia intrazonal de los viajes (distancia de viaje, el tiempo de viaje y su costo), los flujos decrecen como una función de la distancia que separa las zonas, esto es la atracción gravitacional entre dos objetos que decrece como una función de la distancia entre los objetos.

Este principio es aplicado en los modelos de planeación del transporte, donde la analogía newtoniana ha sido reemplazada por la hipótesis de que los viajes entre las zonas 'i' y 'j' es función de los viajes originados en las zonas i y el nivel de atracción y accesibilidad de la zona j con respecto a las demás zonas.

2.5.1. Modelo de distribución de viajes gravitacional de máxima entropía o doblemente acotado

La ley de la gravitación universal fue publicada por Isaac Newton en 1687 en su obra: Principios matemáticos de filosofía natural y se expresa con la siguiente afirmación: “toda partícula del universo atrae a toda otra partícula con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas” (Serway, Jewett, 2006).

Si las partículas tienen masas m_1 y m_2 , y están separadas por una distancia r , la magnitud de la fuerza gravitacional es:

$$F_g = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

G es la constante de la gravitación universal. $G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$.

Probablemente la primera utilización rigurosa de un modelo gravitacional se debe a Casey (1955), el cual sugirió esta aproximación para sintetizar los viajes realizados por compras y sus áreas de captación entre ciudades de una región. En su formulación más simple el modelo presenta la siguiente forma funcional:

$$T_{ij} = \frac{aP_i P_j}{d_{ij}^2}$$

Donde P_i y P_j son la población de las ciudades origen y destino de los viajes, d_{ij} es la distancia entre i y j y α un factor de proporcionalidad.

Esta formulación pronto se consideró una analogía demasiado simplista de la ley de la gravedad de tal forma que la siguiente mejora fue la utilización de los totales de las generaciones y atracciones (O_i y D_j) en lugar de las poblaciones, incorporándose además un parámetro n de calibración como potencia de d_{ij} . Este nuevo parámetro no tiene por qué ser un número entero y de hecho, numerosos estudios han estimado valores comprendidos entre 0,6 y 3,5. Posteriormente el modelo se generalizó considerando que el efecto de la distancia o “separación” podía ser modelizado más eficientemente mediante la utilización de una función (a precisar) decreciente con la distancia o con el coste (tiempo) de viaje entre las zonas. El modelo resultó por tanto, así:

$$T_{ij} = \alpha O_i * D_j * f(c_{ij}) \tag{A}$$

$f(c_{ij})$ es una función generalizada del coste de viaje que contiene uno o varios parámetros a calibrar y que, generalmente, es llamada “función de resistencia al viaje o función de fricción”, en cuanto que representa la impedancia o resistencia a desplazarse cuando aumenta la distancia, el tiempo o el coste del viaje.

Los modelos de distribución de viajes, exigen la determinación de factores de ajuste asociados a cada zona Origen y a cada zona Destino de viajes, así como la calibración de parámetros que permiten determinar patrones geográficos de movilidad que parezcan razonables. Los valores de los factores de ajuste se hallan mediante procesos iterativos, partiendo de constantes iniciales, normalmente arbitrarias.

Las versiones más populares de la función de resistencia al viaje son:

$f(c_{ij}) = \exp(-\beta c_{ij})$	Función exponencial
$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n}$	Función potencial
$f(c_{ij}) = c_{ij}^n \exp(-\beta c_{ij})$	Función combinada

Al objeto de asegurar que las restricciones de (A) se cumplan, es necesario reemplazar el factor individual de proporcionalidad α por dos factores de balanceo A_i y B_j . El modelo gravitacional adopta entonces la siguiente expresión:

$$T_{ij} = A_i \cdot O_i \cdot B_j \cdot D_j \cdot f(c_{ij}) \quad (B)$$

Análogamente se pueden incluir O_i y D_j en los dos factores de balanceo, lo cual fue planteado por Wilson (1970), son:

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j D_j f(c_{ij})}$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i O_i f(c_{ij})}$$

Los factores de balanceo son, pues, interdependientes; significa que para calcular un conjunto de factores se necesita utilizar los valores del otro conjunto y viceversa. Por ello es necesario realizar iteraciones análogas que, en la práctica, producen buenos resultados. [4]

Por lo tanto: T_{ij} es el número de viajes entre el origen i y el destino j ; la matriz total es $\{T_{ij}\}$ o T ; O_i es el número total de viajes originado en la zona i , y el D_j es el número total de viajes atraídos por la zona j . Las matrices se pueden desagregar aún más, por ejemplo, por tipo de persona (n) y/o por modo (k).

T_{ij}^{kn} son viajes desde i hacia j hecho por el modo k por el tipo de persona n ; O_i^{kn} es el número total de viajes que provienen de la zona i por el modo k y tipo de persona n . La suma de los viajes de una fila deberá igualar el número total de viajes que se originan en esa zona; la suma de los viajes de una columna deberá corresponder con el número de viajes atraídos a aquella zona.

[4] Ortúzar Juan de Dios y Willumsen Luis G, Año 2008, Modelos de transporte, ed. N° 3, Ed. Ediciones de la Universidad de Cantabria, España, pag. N° 250

Cuadro N° 2.1 :

Matriz genérica de orígenes y destinos

Orígenes	Destinos					$\Sigma_j T_{ij}$
	1	2	3	...j	...z	
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	... T_{1j}	... T_{1z}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	... T_{2j}	... T_{2z}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	... T_{3j}	... T_{3z}	O_3
... i	T_{i1}	T_{i2}	T_{i3}	... T_{ij}	... T_{iz}	O_i
... z	T_{z1}	T_{z2}	T_{z3}	... T_{zj}	... T_{zz}	O_z
$\Sigma_i T_{ij}$	D_1	D_2	D_3	... D_j	... D_z	total viajes $\Sigma_{ij} T_{ij} = T$

Fuente: Elaboración propia

Estas condiciones pueden ser escritas como:

$$\sum_j T_{ij} = O_i$$

$$\sum_i T_{ij} = D_j$$

2.6. Problema de asignación de tráfico (TAP)

Un problema que se puede ver como inverso de la estimación de la matriz O-D, es el problema de la asignación de los viajes que ésta describe a la red de tráfico urbana. Los modelos de asignación de tráfico aplican los principios de distribución de flujo en redes de transporte de **Wardrop (1952a)** matemático británico investigador en temas de transporte público del Road Research Laboratory, que son base para el desarrollo de modelos matemáticos que permiten estimar el comportamiento de la movilidad de las personas, estos principios describen el comportamiento de los usuarios de un sistema de transporte.

Principio de Equilibrio de Usuario: Todos los conductores seleccionan la ruta que minimiza su tiempo de viaje.

Principio de Optimización del sistema: El tiempo total de viaje para todos los conductores es aquel que minimiza el tiempo total del sistema.

$$\min z = \sum_{a \in A} \int_0^{f_a} t_a(s) ds \quad [1]$$

Sujeto a:

$$\sum_{r \in R_{pq}} h_{pqr} = d_{pq} \quad \forall (p, q) \in C \quad [2]$$

$$h_{pqr} \geq 0 \quad \forall r \in R_{pq} \quad \forall (p, q) \in C \quad [3]$$

$$\sum_{(p,q) \in C} \sum_{r \in R_{pq}} \delta_{pqra} h_{pqr} = f_a \quad \forall a \in A \quad [4]$$

Donde:

- A: Conjuntos de arcos de la red
- t_a : Función de flujo velocidad en el arco (i, j)
- f_a : Flujo vehicular que circula en el arco (i, j)
- C: Conjunto de pares origen destino (p, q)
- d_{pq} : Demanda en el par (p, q)
- h_{pqr} : Flujo r en el par (p, q)
- δ_{pqra} : Constante igual a 1 si el camino corresponde al camino r

Para la solución del modelo planteado, Frank y Wolfe desarrollaron un algoritmo iterativo bajo la siguiente formulación:

$$\min z = \sum_{ij} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(u) du \quad [5]$$

Sujeto a:

$$D(j, s) + \sum_i x_{ij}^s = \sum_k x_{jk}^s \quad s = 1, \dots, p \quad [6]$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$j \neq s$$

$$x_{ij}^s > 0 \quad s = 1, \dots, p$$

Donde:

- n: Cantidad de nodos en la red
- p: Cantidad de nodos origen y destino
- x_{ij} : Flujo total a lo largo del arco (i, j)
- x_{ij}^s : Flujo total sobre el arco (i, j) con destino s
- $D(j, s)$: Flujo originado en el nodo j con destino s
- t_{ij} : Función que permite estimar el tiempo a lo largo del arco (i, j)

El modelo de equilibrio de Wardrop utiliza un proceso iterativo para alcanzar una solución; en cada iteración los flujos de las rutas en la red son calculados incorporando los efectos de las restricciones de capacidad de cada ruta y los tiempos de viaje como funciones del flujo.

2.6.1. Modelos estáticos de asignación de tráfico

Los modelos estáticos asumen una situación estacionaria de la demanda, esta suposición es válida para problemas planteados en un contexto de planificación estratégica o táctica, mientras que para aspectos operacionales se debería recurrir a modelos dinámicos.

Una vez conocida la movilidad en la zona de estudio, actual o futura, y definida la red de transporte que ha de soportarla, se trata de simular el comportamiento de ésta a través de la obtención de las cargas en la red que se deriven de la matriz de movilidad, o matriz O-D.

Los modelos de asignación de tráfico estáticos se centran en unas pocas horas del día, como las horas puntas, y trabajan con valores medios (demandas, tiempos, flujos, etc.) durante el periodo de estudio.

El problema partirá del número de usuarios que van a viajar en cada par origen destino e intentará modelizar el comportamiento de éstos en la red de transporte, intentando predecir las rutas que elegirán dentro de las distintas rutas o caminos posibles.

Con esto conseguiremos modelizar el flujo de tráfico en cada uno de los tramos que componen la red viaria, evaluando la congestión de cada tramo.

Los distintos modelos de asignación estáticos se pueden clasificar en función de cómo se considere que el usuario percibe el coste que le supone atravesar un arco. Si se asume que todos los usuarios perciben el coste de la misma manera y además, conocen los costes de todas las rutas (tienen información perfecta) estaremos considerando modelos de asignación determinista. Sin embargo, en la realidad, las percepciones de los costes están sujetas a variaciones y los usuarios eligen la ruta de acuerdo con su percepción, si se consideran los costes de esta forma, surgen los modelos de asignación estocástica.

- **Modelos de asignación determinista.-** Se supone que todo conductor percibe el mismo coste bajo las mismas condiciones de tráfico y que todos los conductores tienen completa información acerca de las diferentes alternativas posibles cuando toman la decisión de cómo y por donde van a efectuar su viaje. Cada usuario tiene información perfecta sobre sus rutas y la congestión de la red

Se pueden clasificar en función de que los costes en los arcos se consideren separables o no separables (asimétricos). (*) **Costes Separables: El coste en un arco sólo depende del volumen de tráfico en ese arco.**

Costes Asimétricos: El coste en un arco depende del volumen de tráfico en él y en los demás arcos.

Además, estos modelos se pueden clasificar según se considere o no que el coste de viaje en un arco depende o no del flujo en los arcos de la red, lo que originará modelos con y sin congestión. Los primeros son adecuados para centros urbanos y los segundos para zonas interurbanas.

Los modelos sin congestión son modelos también conocidos como modelo de asignación todo o nada. En ellos primero se determinan los caminos o rutas de coste generalizado mínimo entre todos los pares origen-destino. Para cada par origen destino se asignan todos los viajes de dicho par por dichos caminos. Finalmente, conocidos los flujos de cada ruta se obtienen los flujos en los arcos de la red.

- **Modelos de asignación estocástica.-** Que asume que los usuarios no poseen información perfecta de la red y perciben de forma distinta los inconvenientes y atributos de la misma. “El Equilibrio se alcanza cuando ningún usuario cree que su tiempo de viaje puede ser mejorado mediante un cambio en su ruta”.

Los modelos matemáticos de asignación de tráfico suponen que durante todo un determinado periodo de tiempo (p. ej., hora punta por la mañana) se mantienen las mismas condiciones de demanda. Es decir, que son estáticos y presuponen la existencia de situaciones estacionarias de equilibrio.

Análogamente a la clasificación anterior, podemos distinguir entre modelos con congestión y no congestión. En un entorno de no congestión, el esquema es común para todos los modelos. Primero realizan una determinación de todas las rutas existentes entre cada par origen-destino; especificando su coste. A continuación, para cada par origen-destino, en función del coste de las rutas, se crea la matriz de probabilidad de elección de ruta, después, para cada par, se asignan los viajes a la rutas creadas, en

función de la matriz de probabilidad de elección de ruta; finalmente, conocidos los flujos de ruta, se obtienen los volúmenes en los arcos. La diferencia fundamental entre los distintos métodos de este tipo estriba en la forma en que calculan las probabilidades de elección de los caminos (rutas).

2.6.2. Modelos dinámicos de asignación de tráfico

El problema de asignación dinámica de tráfico consiste en la estimación de los flujos de vehículos que utilizan los diferentes tramos de la red viaria, de manera variable con el tiempo, constituyendo por tanto una extensión del problema de asignación convencional o en equilibrio. Principalmente se han desarrollado modelos deterministas de asignación dinámica de tráfico bajo tres aproximaciones: Simulación Programación matemática Control óptimo sobre redes

2.6.3. Primer principio de Wardrop o equilibrio del usuario

El primer principio de Wardrop, dice: "Los tiempos de viaje en todas las rutas es igual (entre ellas), y menor al tiempo que experimentaría cualquier vehículo que decidiera cambiar a otra ruta. [5]

Bajo condiciones de equilibrio el tráfico se arregla de tal manera que ningún usuario puede mejorar su tiempo de viaje cambiando de ruta, en este caso, cada usuario, actuando de forma NO-cooperativa, es decir de forma egoísta, busca minimizar sus propios costos de transporte.

Los flujos de tráfico que satisfacen este principio de equilibrio de los flujos se definen tipo de "equilibrio" usuario (UE), ya que cada usuario elige el camino que es mejor para sí mismo.

Este equilibrio se alcanza cuando ningún usuario puede bajar más su tiempo de viaje (costo de transporte) por medio de una acción unilateral.

[5] Wardrop, J. G., 1952. Some theoretical aspects of road traffic research, Proceedings, Institution of Civil Engineers, PART II, Vol.1, pp. 325-378.

Los flujos de tráfico que satisfacen este principio se les llama flujos óptimos para el usuario, pues cada usuario elige la ruta que percibe como mejor para él.

La formulación básica del modelo de optimización siguiendo el principio de equilibrio del usuario de Wardrop (1952) está dada por la función objetivo [1] y las restricciones [2], [3] y [4].

$$\text{Min} \quad z(x) = \sum_{ij} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(w) dw \quad [1]$$

$$\text{Sujeto a} \quad \sum_r f_r^{od} = g^{od}, \forall o, d \quad [2]$$

$$x_{ij} = \sum_o \sum_d \sum_r f_r^{od} \delta_{ijr}^{od}, \quad \forall o, d \quad [3]$$

$$f_r^{od} \geq 0, \quad \forall r, o, d \quad [4]$$

Donde,

Conjuntos:

ij : Nodos de la red de dimensión $|N|$.

o, d : Nodos origen, destino.

r : Rutas definidas en la red entre los pares o-d.

N : Conjunto de arcos.

Parámetros

$t_{ij}(x_{ij})$: Tiempo de viaje en el arco ij , como función del flujo de viajes sobre el arco.

g^{od} : Demanda de viajes del origen o al destino d .

δ_{ijr}^{od} : 1 si el arco ij es parte de la ruta r que conecta a od , 0 de otro modo.

VARIABLES DE DECISIÓN

x_{ij} : Flujo en el arco ij : cantidad de viajes a través de ij .

f_r^{od} : Flujo en la ruta r que conecta el origen o y el destino d: cantidad de viajes que usan la ruta r para ir de o a d.

2.6.4. Segundo principio de Wardrop o equilibrio del sistema

El segundo principio de Wardrop, dicta que en el equilibrio, el tiempo promedio de viaje de todos los vehículos es mínimo. Esto implica que cada usuario se comporte de forma cooperativa en la elección de su propia ruta para garantizar el uso más eficiente de todo el sistema. Los flujos de tráfico que satisfacen el segundo principio de Wardrop son generalmente considerados "óptimos" del sistema" (SO).

La formulación básica del principio del óptimo del sistema está dada por la función objetivo [5] y las restricciones [6], [7] y [8]

$$\text{Min} \quad z(x) = \sum_{ij} x_{ij} t_{ij}(x_{ij}) \quad [5]$$

$$\text{Sujeto a} \quad \sum_r f_r^{od} = g^{od}, \forall o, d \quad [6]$$

$$x_{ij} = \sum_o \sum_d \sum_r f_r^{od} \delta_{ijr}^{od}, \quad \forall i, j \in N \quad [7]$$

$$f_r^{od} \geq 0, \quad \forall r, o, d \quad [8]$$

2.7. Teoría de asignación de tránsito y modelos de equilibrio

El lado de la oferta consta de una red de vías representada por los enlaces y sus costos. Los costos son una función de un número de atributos asociados con los arcos, por ejemplo, la distancia, la velocidad de flujo libre, la capacidad y una relación velocidad-flujo.

El lado de la demanda consta de una indicación del número de viajes, por par origen-destino y modo para un nivel dado de servicio.

En este contexto, uno de los elementos principales que define los niveles de servicios es el tiempo de viaje. La Teoría de Asignación de Tránsito tiene como objetivo predecir los flujos dentro de una red de transporte, que en este caso será la red vial urbana, asociados con ciertos escenarios hipotéticos, para generar estimaciones de las rutas de viaje.

El problema de encontrar el patrón de flujo de equilibrio sobre una red urbana dada es conocido como Asignación de Tránsito.

2.7.1 Asignación de Todo o Nada (AON)

Bajo la asignación AON (por sus siglas en inglés All or Nothing), todo el flujo de tráfico entre cada par origen destino es asignado a la ruta más corta que conecta dicho origen con su respectivo destino.

Este modelo no es realista en el sentido que puede existir otra ruta con tiempo de viaje, distancia o costo igual o cercano a la primera, por donde puede ser asignado flujo. También tiene el inconveniente que el tráfico en los arcos es asignado sin considerar la capacidad de la ruta o suponiendo que ésta es infinita y que no existe congestión, lo cual en redes urbanas es imposible que suceda.

Por otra parte, el tiempo de viaje es fijo y no varía con la cantidad de flujo en los arcos, lo cual también no representa la realidad de una red vial urbana.

2.7.2. Asignación STOCH

Este tipo de asignación distribuye viajes entre pares origen-destino a través de múltiples rutas alternativas que conectan dichos pares origen - destino. La proporción de viajes que es asignada a una ruta en particular equivale a la probabilidad de flujo para esa ruta, que se calcula mediante el modelo logit.

En general este modelo dice que mientras más pequeño sea el tiempo de viaje de una ruta con respecto a otras, es más alta la probabilidad de ser elegida por los conductores.

Por otra parte, no asigna flujo a todas las rutas alternativas, sólo a aquellas que considera contienen arcos razonables.

Entendiéndose por arco razonable aquel que puede llevar una unidad de flujo lo más lejano posible de su origen o lo más cercano a su destino.

De igual forma, el tiempo de viaje es fijo y no varía con el volumen, lo cual no representa un modelo de equilibrio.

2.7.3. Asignación de Incrementos

Este método asigna fracciones del volumen de tráfico, por pasos. En cada paso una proporción fija del total de la demanda es asignada mediante el “Todo o Nada”

Después de cada paso los tiempos de viaje en los arcos son recalculados de acuerdo al volumen en dichos arcos. Mientras mayor sea el número de incrementos usados, el flujo tiende a parecerse a una asignación de equilibrio, sin ser un método de equilibrio. Por lo que esta posibilidad deja la puerta abierta de que existan inconsistencias entre los volúmenes y los tiempos de viaje, lo que puede llevar a resultados erróneos de la evaluación. Otro inconveniente es que esta asignación es influenciada por el orden en son asignados los pares origen-destino, aumentando la posibilidad de errores en los resultados.

2.7.4. Restricción de Capacidad

Este método intenta aproximarse a una solución de equilibrio por medio de iteraciones entre las salidas del AON y el tiempo de viaje en el arco, el cual es recalculado con base en la congestión en función de la capacidad.

Desafortunadamente este método no converge y puede mantenerse iterando entre los valores de ciertos arcos.

Algunos programas computacionales implementan este método tratando de cubrir este problema por medio de una ponderación de los tiempos de viaje y promediando el flujo de las últimas iteraciones.

Este método no converge en una solución de equilibrio y tiene el problema adicional que los resultados son extremadamente dependientes del número de iteraciones, esto quiere decir que realizar una iteración más o una menos cambia sustancialmente el resultado.

2.7.5. Optimización del Sistema (System Optimum Assignment, SO)

Este método calcula una asignación que minimiza el tiempo total de viaje para toda la red. En este modelo ningún usuario puede cambiar de ruta sin que se aumente el tiempo total de viaje del sistema, a pesar de que es posible se reduzca el tiempo particular de viaje de dicho usuario. Este método puede considerarse como un modelo que permite minimizar la congestión, si se asigna a cada conductor una ruta y éste la respeta en todo momento, lo cual hace de este modelo sea poco realista aunque puede ser usado para redes especiales o en un futuro utilizando sistemas avanzados de información sobre transporte (ATIS).

2.7.6. Equilibrio del Usuario / Determinístico (User Equilibrium; UE)

Este método utiliza un proceso iterativo para lograr una solución convergente en donde ningún conductor puede mejorar su tiempo de viaje mediante el cambio de su ruta. En cada iteración se calcula el flujo en cada arco, incorporando las restricciones de capacidad y los tiempos de viaje que dependen del flujo.

Otra ventaja es que este método toma en cuenta una situación más realista del comportamiento vehicular, donde cada conductor elige la ruta que más le conviene (que minimiza su tiempo o costo de viaje).

Por otra parte se asume que cada conductor cuenta con información precisa de la red y sus rutas alternativas, y que todos los conductores cuentan con la misma información de la red.

Este método señala que una vez que se alcance el equilibrio, ningún conductor puede reducir su tiempo de viaje mediante el cambio de ruta. El problema en la práctica es la falta de información precisa de los conductores sobre la red, además de que requiere que todos los conductores piensen de la misma manera.

Este método es el más realista y que se adapta a las características del problema de tráfico en una red vial urbana, así que fue seleccionado para analizar el tráfico en la red de la ciudad de Moyobamba.

Estos modelos toman como datos de entrada una matriz (O-D) que indica el volumen de tráfico entre pares de origen y destino, y en caso de no contar con esta matriz se puede tomar datos de aforos y una matriz O-D base.

Los flujos para cada par O-D son cargados sobre la red, con base en el tiempo de viaje de las diferentes rutas alternativas que pudieran tomar este tráfico.

2.7.7. Equilibrio Estocástico del Usuario (Stochastic User Equilibrium; SUE)

Un modelo de equilibrio alternativo fue propuesto por **Daganzo y Sheffi (1977)** conocido como el **Equilibrio Estocástico**, el cual está basado en la **hipótesis de que los usuarios tienen información imperfecta acerca de las condiciones de las rutas de la red**, en este caso los usuarios consideran que pueden mejorar su utilidad esperada eligiendo una ruta diferente.

Este método asume que los usuarios no poseen información exacta de la red y perciben los costos y atributos de la red de forma distinta.

A diferencia del modelo determinista UE, el SUE produce asignaciones más realistas, debido a que el primero permite el uso de las rutas más atractivas como de las menos atractivas. Con este método las rutas menos atractivas tendrán menor uso, pero no tendrán flujo cero, tal y como sucede bajo el modelo UE.

El equilibrio se alcanza cuando ningún conductor crea que su tiempo de viaje puede ser mejorado mediante un cambio unilateral de ruta.

Aunque este modelo pueda ser más realista que el UE, no se tiene un conocimiento de las rutas que tienen una mayor probabilidad de ser usadas ni de la percepción de los usuarios.

2.8. Modelos de Optimización

Un problema de optimización viene caracterizado por tres elementos: las variables del problema que definen el conjunto de decisiones, la función

objetivo que evalúa el coste o el beneficio de la decisión y el conjunto de soluciones que determina las decisiones válidas que pueden llevarse a cabo. Más formalmente, sea $f: S \rightarrow \mathbb{R}$ una función, X un subconjunto de S que se denomina conjunto factible de soluciones, entonces el problema de optimización (versión minimización) se formula como:

$$\begin{array}{ll} \text{Minimizar } & f(x) \\ \text{Sujeto a } & x \in X \end{array} \quad (9)$$

La forma de abordar el problema (9) es analizar situaciones particulares. Se van a exigir, tanto a f como a X , propiedades que sean suficientemente generales para poder ser utilizadas en las aplicaciones en estudio, y lo suficientemente fuertes para obtener resultados de interés. La hipótesis más débil que suele exigirse a X es que sea un conjunto cerrado. En los modelos que estudiaremos asumiremos que el conjunto X es convexo, incluso en la mayoría de los casos, tendremos propiedades aún más fuertes como la de ser un conjunto poliédrico (definido mediante restricciones lineales). Las condiciones para f son de dos tipos. Por un lado se exigen ciertas condiciones de regularidad local para poder caracterizar los extremos (mínimos) locales del problema y por otro, se exigen propiedades acerca del comportamiento global de la función, de modo que permitan garantizar que tales extremos locales son también extremos globales ahondar más sobre el tema en [6].

Los modelos de optimización aplican la teoría de optimización a simulaciones urbanas (asumen que la distribución de las actividades urbanas pueden ser ubicadas de tal manera que se optimicen algunas funciones objetivo, por ejemplo, el costo del transporte). Los modelos generalmente tienen contenidos que se ubican en ellos para asegurar que el sistema que está siendo simulado concuerde con las observaciones.

Para describir complejas situaciones humanas y sociales, esto debería escribirse en una expresión matemática que contenga una o más variables, cuyos valores deben determinarse.

[6] Alonso Revenga J. "Flujo en Redes y Gestión de Proyectos". Netbiblo S. L. La Coruña, España 2008.

La pregunta que se formula, en términos generales, es qué valores deberían tener estas variables para que la expresión matemática tenga el mayor valor numérico posible (maximización) o el menor valor numérico posible (minimización). A este proceso general de maximización o minimización se lo denomina optimización.

La optimización, también denominada programación matemática, sirve para encontrar la respuesta que proporciona el mejor resultado, la que logra mayores ganancias, mayor producción o felicidad o la que logra el menor costo, desperdicio o malestar. Con frecuencia, estos problemas implican utilizar de la manera más eficiente los recursos, tales como dinero, tiempo, maquinaria, personal, existencias, etc. Los problemas de optimización generalmente se clasifican en lineales y no lineales, según las relaciones del problema sean lineales con respecto a las variables.

La Programación Matemática, en general, aborda el problema de determinar asignaciones óptimas de recursos limitados para cumplir un objetivo dado. El objetivo debe representar la meta del decisor. Los recursos pueden corresponder, por ejemplo, a personas, materiales, dinero o terrenos. Entre todas las asignaciones de recursos admisibles, queremos encontrar las que maximizan o minimizan alguna cantidad numérica tal como ganancias o costos.

El objetivo de la optimización global es encontrar la mejor solución de modelos de decisiones difíciles, frente a las múltiples soluciones locales.

2.9. Programación Lineal y Programación no lineal

2.9.1. Programación lineal

La programación lineal (PL), que trata exclusivamente con funciones objetivos y restricciones lineales, es una parte de la programación matemática, y una de las áreas más importantes de la matemática aplicada. Se utiliza en campos como la ingeniería, la economía, la gestión, y muchas otras áreas de la ciencia, y la

industria. Debemos notar que cualquier problema de programación lineal requiere identificar cuatro componentes básicos:

- El conjunto de datos.
- El conjunto de variables involucradas en el problema, junto con sus dominios respectivos de definición.
- El conjunto de restricciones lineales del problema que definen el conjunto de soluciones admisibles.
- La función lineal que debe ser optimizada (minimizada o maximizada).

El objeto de la programación lineal es optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal de n variables sujeto a restricciones lineales de igualdades o desigualdades. Más formalmente, se dice que un problema de programación lineal consiste en encontrar el óptimo (máximo o mínimo) de una función lineal en un conjunto que puede expresarse como la intersección de un número finito de hiperplanos y semiespacios en \mathbb{R}^n .

2.9.2. Programación no lineal

Un modelo de programación no lineal (PNL) es aquel donde las variables de decisión se expresan como funciones no lineales ya sea en la función objetivo y/o restricciones de un modelo de optimización. Sea $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ una función continuamente diferenciable (es decir sus derivadas parciales existen y son continuas) y $\Omega \subseteq \mathbb{R}^n$ un conjunto convexo.

El problema de optimización consiste en:

$$\text{mín } f(x) \text{ s.a. } x \in \Omega$$

Se dice que el problema no es lineal si f o las funciones que se definen en el conjunto Ω son no lineales. Una solución óptima de este problema se dice que es mínimo global de f en Ω . En la práctica

difícil, por lo que en la mayoría de los algoritmos de optimización no lineal procuran obtener un mínimo local de f , es decir un mínimo x' de f en una vecindad de x' . El concepto de punto estacionario de f en Ω está asociado a la

determinación de un mínimo local o global de f en Ω . Se dice que x' es un punto estacionario de f en Ω si:

$$\nabla f(x')^T (x - x') \geq 0, \quad \text{para todo } x \in \Omega \quad (2.7)$$

Esto es, si x es mínimo global del problema de optimización:

$$\text{mín } f(x) \quad \nabla f(x')^T x \in \Omega$$

Donde,

$\nabla f(x)$ representa

(para la ilustración de este concepto considere el siguiente problema de programación lineal:

$$\text{mín } c^T x \text{ s.a. } Ax = b, x \geq 0$$

Entonces:

$$\Omega = \{x \in \mathbb{R}^n : Ax = b; x \geq 0\}$$

Es el conjunto convexo y x' es el punto estacionario de f en Ω si y solo si:

$$c^T x' \leq c^T x, \quad x \in \Omega$$

Así mismo para programas lineales, x' es punto estacionario de f en Ω si y solo si x' es mínimo global de f en Ω .

Para problemas de optimización no lineales, el resultado no es en general válido, más es posible establecer algunas propiedades que ilustran la importancia de los conceptos de punto estacionario en optimización no lineal diferenciable. Para establecer necesitamos los siguientes conceptos:

Teorema 2.6.2.1. Si f es continuamente diferenciable en \mathbb{R}^n , entonces para cualquier $x, x' \in \mathbb{R}^n$, existe por lo menos un $\tilde{x} \in \langle x', x \rangle$ tal que:

$$f(x) = f(x') + \nabla f(\tilde{x})^T (x - x')$$

Teorema 2.6.2.2. Una función f continuamente diferenciable es convexa en el conjunto convexo Ω (esto es $f(\lambda x_1 + (1 - \lambda) x_2) \leq \lambda f(x_1) + (1 - \lambda) f(x_2)$ para todo $\lambda \in [0, 1]$ y $x_1, x_2 \in \Omega$), si y solo si

$$f(x) \geq f(x') + f'(x')^T (x - x')$$

Como consecuencia de estos dos teoremas es posible probar las siguientes propiedades.

Teorema 2.6.2.3. Si x' es mínimo local o global de f en Ω , entonces x' es punto estacionario de f en Ω .

Teorema 2.6.2.4. Si f es convexa en Ω , entonces x' es punto estacionario de f en Ω si y solo si x' es mínimo global de f en Ω .

2.10. Algoritmos

Son técnicas que se utilizan para resolver problemas de optimización que brindan cierto grado de confiabilidad a los resultados que entregan para que se puedan convertir en información confiable para la toma de decisiones.

2.10.1. Función de impedancia

Los modelos de equilibrio operan a partir de una matriz de flujos que indican el volumen de tránsito entre cada par origen - destino (O-D) y están basados en el tiempo de traslado en rutas alternativas. El tiempo de traslado es considerado como una función del volumen o grado de saturación de la ruta y es conocido como función de impedancia. Una de las funciones que con más frecuencia es utilizada en el cálculo del equilibrio es la llamada BPR (Bureau of Public Roads), la que establece que el tiempo de traslado está dado por:

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

En donde:

t: tiempo de viaje sobre la ruta congestionada.

t_f: tiempo de viaje considerando flujo libre en la ruta.

v: volumen de la ruta.

c: capacidad de la ruta.

α, β : parámetros de calibración.

2.10.2. Parámetros α y β

Conocidos los valores de V/C y establecidos los datos de tiempo, para calcular α y β se consideró los valores comúnmente utilizados, La empresa Caliper que desarrolló el programa TransCad recomienda emplear $\alpha=0.15$ y $\beta=4$, mientras que en el informe de NHCRP 3 – 55 elaborado por la Federal Highway Administration (FHWA) de Estados Unidos de Norteamérica sugiere $\alpha=0.05$ para vías arteriales semaforizadas y $\alpha=0.20$ para el resto de vías y un $\beta=10$ en ambos casos (Meyer y Miller – 2001)

En general se recomienda que los valores de α y β se estimen para cada área de estudio y dentro de los siguientes parámetros (Fricker y Moffet – 1999).

$$0 \leq \alpha \leq 2$$

$$1 \leq \beta \leq 10$$

Adicionalmente se incluye un mínimo valor de la velocidad congestionada igual al 25% de la velocidad de flujo libre una velocidad de flujo libre de 50 km/h, en la cual se puede observar con claridad la limitación en la velocidad mínima.

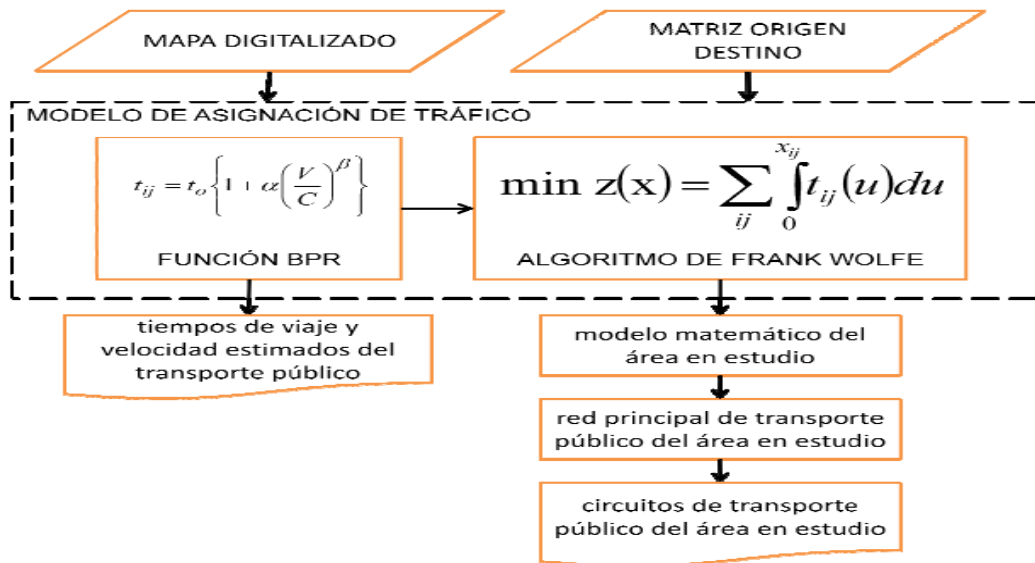


Figura N° 2.4: Esquema de la modelación de la asignación de tráfico

2.11. Jerarquización de vía

El sistema vial es el principal soporte de los flujos generados por las actividades urbanas y es también el principal estructurador de las ciudades, determinando la localización de las actividades urbanas y sus limitaciones de expansión.

La Velocidad de Diseño.- Es el elemento determinante en la morfología del eje en planta y en perfil, además condiciona o gobierna directamente la elección de algunos elementos de la sección transversal (peralte, transición del peralte, ancho de los canales de circulación vehicular).

La Capacidad.- La demanda de circulación vehicular por una determinada vía debe ser confrontada con su capacidad para atender a dicha demanda. Ahora bien, los elementos físicos de la vía que le confieren una determinada capacidad son: el número de canales, el ancho de los mismos, la existencia de separador de las corrientes de tránsito contrarias, etc.

Función de las Vías Urbanas.- Un sistema vial urbano desempeña dos funciones principales:

- Da acceso a las propiedades colindantes
- Permite la circulación, creando los intercambios entre las diversas funciones que se desarrollan en una ciudad y facilita la movilización de sus habitantes.

Clasificación Funcional del Sistema Vial.- Los principales aspectos funcionales que definen la clasificación de una vía urbana son:

- El tipo de tránsito que permite.
- El uso del suelo colindante (acceso a los lotes urbanizados y desarrollo de establecimientos comerciales).
- El espaciamiento (considerando a la red vial en su conjunto).

Plan de Clasificación.- El Plan de Clasificación de las vías de una ciudad, establecerá los sistemas y subsistemas viales, y la forma y la extensión de cada uno de ellos determinaran los factores básicos que permitan asignar funciones específicas para dichos sistemas y un objetivo a cada uno de ellos.

La clasificación de vías es de carácter funcional, es decir, se basa en la función que cumple cada una de ellas dentro de la estructura urbana de la ciudad. La clasificación de vías considera las siguientes categorías:

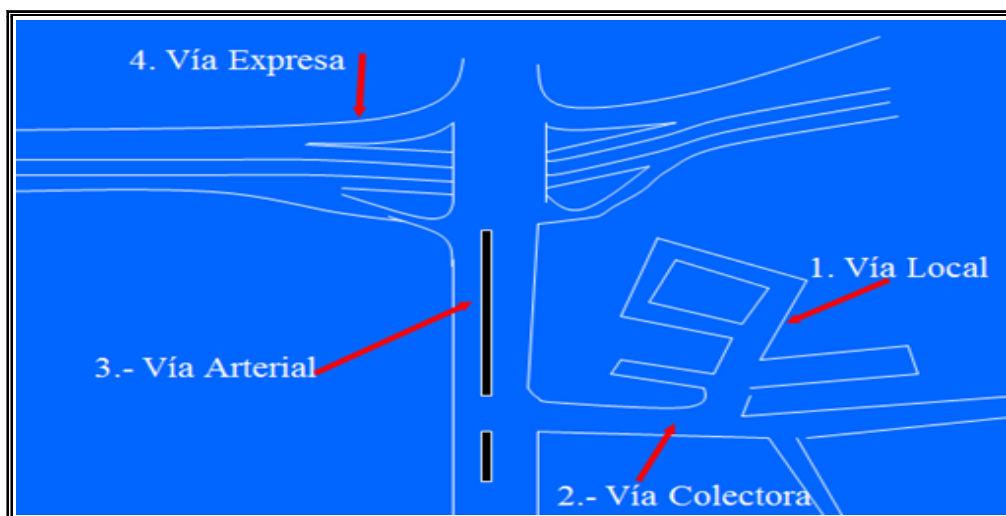


Figura N° 2.5: Clasificación jerárquica del sistema vial

Fuente: Rincon del vago

a). **Vías Expresas**

Son aquellas vías que soportan importantes volúmenes de vehículos con circulación de alta velocidad, en condiciones de flujo libre. Unen zonas de importante generación de tránsito, extensas zonas de vivienda, concentraciones comerciales e industriales. Así mismo integran la ciudad con el resto del país.

En estas vías el flujo es ininterrumpido; no existen cruces al mismo nivel con otras vías, sino a diferentes niveles ó con intercambios especialmente diseñados. Las Vías Expresas sirven también a las propiedades vecinas mediante rampas y vías auxiliares de diseño especial.

Las Vías Expresas pueden recibir vehículos livianos y cuando sea permitido vehículos pesados, cuyo tráfico debe ser tomado en consideración para el diseño geométrico, especialmente en el caso de las Carreteras que unen la ciudad con el resto del país. [7]

En caso se permita servicio de transporte público de pasajeros, éste debe desarrollarse por buses, preferentemente en calzadas exclusivas con paraderos debidamente diseñados. No se permite la circulación de vehículos menores.

Las Vías Expresas, de acuerdo al ámbito de su jurisdicción, pueden subdividirse en: Nacionales/Regionales; Subregionales y Metropolitanas:

Las Vías Expresas Nacionales son aquellas que forman parte del Sistema Nacional de Carreteras, que cruzan el Área Metropolitana de una ciudad y la vinculan con el resto del país. Están destinadas fundamentalmente para el transporte interprovincial y el transporte de carga, pero en el área urbana metropolitana absorben flujos del transporte urbano.

Las Vías Expresas Subregionales son aquellas que integran la Metrópolis con distintas Subregiones del país, no reciben grandes flujos vehiculares y pueden tener una menor longitud que las Vías Regionales.

Las Vías Expresas Metropolitanas son aquellas que sirven directamente al área urbana metropolitana. El espaciamiento deseable entre los corredores de las vías expresas, varía entre 4 y 10 Km.

[7] Verónica Zavala Lombardi, Ministra de Transportes y Comunicaciones, Reglamento de Jerarquización Vial, MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, Decreto Supremo N° 017-2007-MTC, Perú

En el primer caso para el área central y el segundo en áreas de expansión urbana, condicionado por zonas generadoras de tránsito, por la topografía y por factores relacionados con el uso del suelo.

- **Características del flujo**

En estas vías el flujo es continuo, porque no existen cruces al mismo nivel con otras vías, sino solamente mediante puentes o distribuidores a desnivel.

- **Tipos de vehículo**

Por las vías de acceso controlado circulan principalmente vehículos ligeros, aunque se permite un buen porcentaje de vehículos pesados, cuyo volumen es tomado en cuenta para su diseño geométrico.

Para el transporte colectivo de pasajeros, ocasionalmente se permite el servicio de autobuses en carriles exclusivos, con paradas debidamente diseñadas cerca de los cruces a desnivel y con bahías de parada.

- **Clasificación**

Las autopistas se clasifican en tres tipos: Autopistas a nivel son aquellas cuya rasante, en su mayor longitud, está prácticamente a la misma altura que las calles transversales. Autopistas elevadas o viaductos son aquellas cuya rasante se encuentra a un nivel más alto que el de las calles transversales. Normalmente son diseñadas con estructuras a base de marcos y con columnas colocadas de tal forma que dejan grandes espacios libres debajo de ellas, usados como calles de servicios para las propiedades colindantes o como estacionamiento. Autopistas inferiores son aquellas cuya rasante está a un nivel inferior al de las calles transversales.

- **El carril de tránsito**

La circulación de vehículos en una sola fila debe ser mínimo es de 3.50m. y el recomendado 3.60m.

b). Vías Arteriales

Son aquellas que también llevan apreciables volúmenes de tránsito entre áreas principales de generación de tránsito y a velocidades medias de circulación. A grandes distancias se requiere de la construcción de pasos a desnivel y/o intercambios que garanticen una mayor velocidad de circulación. Pueden desarrollarse intersecciones a nivel con otras Vías Arteriales y/o colectoras. El diseño de las intersecciones deberá considerar carriles adicionales para volteos que permitan aumentar la capacidad de la vía.

En las Vías Arteriales se permiten el tránsito de los diferentes tipos de vehículos. El transporte público autorizado de pasajeros debe desarrollarse preferentemente por buses, debiendo realizarse por calzadas exclusivas cuando el derecho de vía así lo permita o carriles segregados y con paraderos debidamente diseñados para minimizar las interferencias con el tránsito directo.

Las Vías Arteriales deberán tener preferentemente vías de servicio laterales para el acceso a las propiedades. En las áreas centrales u otras sujetas a limitaciones de sección, podrán no tener vías de servicio.

Cuando los volúmenes de tránsito así lo justifiquen, se construirán pasos a desnivel entre la Vía Arterial y alguna de las vías que la interceptan, aumentando sensiblemente el régimen de capacidad y de velocidad. El sistema de Vías Arteriales se diseña cubriendo el área de la ciudad por una red con vías espaciadas entre 1,000 a 2,000 metros entre sí.

- Características del flujo

En estas vías se deben evitar las interrupciones en el flujo de tránsito mediante el bloqueo de intersecciones con las calles locales. En las intersecciones permitidas, se deben semaforizar los cruces de vehículos y peatones. Los semáforos que estén próximos, deberán ser interconectados y sincronizados para minimizar las interferencias al tránsito de paso.

Los peatones deben cruzar solamente en las intersecciones, o en pasos especialmente diseñados para ellos.

Los puntos de parada del transporte público deberán estar diseñados para minimizar las interferencias con el tránsito de paso

En las intersecciones pueden diseñarse carriles adicionales para giros, sobre todo a la izquierda, con el fin de aumentar su capacidad.

- **Tipos de vehículos**

Las arterias pueden ser usadas por todos los tipos de vehículos. Se admite un porcentaje reducido de vehículos pesados y para el transporte colectivo de pasajeros, se permite el servicio con un tratamiento especial en vías o carriles exclusivos y con paradas debidamente diseñadas.

- **Clasificación**

Las arterias son futuras autopistas, se clasifican como éstas últimas de la siguiente manera: Arterias a nivel son aquéllas cuya rasante, en su mayor longitud, está prácticamente a la misma altura que las calles transversales. Arterias elevadas son aquellas cuya rasante se encuentra a un nivel más alto que el de las calles transversales. Generalmente son diseñadas con estructuras a base de marcos y con columnas colocadas de tal forma que dejan espacios libres, mismos que son usados como calles de servicio para las propiedades colindantes o como estacionamiento. Arterias inferiores son arterias cuya rasante está a un nivel inferior al de las calles transversales.

- **Características de los Sistemas**

Aun cuando se han caracterizado dos sistemas de vías superficiales, atendiendo a la característica acceso o a la característica movimiento, en la práctica se llega al nivel de los sub.-sistemas para los planes de clasificación.

Son fundamentales y existen en la generalidad de los planes, tres sistemas: Arterial, Colector y Local. Cuando las ciudades se hacen mayores, aparecen grandes volúmenes de tránsito y las distancias de recorrido se alargan, se debe recurrir a un cuarto sistema que sería el expreso.

- **El carril de tránsito**

La circulación de vehículos en una sola fila debe ser mínimo es de 3.30m. y el recomendado 3.50m.

c). **Vías Colectoras**

Son aquellas que tienen por función llevar el tránsito desde un sector urbano hacia las vías Arteriales y/o vías Expresas. Sirven por ello también a una buena proporción de tránsito de paso. Prestan además servicio a las propiedades adyacentes.

El flujo de tránsito es interrumpido frecuentemente por intersecciones semaforizadas en los cruces con vías Arteriales y otras vías colectoras. En el caso que la vía sea autorizada para transporte público de pasajeros se deben establecer y diseñar paraderos especiales.

El sistema de Vías Colectoras se diseña cubriendo el área de la ciudad por una red con vías espaciadas entre 400 a 800 mts. entre sí.

- **Características del flujo**

El flujo de tránsito es interrumpido frecuentemente por intersecciones semaforizadas, cuando se conectan con arterias; y con controles simples, con señalización horizontal y vertical, cuando intersectan con calles locales. El estacionamiento de vehículos se realiza en estas vías en áreas adyacentes, especialmente destinadas para este propósito.

La velocidad estará entre los 25 y los 40 Km. por hora, dependiendo de la hora, el volumen y el régimen de operación.

En general, las vías colectoras estarán dotadas de 2 canales de circulación por sentido y se añadirán los hombrillos o espacios laterales necesarios de acceso, carga y descarga, estacionamiento y operación de transporte público, según el caso. La capacidad de estas vías permite acomodar unos 300 vehículos por hora y por canal en las horas pico, dependiendo de las características del tránsito y la existencia o no de estacionamiento.

- **Tipos de vehículo**

Las vías colectoras pueden ser usadas por todo tipo de tránsito vehicular, quedando solo para las áreas comerciales e industriales un elevado porcentaje de camiones. Para el sistema de autobuses se podrán diseñar paradas especiales y/o carriles adicionales para cruces.

- **El carril de tránsito**

La circulación de vehículos en una sola fila debe ser mínimo es de 3.00m. y el recomendado 3.50m.

d). Vías Locales

Son aquellas cuya función es proveer acceso a los predios o lotes adyacentes. Su definición y aprobación, cuando se trate de habilitaciones urbanas con fines de vivienda, corresponderá de acuerdo a Ley, a las municipalidades distritales, y en los casos de habilitaciones industriales, comerciales y de otros usos, a la Municipalidad Metropolitana de Lima o a las Provinciales.

Las velocidades en vías locales deben ser bajas ya que el objetivo de este sistema es el proporcionar acceso a las edificaciones adyacentes, por lo que ocurren paradas frecuentes de los vehículos y gran cantidad de movimientos de viraje, así como un alto uso de la circulación peatonal. Para cualquier uso de la tierra se considera aceptable una velocidad de operación entre 15 y 35 Km. por hora, en las vías del sistema local.

La capacidad de las vías de este sistema no es dominante en las zonas residenciales de densidad baja o media, y será suficiente disponer el espacio necesario para la circulación en ambos sentidos y permitir el estacionamiento eventual y el acceso a las edificaciones. Sin embargo, en áreas comerciales e industriales y en áreas de vivienda de alta densidad ocurrirán volúmenes importantes y la demanda de estacionamiento será creciente. En tales casos, la vía podrá tener hasta dos canales de circulación por sentido y los espacios necesarios para las actividades adicionales. La circulación de vehículos en una sola fila debe ser mínimo es de 2.70m. y el recomendado 3.00m.

En el cuadro N° 2.2, se muestra los criterios de clasificación funcional.

Cuadro 2.2:

Resumen de los criterios de clasificación

	S I S T E M A S			
	EXPRESO	ARTERIAL	COLECTOR	LOCAL
SERVICIO				
MOVIMIENTO	PRIMARIO	PRIMARIO	PRIMARIO Y SECUNDARIO	SECUNDARIO
ACCESO	CONTROLADO	SECUNDARIO	PRIMARIO Y SECUNDARIO	PRIMARIO
VIAJE PRINCIPAL (LONGITUDINAL)	> 5 Km	> 2 Km	< 2 Km	< 1 Km
TRANSPORTE PUBLICO				
RUTA	EXPRESO	REGULAR	REGULAR	SOLO EN EL CENTRO DE LA CIUDAD Y EN OTRAS AREAS DONDE SE REQUIERA
SERVICIO	CONTROLADO	NORMAL	NORMAL	
CONEXIÓN				
USOS DE LA TIERRA	GENERADORES PRINCIPALES Y CENTRO DE LA CIUDAD	GENERADORES PRINCIPALES Y SECUNDARIOS	URBANIZACIONES, AREAS DE MAYOR ACTIVIDAD, SERVICIOS	PARCELAS
CARRETERAS	TRONCALES	LOCALES	CAMINOS VECINALES	NINGUNA
ESPACIAMIENTO	2 - 8 Km	1.5 Km (mínimo)	400 - 800 Km	

Fuente: Rincon del vago

En las tablas N° 2.2 y 2.3, se muestra los criterios de capacidad de las vías urbanas según su clasificación funcional, ancho de calzada y sentido de circulación.

Tabla N° 2.2:

Capacidad en vías urbanas

UN SENTIDO DE CIRCULACION - CAPACIDAD EN VEHICULOS EQUIVALENTES POR HORA

ANCHO DE CALZADA (m)	6.00	6.60	7.20	9.00	9.90	10.80	12.00	13.20	14.40
VIA ARTERIAL (CON ACCESOS ESPACIADOS, ESTACIONAMIENTO PROHIBIDO)	2,000	2,200	2,400	3,000	3,300	3,600	4,000	4,400	4,800
VIA COLECTORA (RESTRICCIÓN PARA ESTACIONAR Y ALTA CAPACIDAD EN LAS INTERSECCIONES)	1,300	1,450	1,600	2,150	2,400	2,650	3,000	3,350	3,700
VIA LOCAL (CAPACIDAD RESTRINGIDA POR VEHICULOS ESTACIONADOS E INTERSECCIONES FRECUENTES)	800	950	1,100	1,650	1,900	2,150	2,500	2,800	3,200

Fuente: Rincon del vago

Tabla 2.3:

Capacidad en vías urbanas
DOS SENTIDOS DE CIRCULACION - CAPACIDAD EN VEHICULOS EQUIVALENTES POR HORA

ANCHO DE CALZADA (m)	TOTAL EN AMBAS DIRECCIONES						PARA UNA SOLA DIRECCION					
	DOS CANALES			TRES CANALES			CUATRO CANALES			SEIS CANALES		
	6.00	6.60	7.20	9.00	9.90	10.80	12.00	13.20	14.40	18.00	19.80	21.60
VIA EXPRESA (CON ACCESOS CONTROLADOS Y CON)									3,000			4,500
VIA ARTERIAL (CON ACCESOS ESPACIADOS, ESTACIONAMIENTO PROHIBIDO)	1,200	1,350	1,500	2,000	2,200	2,400	2,000	2,200	2,400	3,000	3,300	3,600
VIA COLECTORA (RESTRICCIÓN PARA ESTACIONAR Y ALTA CAPACIDAD EN INTERSECCIONES)	800	1,000	1,200	1,600	1,800	2,000	1,200	1,350	1,500	*	*	*
VIA LOCAL (CAPACIDAD SEVERAMENTE RESTRINGIDA POR VEHICULOS ESTACIONADOS E INTERSECCIONES)	300 a	450 a	600 a	900 a	1,100 a	1,300 a	800 a	900 a	1,000 a	1,300 a	1,500 a	1,600 a
	500	600	750	1,100	1,300	1,500	900	1,000	1,200	1,700	2,000	2,200

* SE CONSIDERA QUE EN VIAS DE 3 CANALES POR SENTIDO, NO DIVIDIDOS, ESTOS VALORES SE AUMENTARAN EN 200 V=eq/h

Fuente: Rincon del vago

CAPITULO III
MARCO METODOLOGICO

3. Introducción

En este capítulo se describe el tipo de investigación en el cual se ubica el estudio de la tesis. Se desarrollaran los métodos requeridos de acuerdo al problema investigado.

El enfoque comienza considerando la red de transporte y una división en zonas del área en estudio, y la recolección y codificación de datos de planificación, calibración y validación. Estos datos incluyen viajes realizados por la población en diferentes modos, luego estos datos son usados para estimar un modelo del número total de viajes generados y atraídos por cada zona del área de estudio (generación de viajes). El siguiente paso es la asignación de estos viajes a destinos particulares, en otras palabras, su distribución sobre el espacio, produciendo así una matriz de viajes. Finalmente, la última etapa requiere la asignación de los viajes por cada modo a sus redes correspondientes.

3.1. Periodo de modelación

El modelamiento de la distribución de los viajes se desarrollará para la hora punta y por modo utilizado, el procedimiento consistirá en seleccionar todos los viajes hora a hora de las 24 horas encuestadas de cada miembro de hogar mayor a 5 años que constituyen las 22 ZAT, luego se separaran los viajes hora a hora para identificar la hora punta más cargada, prosiguiendo luego con el ploteo de la demanda Vs. La hora de salida, eligiendo la hora más cargada. Los viajes totales se obtuvieron a partir de la expansión de la muestra de viajes por cada zona.

3.2. Construcción de vectores origen-destino

Para la confección de los vectores Origen-Destino se tendrá en cuenta la hora punta seleccionada sumando cada uno de los viajes de los pares O-D correspondientes para luego expandir al total de la población.

De la encuesta de viajes de personas se obtendrá matrices de pasajeros por modo de transporte, así mismo se hará conteos en la vía en puntos o zonas de mayor flujo, con esos conteos se estimará el número de personas por cada tipo de

vehículo. A los vectores de cada tipo de pasajeros se les dividirá entre la capacidad promedio y se obtendrá los vectores de vehículos.

Los vectores de producción y atracción son resultados provenientes de la encuesta Viaje-Persona, expandidos y ajustados de acuerdo a los modelos de generación y atracción de viajes; luego se calculan los valores de las celdas de la matriz mediante los modelos de distribución.

i / j	Zona 001	Zona 002	...	Zona 101	Zona 102	Total (O _i)
Zona 001						
Zona 002						
...				V _{ij}		O _i = Σ fila i
Zona n						
Total (D _j)				D _j = Σ columna j		

Vector de atracción de viajes

Vector de producción de viajes

Figura N° 3.1: Construcción de la matriz origen - destino (matriz O-D)

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, de lo que se trata es de llenar la matriz cuyos elementos deben cumplir:

$$P_i = \sum_{j=1}^n T_{i,j} \quad ; \quad A_j = \sum_{i=1}^n T_{i,j}$$

En la matriz de tamaño m x n, donde:

T_{ij}: Viajes entre un origen i y un destino j

P_i : Total de viajes producidos en el origen i

A_j: Total de viajes atraídos en el destino j

3.3. Modelo de distribución gravitacional doblemente acotado

Con el modelo de distribución se trata de estimar el número de viajes en cada celda de la matriz, según la información disponible.

El enfoque comienza considerando la red de transporte y una división en zonas del área en estudio, y la recolección y codificación de datos de planificación. Estos datos incluyen niveles de población y números de viajes en cada zona del área de estudio. Luego estos datos son usados para estimar un modelo de asignación de los viajes a destinos particulares, en otras palabras, su *distribución* sobre el espacio, produciendo así una matriz de viajes a diferentes modos.

Para preparar este modelo son necesarios los siguientes datos:

- P_i : Vector producción de cada zona i .
- A_j : Vector atracción de cada zona j .
- d_{ij} : Impedancia entre cada par de zonas i y j (en este caso usamos el tiempo de viaje).
- $f(d_{ij})$: Factor de fricción entre cada par de zonas i y j (es la resistencia a desplazarse cuando aumenta la impedancia entre dichas zonas).

a). Modelos de viajes interzonales.- Para los viajes entre zonas de origen y destino distintas se planteó el siguiente modelo:

$$\text{Viajes interzonales } V_{ij} = O_i \left[\frac{D_j * (\text{Dist}_{ij})^a}{\sum_j D_j * (\text{Dist}_{ij})^a} \right] \quad 4.1$$

Donde:

V_{ij} : Viajes originados en la zona i con destino en la zona j .

O_i : Viajes generados en la zona i .

D_j : Viajes atraídos a la zona j .

Dist_{ij} : Distancia de tiempo (horas), distancia medida entre los centros de cada zona, entre la zona i y j .

a : Parámetro.

b). Modelos de viajes intrazonales.- Para los viajes que tienen por origen y destino la misma zona se plantea el siguiente modelo:

$$\text{Viajes intrazonales: } V_{ij} = K * (O_i)^a * (D_i)^b * (L_i)^c * (\text{Dist}_i)^d \quad 4.2$$

Donde:

V_{ii} : Viajes dentro de la zona i. O_i : Viajes generados en la zona i.

D_i : Viajes atraídos a la zona i. L_i : Área (Km²) de la zona i.

Dist_i : Variable falsa. K, a, b, c, d : Parámetros.

El modelo gravitatorio está representado mediante la ecuación:

$$V_{ij} = k P_i A_j f(c_{ij}) = \frac{P_i A_j f(c_{ij})}{\sum A_j f(c_{ij})}$$

Donde:

V_{ij} : Viajes entre un origen i y un destino j

P_i : Total de viajes producidos en el origen i

A_j : Total de viajes atraídos en el destino j

$f(c_{ij})$: Factor de fricción del viaje entre i y j $\longrightarrow f(c_{ij}) = \frac{1}{c_{ij}^b}$

La anterior fórmula matemática distribuye los viajes producidos de la zona "P" de manera proporcional a las atracciones de las zonas "j". A su vez, la función de impedancia es la que permite que los viajes menos convenientes (más distantes, más costosos etc.) sean castigados.

k: Es una constante de proporcionalidad

Los valores de los factores de ajuste se hallan mediante procesos iterativos, partiendo de constantes iniciales, normalmente arbitrarias: $A=1, B=1, \beta=0.1$

3.4. Modelo de asignación de tráfico en equilibrio

Las decisiones tomadas por los conductores para la elección de las rutas, es la de suponer que éstos eligen la ruta que les represente un coste (tiempo) mínimo hacia su destino bajo las condiciones de tráfico reinantes. El resultado lleva a una situación en la que ningún conductor puede reducir el coste (tiempo) de su desplazamiento mediante cambio de su ruta, llegándose así a un equilibrio, que es consecuencia de su competición en igualdad de conocimiento de las posibilidades que ofrece el sistema de transporte. Este criterio se ha venido denominando de “usuario óptimo”, caracterizado éste por el hecho de que todas las rutas usadas poseen iguales tiempo marginales. Wardrop (1952a) fue el primero en establecer dos criterios de elección de ruta a los que se conoce como los dos principios de Wardrop.

3.5. Formulación del problema

La formulación del problema expresada en (9), es una expresión muy general para que su estudio conduzca a métodos satisfactorios de resolución. La forma de abordar esto es analizar situaciones particulares. Se exige tanto a f como a X , propiedades que sean suficientemente generales para poder ser utilizadas en las aplicaciones de estudio, y lo suficientemente fuertes para obtener resultados de interés. La hipótesis más débil que se suele exigir a X es que sea un conjunto cerrado. En los modelos que estudiaremos asumiremos que el conjunto X sea un conjunto convexo (podemos exigir que esté definido mediante restricciones lineales). Las condiciones para f son de dos tipos. Por un lado se exigen ciertas condiciones de regularidad local para poder caracterizar los extremos (mínimos) locales del problema y por otro lado se exigen propiedades acerca del comportamiento global de la función, de modo que permitan garantizar que tales extremos locales sean también extremos globales.

Teorema 3.1.1. (Condiciones de optimalidad (f, X)). El punto $x^* \rightarrow X$ es una solución óptima de condiciones de optimalidad de f si y solo si cumple:

$$\nabla f(x^*)^T(x - x^*) \geq 0, \quad \forall x \in X \quad (10)$$

Donde ∇f es el gradiente de la función f .

Teorema 3.1.2. (Condición suficiente para $F = \nabla f$). Sea $F : X \rightarrow \mathbb{R}^n$ de clase C^1 sobre un conjunto convexo y abierto $X_0 \in X$. Entonces F es el gradiente de una aplicación en X_0 si y solo si $\nabla F(x)$ es simétrica para todo $x \in X_0$.

3.6. Algoritmo de Frank Wolfe

El algoritmo del Frank-Wolfe es uno de los algoritmos de aproximación en la optimización no lineal. Genera una dirección factible que minimiza la función objetivo no lineal en cada iteración para encontrar la solución, para ello debe satisfacer un criterio predefinido de terminación. LeBlanc Et Al. (1975) usó inicialmente el algoritmo de Frank-Wolfe para solucionar el problema de asignación de tráfico en su investigación, el algoritmo ha sido usado ampliamente en el campo de transporte, pues determina de manera efectiva el flujo a ser asignada a la red y es un método relativamente efectivo en términos de método fácil y la cantidad moderada de almacenamiento de datos.

El método de Frank-Wolfe es un método que tiene como criterio linealizar la función objetivo, luego esta nueva función puede resolverse por cualquier otro método o criterio de programación lineal. Los pasos detallados del algoritmo son los siguientes:

Algoritmo 3.4.1. (Algoritmo de Frank-Wolfe)

En Términos generales consideremos el problema de minimización

$$\begin{aligned} \text{mín } & f(x) \\ \text{s.a. } & x \in \Omega \end{aligned} \quad (3.4.1.)$$

Donde: Ω es un conjunto convexo factible, f es una función convexa y continuamente diferenciable sobre el conjunto Ω ,

0. Elegir un punto inicial (solución inicial): x_0

- Una solución factible, $x_0 \in \Omega$, es un punto inicial arbitrario
- Hacemos $k = 0$

1. Determinación de la dirección factible: d_k para determinar la dirección d_k aproximación de la función f a su forma de serie de Taylor alrededor del punto x_k es decir resolvemos el problema:

$$\text{mín } g_k(y) = f(x_k) + \nabla f(x_k)^T (y - x_k) \quad (3.4.2)$$

s. a. $y \in \Omega$

Esto es un problema lineal, y tiene un valor extremo y_k , como un valor óptimo. De modo que la dirección buscada será $d_k = y_k - x_k$, es el vector direccional que se inicia en el punto factible x_k hacia el punto extremo, además es una dirección factible pues los puntos x_k y y_k y están dentro de Ω que es convexo.

2. Determinación de la longitud del paso α_k tal que $f(x_k + \alpha_k d_k) < f(x_k)$. En este caso la longitud del paso será a lo más 1, porque para $\alpha > 1$ la solución sería no admisible; La línea buscada proviene de resolver:

$$\text{mín } f(x_k + \alpha_k d_k)$$

$$\text{s. a. } \alpha \in [0, 1] \quad (3.4.3)$$

3. Nuevo punto de iteración:

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k \quad (3.4.4)$$

4. Si se cumple:

$$\frac{f(x_k) - g_k(y_k)}{|g_k(y_k)|} \leq \varepsilon, \quad \varepsilon > 0$$

Finalizar, y x_{k+1} es una aproximación de x . Y así el valor óptimo de la función es $f(x_{k+1}) = f(x)$. De otro modo hacer $k = k+1$, e ir al paso 1.

Los datos básicos necesarios para los modelos de asignación son:

- Una matriz O-D, que expresa la demanda de viajes estimada para un intervalo de tiempo determinado (horas pico, horas valle, ...).
- Una red, específicamente conformada por los arcos y sus propiedades.

3.7. Programa de optimización Transcad

TransCAD es un sistema de información geográfica (SIG) diseñado especialmente para profesionales de transporte con el objeto de almacenar, mostrar y analizar datos de transporte.

TransCAD extiende los tradicionales modelos de datos SIG para incluir los datos objeto de los estudios de transporte, tales como: Redes de transporte, matrices, rutas y sistemas de ruta, datos con referencias lineales.

Nos interesa analizar Las rutas y sistemas de ruta, que indican caminos tomados por los autobuses que viajan de un lugar a otro. TransCAD incluye las herramientas para crear, mostrar, revisar y modificar las rutas, así como una tecnología de mapeo para trazar las rutas con un claro diseño. Se puede organizar un juego de rutas relacionadas en una sola capa de sistema de ruta, e incluir los atributos de la ruta, lugares de parada y horarios del vehículo.

En TransCAD en esta etapa utilizamos un modelo del tipo gravitatorio, por su semejanza a la ley de Newton que describe la atracción entre dos cuerpos.

Para preparar este modelo son necesarios los siguientes datos:

- P_i : Vector producción de cada zona i
- A_j : Vector atracción de cada zona j

- dij: Impedancia entre cada par de zonas i y j (en este caso usamos el tiempo de viaje)
- f(dij): Factor de fricción entre cada par de zonas i y j (es la resistencia a desplazarse cuando aumenta la impedancia entre dichas zonas),

Las impedancias son calculadas por el software arrojando una matriz que demuestra la dificultad de moverse entre las zonas del área en estudio, en base a esto se calculan factores de fricción que pueden obtenerse según las siguientes funciones:

Exponencial

$$f(d_{ij}) = e^{-c \cdot d_{ij}} \quad ; \quad c > 0$$

Potencial Inversa

$$f(d_{ij}) = d_{ij}^{-b} \quad ; \quad b > 0$$

Gamma

$$f(d_{ij}) = a \cdot d_{ij}^{-b} \cdot e^{-c \cdot d_{ij}} \quad ; \quad a < 0; b > 0; c \geq 0$$

Donde:

dij = impedancia existente entre las zonas i y j

a, b, c = coeficientes de ajuste

Para el modelo se utilizó la función exponencial negativa y luego se procedió a crear la matriz gravitatoria y verificar la distribución de los tiempos de viaje, comparándolos con los obtenidos en la encuesta Origen - Destino.

Para la distribución de los flujos de tráfico sobre la red vial se ha empleará un modelo determinista de equilibrio de Wardrop con demanda inelástica. Dicho modelo está implementado en el software de planificación de transporte urbano TransCAD en forma de problema de optimización. El modelo de optimización para la asignación de tráfico en equilibrio de usuario empleado es:

$$\begin{aligned} \text{Min } S(v) &= \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} s_a(x) dx \\ \text{s.t. } \sum_{k \in K_i} h_k &= g_i, \forall i \in \mathcal{S} \\ h_k &\geq 0, k \in K, i \in \mathcal{S} \end{aligned}$$

Y la restricción de definición de los volúmenes en los arcos, v_a en función de los flujos en los caminos h_k :

$$v_a = \sum_{i \in \mathcal{S}} \sum_{k \in K_i} \delta_{ak} h_k, \forall a \in A$$

Donde \mathcal{A} es el conjunto de pares Origen-destino, K_i es el conjunto de caminos que conectan el i -ésimo par origen destino en el grafo $G=(N, A)$ que modeliza la red vial, cuyos nodos N representan las intersecciones y los centroides que generan/atraen la demanda, y cuyos arcos A representan la estructura de la red vial y los conectores que conectan los centroides a la red. La matriz de incidencias arcos caminos δ_{ak} está definida por:

$$\delta_{ak} = \begin{cases} 1 & \text{si el arco } a \text{ pertenece al camino } k \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Modelo básico de ajuste de matrices O-D

Los métodos empleados son adecuados para el caso en que las proporciones de reparto P_{ij} , entre los diferentes caminos que unen un par de zonas (i,j) no pueden considerarse constantes sino que dependen del nivel de congestión y éste directamente de la matriz O-D de viajes. Es decir, $P_{ij} = P_{ij}(T)$, ($T = (d_{i,j})$), según una asignación de equilibrio. Los métodos empleados consisten en minimizar el error cuadrático entre los volúmenes observados o aforos en un subconjunto A de arcos del grafo y los volúmenes $v_a(T)$ en ese mismo subconjunto de arcos resultantes de asignar la matriz O-D sobre la red que modeliza la red de transporte.

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } F(g) &= \sum_{a \in \tilde{A}} (u_a - v_a(g))^2 \\ v_a(T) &= \sum_{i,j} p_{i,j}^a(g) g_{i,j} \\ (p_{i,j}^a &= \text{Proporciones resultado de} \\ &\text{asignación de equilibrio}) \end{aligned}$$

La metodología es el siguiente.

Se adopta como elemento de precarga las rutas del sistema actual de transporte, teniendo en cuenta estos valores en términos de vehículos equivalentes (0.75 el mototaxi, 0.50 la motolineal, 1.0 el auto).

Seguidamente se realiza la asignación de la red de transporte privado mediante el procedimiento de multi-clase (mototaxi, motolineal y auto) con equilibrio del usuario y la precarga ya indicada.

El procedimiento de asignación de equilibrio de usuario está basado en un algoritmo de aproximación lineal que consiste en la elección del camino más óptimo. Mediante un proceso iterativo se persigue que cada usuario elija la ruta que perciba como la mejor, es decir, aquélla que minimiza su coste generalizado de viaje. Al final del proceso se cumple el principio de Wardrop: en el equilibrio, ningún viajero puede reducir su coste generalizado de viaje cambiando la ruta. Por tanto, el coste generalizado de viaje entre un mismo origen y destino será igual en todos los caminos disponibles. La asignación multi-clase permite asignar simultáneamente las matrices de mototaxi, motolineal y auto.

Los parámetros de entrada para esta asignación son los siguientes:

- Matrices de viajes de mototaxi, motolineal y auto.
- La capacidad de cada arco definida como la capacidad según tipo de vía por el número de carriles de cada vial.
- Coeficientes alpha y beta de la función de tiempo según tipo de vía.

Con estas asignaciones se obtiene datos de tráfico y tiempos de viaje en cada vía para los tres períodos horarios de análisis.

Para la asignación se utilizará el método Stochastic User Equilibrium: Este es un método iterativo en el cual los pasajeros seleccionan la mejor ruta en función de lo atractivo de las mismas, del tiempo de viaje, los tiempos perdidos en las transferencias y las tarifas.

3.8. Jerarquización de las vías.

Para la jerarquización de las vías, se tendrá en cuenta la carga de los flujos en las vías de circulación del área urbana, para su planificación final.

CAPITULO IV

**DESARROLLO DE LA INVESTIGACION, CASO CIUDAD
DE MOYOBAMBA**

4. Introducción

En este capítulo se desarrolla la distribución de viajes mediante el modelo gravitatorio teniendo presente las variables viajes generados, viajes atraídos y el tiempo entre las zonas, se busca predecir, de la mejor forma posible, las elecciones de destino de los viajeros, a partir de información agregada.

4.1. Zona de estudio

La ciudad de Moyobamba se encuentra ubicada en el norte del departamento de San Martín dentro, a una altitud de 860 metros sobre el nivel del mar, y a 90 metros sobre el nivel del río mayo, entre las coordenadas 06°02'00" Latitud Sur y 76°58'18" Longitud Oeste.



Foto 1: Plaza de armas de la ciudad

Foto 2: Ingreso a la ciudad, Av. Miguel Grau

Figura N° 4.1: Ciudad de Moyobamba

Fuente: Elaboración propia

4.2. Propuesta del crecimiento urbano

La propuesta de crecimiento del área urbana de la ciudad de Moyobamba presenta tres horizontes de desarrollo.

Primer Horizonte (5 años)

Constituido por el conjunto de áreas de expansión urbana factibles a ser urbanizadas en el corto plazo (5 años) y ser anexadas de manera inmediata al área urbana existente.

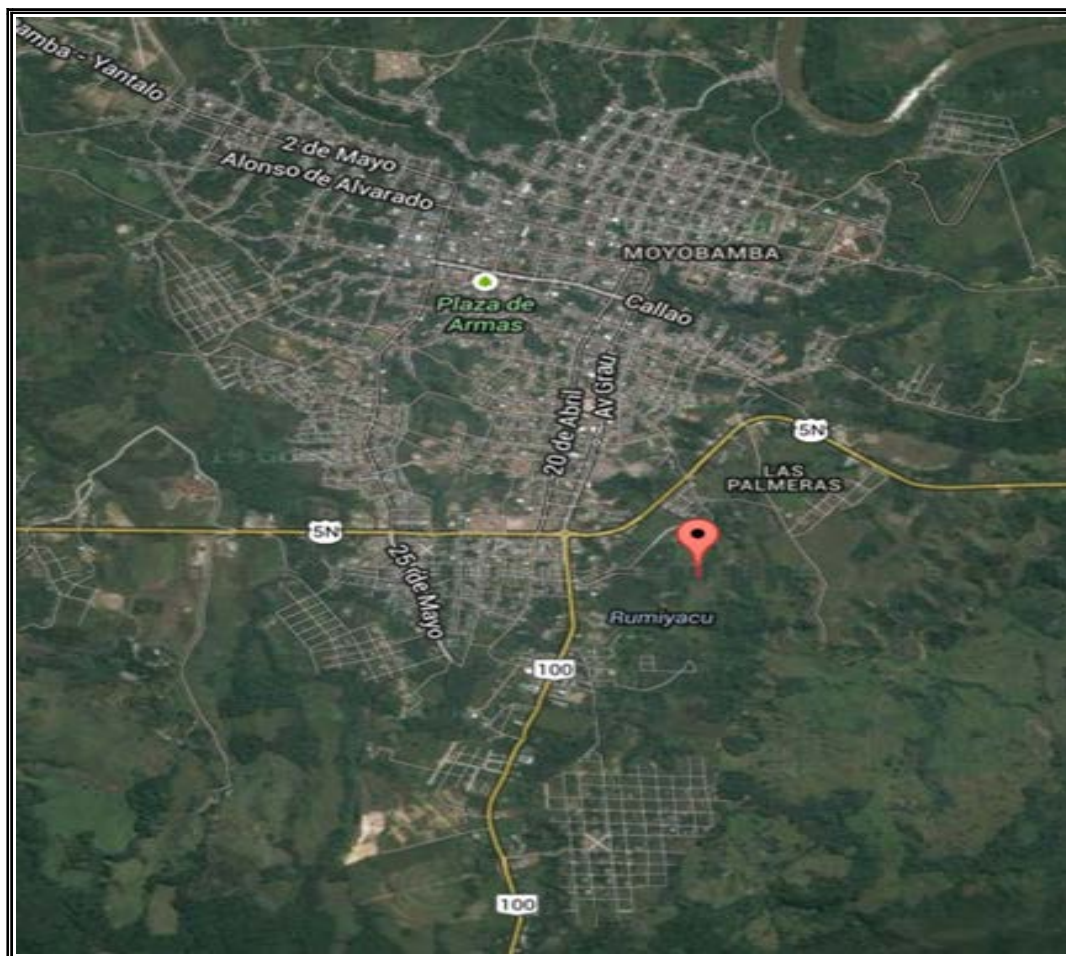


Figura N° 4.2 Area urbana de la ciudad de Moyobamba

Fuente: Mapa satelital - google earth

Segundo Horizonte (10 años)

Constituido por el conjunto de áreas de expansión urbana con condiciones de ser urbanizadas en el mediano plazo, delimitándose como áreas de reserva para el crecimiento urbano, en los cuales se encuentran ubicados en forma contigua o separada del área urbana existente.

Tercer Horizonte (más de 10 años)

Pasado el horizonte de los 10 años ya existirán las condiciones para una mayor articulación vial y funcional entre el núcleo del sistema urbano de Moyobamba y las áreas identificadas como agrícolas dentro del ámbito de intervención

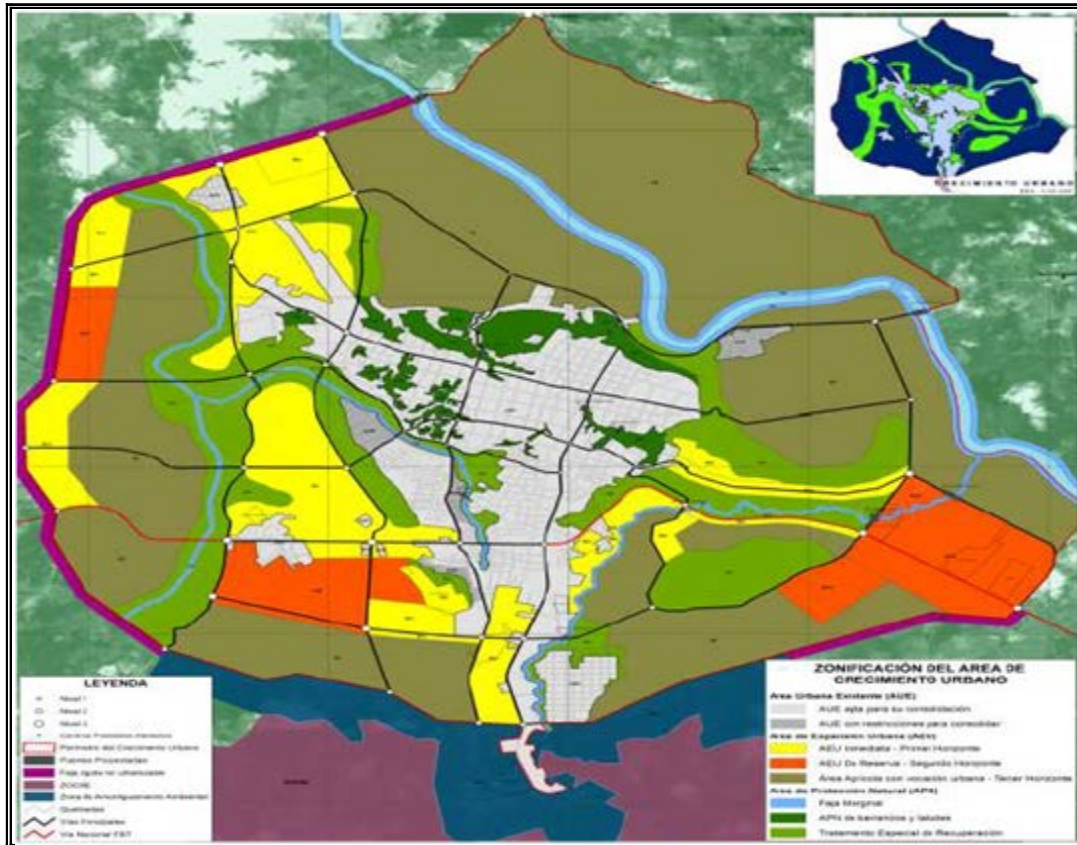


Figura N° 4.3: Plano de crecimiento urbano según horizonte de desarrollo

Fuente: PDU Moyobamba, 2013-2018

Cuadro 4.1:

Crecimiento urbano según horizonte de desarrollo

LEYENDA	AREA / HORIZONTE	HAS.	%
	AU - Apta para su consolidación (0 años)	741.92	19.13
	AEU INMEDIATA - Primer horizonte (05 años)	631.53	16.28
	AEU DE RESERVA - Segundo horizonte (10 años)	370.26	9.55
	AREA AGRICOLA - Tercer horizonte (más de 10 años)	2,134.76	55.04
	TOTAL (AMBITO DE INTERVENCION)	3,878.47	100.00

Fuente: PDU Moyobamba, 2013-2018

4.3 Descomposición del problema mediante algoritmo de optimización

Debe introducirse un principio que gobierne el comportamiento de los usuarios al elegir la ruta en la red. Wardrop fue el primero en enunciar formalmente este principio: “Bajo condiciones de equilibrio, el tráfico se organiza en redes

congestionadas de tal modo que ningún vehículo puede reducir el tiempo de viaje mediante un cambio de ruta”.

Si todos los viajeros perciben el tiempo de los viajes del mismo modo, bajo condiciones de equilibrio, todas las rutas utilizadas entre un par O - D tienen el mismo tiempo mínimo mientras las no usadas requieren un tiempo igual o mayor. Beckman et al, formularon el siguiente problema de optimización para expresar las condiciones de equilibrio que se derivan del primer principio de Wardrop. Este modelo predice el nivel de uso de los diferentes arcos de la red. Así, puede usarse para responder cuestiones como qué ocurriría en el nivel de uso de la red si se construyera una nueva carretera o si la capacidad de una determinada ruta se modificara.

Los elementos principales de este problema son:

1. Datos

(\mathcal{N}, A) : un grafo dirigido (\mathcal{N}, A) , que se entiende como un modelo de la red de tráfico con un conjunto de nodos \mathcal{N} , y un conjunto de arcos A que representan las calles. El conjunto de nodos \mathcal{N} del grafo representan intersecciones o también los llamados centroides, que indican las zonas del estudio (orígenes y destinos).

W : el conjunto de pares orígenes-destinos.

d_w : dato de entrada, que representan el número de viajes en la red desde el origen i al destino j , para cada par origen-destino $w = (i, j)$. La matriz de pares origen-destino $\{d_w\}$, $w \in W$ se obtiene en la fase de distribución modal.

$C_a(f_a)$: una función de coste que indica el retraso en el arco $a \in A$, para cada arco $(i, j) \in A$, como función del flujo total f_a que lleva el mismo arco a .

R_w : es el conjunto de rutas para el par $w = (i, j)$.

2. Variables

h_r : es el flujo en la ruta r

f_a : es el flujo en el arco a

3. Restricciones.- El número de usuarios de un par origen-destino $w = (i; j)$ es la suma del número total de usuarios en caminos distintos que satisfacen tal par:

$$\sum_{r \in R_w} h_r = d_w, \forall w \in W$$

Además el flujo de cada camino debe ser no negativo:

$$h_r > 0, \forall r \in R_w, \forall w \in W$$

El flujo de cada arco a es la suma del flujo en todos los caminos que lo usan:

$$\sum_{w \in W} \sum_{r \in R_w} \delta_{a,r} h_r = f_a, \forall a \in A$$

Donde $\delta_{a,r} = 1$ si $r \in R_w$ contiene al arco a y 0 en otro caso.

4. Función a optimizar.- El problema de asignación de tráfico minimiza la siguiente función:

$$z = \sum_{a \in A} \int_0^{f_a} C_a(x) dx$$

Como resultado del volumen creciente de tráfico, la velocidad en los arcos tiende a disminuir. La función C_a , es decir el tiempo necesario para atravesar el arco a , tiene en cuenta este hecho. Estas funciones en el análisis de sistemas de tráfico son positivas, no lineales y estrictamente crecientes. Los parámetros que relacionan el tiempo de viaje, C_a , en el arco en función del flujo f_a en el arco, es el tiempo de viaje libre de flujo, c_a^0 , y la capacidad práctica del arco, k_a , que es una medida del flujo a partir del cual, el tiempo de viaje se incrementará muy

rápidamente si el flujo aumenta. La expresión más común para $C_\alpha(f_\alpha)$, llamada la función BPR, es:

$$C_\alpha(f_\alpha) = c_\alpha^0 + b_\alpha \left(\frac{f_\alpha}{k_\alpha} \right)^{n_\alpha} \quad (4.1)$$

Esta es una ecuación variacional, como resultado del volumen creciente de tráfico, la velocidad en los arcos tiende a disminuir. Podemos comentar lo siguiente de la función a optimizar:

Si se considera a los usuarios provistos de información completa sobre los costos de cada ruta, se puede suponer que en una distribución óptima ningún usuario está interesado en cambiar de ruta pues utiliza la que le resulta menos costosa. Esto da lugar al llamado Equilibrio de Wardrop, que postula que los costos (tiempo de recorrido) de las rutas utilizadas son todos iguales y no mayores que los de las rutas no utilizadas. Se puede obtener una formulación matemática equivalente al principio de Wardrop a través de una inecuación variacional, consistente en hallar $f^* \in K$; que verifique la siguiente desigualdad:

$$\langle C(f^*), f - f^* \rangle \geq 0 \forall f \in K$$

Donde: K es el convexo determinado por los vectores de flujo sobre las rutas, no negativas, que verifican una ecuación de demanda y C es la función de costo sobre rutas. En el caso que el Jacobiano de $C(f)$ sea simétrico el problema anterior es equivalente a un problema de optimización. Una condición necesaria para ello es que el tiempo de recorrido de cada arco sea el mismo para todos los usuarios y dependa solamente del flujo sobre dicho arco.

La función a optimizar es:

$$Z = \sum_{\alpha \in A} C_\alpha(f_\alpha) = \sum_{\alpha \in A} \int_0^{f_\alpha} C_\alpha(x) dx = \sum_{\alpha \in A} \int_0^{f_\alpha} \left[c_\alpha^0 + b_\alpha \left(\frac{x}{k_\alpha} \right)^{n_\alpha} \right] dx$$

$$= \sum_{\alpha \in A} \left[c_{\alpha}^0 f_{\alpha} + \frac{b_0}{n_{\alpha} + 1} \left(\frac{x}{k_{\alpha}} \right)^{n_{\alpha} + 1} \right] = \sum_{\alpha \in A} c_{\alpha}^0 f_{\alpha} + d_{\alpha} f_{\alpha}^{m_{\alpha}}$$

Donde:

$$d_{\alpha} = \frac{b_0}{(n_{\alpha} + 1)k_{\alpha}^{n_{\alpha} + 1}} \quad y \quad m_{\alpha} = n_{\alpha} + 1$$

4.4. Aplicación al caso de asignación de la ciudad de Moyobamba

4.4.1. Población y zonificación del área de estudio

La población de estudio lo conforma la población del área urbana de la ciudad de Moyobamba, constituido por 74,284 habitantes y 14,847 hogares.

El área urbana de la ciudad de Moyobamba fue sectorizada en 22 zonas de análisis de tránsito (ZAT), donde se establecieron los orígenes y destinos de viajes.

Las zonas están delimitadas teniendo presente las características de homogeneidad de las áreas, esta además se determinó considerando a cinco cuadras a la redonda, es decir se tiene zonas de alta densidad, principalmente en el centro de la ciudad donde se concentra el movimiento financiero, aquí las zonas tienden a ser pequeñas, mientras que en los alrededores de las zonas céntricas se tiene zonas de mediano y gran tamaño. Por la complejidad, no se utilizó zonas de tamaños menos a una cuadra.

La población objetivo programada a encuestar fue de 3,720 habitantes con 744 hogares que equivale al 5% de la población total, (recomendación de la tabla 2.1); la población encuestada real fue de 2,571 habitantes y 744 hogares, equivalente al 3.46% de la población total.

La tabla 4.1 muestra los datos de la variable población de acuerdo al INEI-2007 y la encuesta domiciliaria.

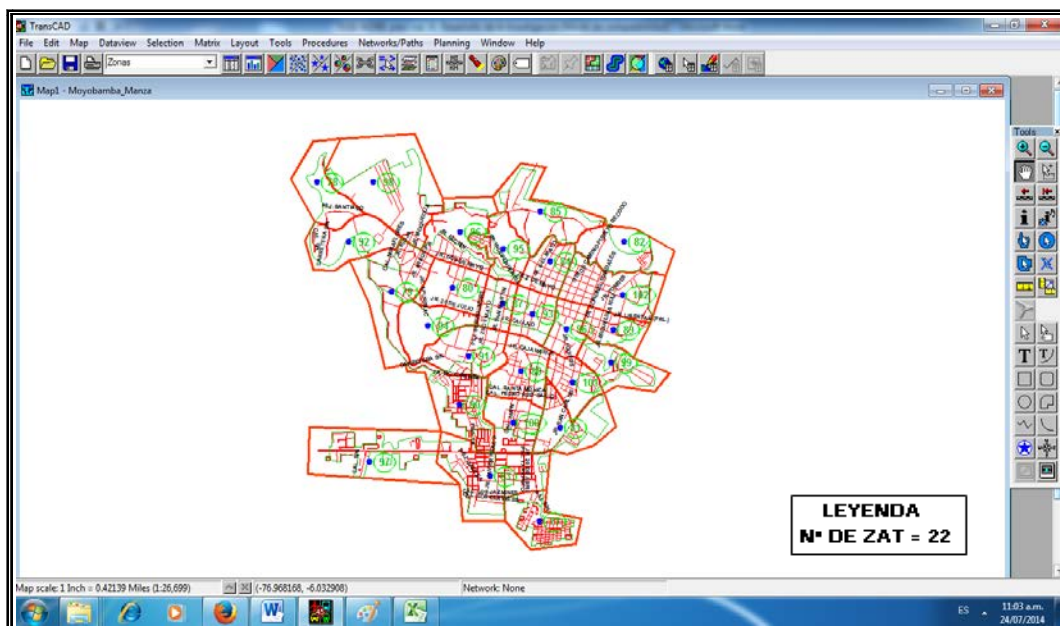


Figura N° 4.4: Sectorización de la ciudad por zonas de tránsito

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.1:

Distribución de la población por zonas de tránsito

DESCRIPCION			DATOS ESTADISTICOS DEL INEI-2007				DATOS DE LA ENCUESTA DOMICILIARIA	
N° ZONA	NOMBRE DE ZONA	AREA (Km2)	POBLACION ESTIMADA AL 100%		POBLACION PROYECTADA A ENCUESTAR AL 5%		POBLACION REAL ENCUESTADA AL 3.46%	
			N° HOGARES	POBLACION (hab.)	N° HOGARES	POBLACION (hab.)	N° HOGARES	POBLACION (hab.)
1	Z = 77	0.16	11	56	1	5	1	4
2	Z = 78	0.18	57	285	3	15	3	13
3	Z = 79	0.29	379	1,899	19	95	19	68
4	Z = 80	0.15	760	3,804	38	190	38	145
5	Z = 81	0.19	300	1,502	15	75	15	41
6	Z = 82	0.20	34	171	2	10	2	5
7	Z = 83	0.32	1,377	6,885	69	345	69	256
8	Z = 84	0.12	1,181	5,909	59	295	59	205
9	Z = 85	0.25	165	828	8	40	8	24
10	Z = 86	0.22	554	2,772	28	140	28	112
11	Z = 87	0.09	491	2,455	25	125	25	81
12	Z = 88	0.17	1,094	5,472	55	275	55	180
13	Z = 89	0.11	568	2,842	28	140	28	101
14	Z = 90	0.22	1,469	7,345	73	365	73	259
15	Z = 91	0.19	892	4,462	45	225	45	167
16	Z = 92	0.19	136	681	7	35	7	25
17	Z = 93	0.11	907	4,538	45	225	45	145
18	Z = 94	0.15	321	1,607	16	80	16	48
19	Z = 95	0.13	431	2,159	22	110	22	74
20	Z = 96	0.10	972	4,860	49	245	49	146
21	Z = 97	0.37	100	500	5	25	5	18
22	Z = 98	0.47	295	1,477	15	75	15	52
23	Z = 99	0.15	240	1,204	12	60	12	54
24	Z = 100	0.14	338	1,691	17	85	17	57
25	Z = 101	0.12	746	3,732	37	185	37	147
26	Z = 102	0.24	1,029	5,148	51	255	51	144
TOTAL		5.03	14,847	74,284	744	3,720	744	2,571
			100.00%		5.01%		3.46%	

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Periodo de modelación

Para la modelación de la distribución de viajes en el área urbana de la ciudad de Moyobamba se definió el horario en las horas pico de la mañana ya que en este período se presenta las horas más críticas del día en términos de congestión vial.

Los viajes totales se obtuvieron a partir de la expansión de la muestra de viajes por cada zona. Del estudio realizado se pudo determinar que los períodos pico representativos más críticos del día son:

- Modo mototaxi: Pico Mañana de 6:45 a 7:45am, con un total 50,832 viajes realizados en la hora punta. Ver anexo 4.1a.

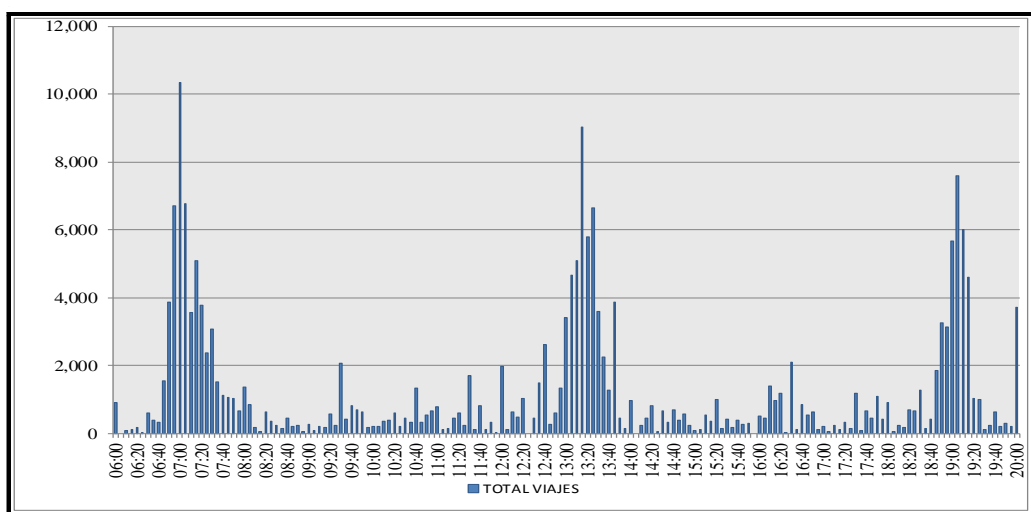


Figura N° 4.5: Viajes en hora punta, modo mototaxi
Fuente: Elaboración propia

- Modo modo lineal: Pico Mañana de 6:45 a 7:45am, con un total de 37,735 viajes realizados en la hora punta. Ver anexo 4.1b.

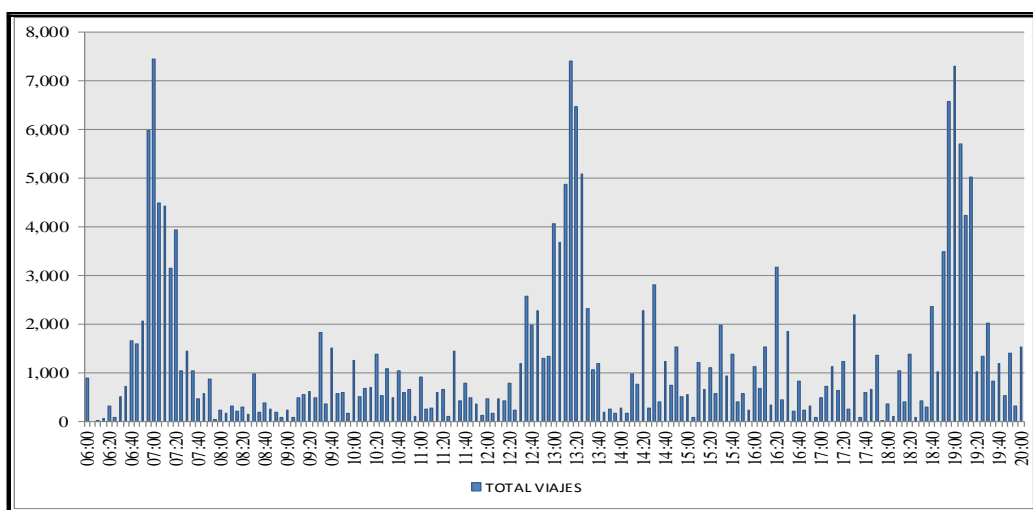


Figura N° 4.6: Viajes en hora punta, modo moto lineal
Fuente: Elaboración propia

- Modo auto: Pico Mañana de 7:50 a 8:50am, con un total de 994 viajes realizados en la hora punta Ver anexo 4.1c.

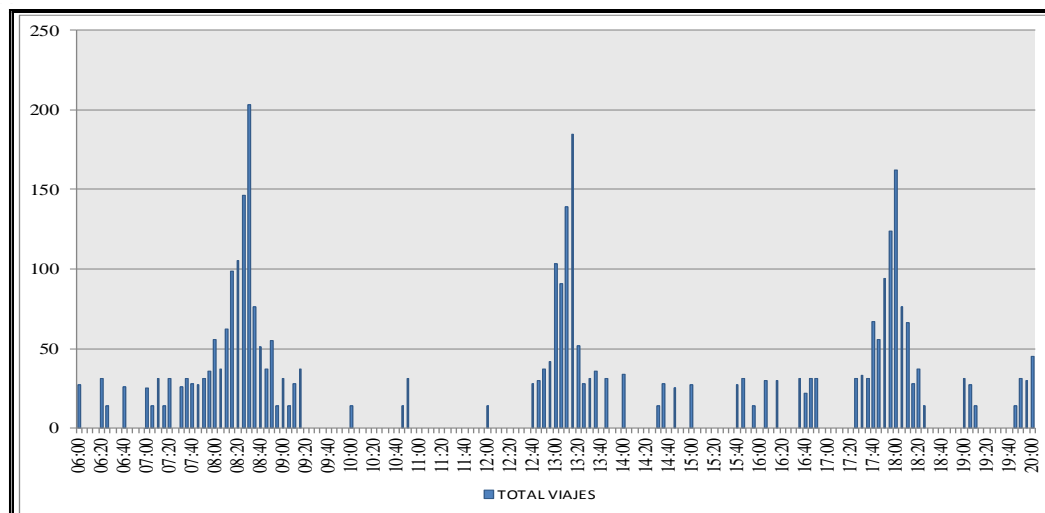


Figura N° 4.7: Viajes en hora punta, modo auto
Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Vectores Origen-Destino

Para la confección de los vectores Origen-Destino se tuvo en cuenta los viajes en la hora punta seleccionada por modo: 6:45am a 7:45am. para los modos mototaxi y moto lineal y de 7:50am a 8:50am. para el modo auto, sumando cada uno de los viajes de los pares O-D correspondientes.

La encuesta realizada captó viajes de pasajeros por modo utilizado y con los conteos de flujos vehiculares en puntos o zonas de mayor congestión se estimó el número de personas por cada tipo de vehículo. Estos conteos se realizaron en los jirones Alonso de Alvarado, Av. Grau, Jr. 20 de Abril, Jr. Libertad, Av. Ignacia Velásquez, Jr. Dos de Mayo y Jr. Callao.

A los vectores de cada tipo de pasajeros se les dividió entre las capacidad promedio y se obtiene los vectores de vehículos por modo, ver tabla N° 4.2, N° 4.3, N° 4.4 y N° 4.5.

Tabla N° 4.2:

OCUPACION PROMEDIO EN BASE A LOS AFOROS REALIZADOS EN HORA PUNTA DE LA MAÑANA

Modo	Viajes con pasajeros	Viajes sin pasajeros	Total viajes	Total pasaje ros	Ocupación promedio
Motokar, (no inc. chofer)	3,117	1,679	4,796.00	5,274.00	1.10
Moto lineal (Inc. chofer)	1,627	1,446	3,073.00	4,379.00	1.42
Auto (inc. chofer)	281	168	449.00	1,647.00	3.67

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.3:

Matriz vectores viajes de vehiculos modo motokar

TransCAD - [Matrix1 - Vectores_Vehic Matrix File (MOTOCAR)]

File Edit Map Dataview Selection Matrix Layout Tools Procedures Networks/Paths Planning Window Help

MOTOCAR

O/D	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	TOTAL O	
77	0	0	0	13	13	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	13	0	0	0	0	0	64	
78	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	
79	25	0	51	0	25	0	25	102	0	76	76	25	0	0	25	25	127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	585	
80	0	0	24	24	24	0	47	189	0	0	260	0	0	35	47	71	165	0	71	47	0	0	0	0	24	47	1,075	
81	0	0	34	67	0	34	67	0	0	101	135	34	101	0	67	0	0	0	34	0	34	0	34	0	67	67	875	
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	
83	25	0	25	49	98	0	147	98	0	0	491	74	25	74	25	123	172	0	49	25	0	0	0	49	25	49	1,620	
84	53	0	0	53	53	26	26	343	0	26	264	105	26	0	79	237	527	0	26	79	26	0	26	53	185	158	2,373	
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	64
86	0	0	0	45	0	0	23	0	0	23	23	0	23	0	0	68	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136	386
87	27	0	27	218	55	0	109	273	27	82	573	245	55	164	164	355	600	0	82	109	27	0	27	218	136	164	3,736	
88	0	0	27	0	82	0	82	0	0	0	55	55	27	0	27	55	109	0	0	55	0	27	136	0	82	0	818	
89	0	0	0	0	0	0	0	204	0	25	356	51	0	0	0	102	127	0	0	25	0	0	0	25	76	102	1,095	
90	25	0	25	51	102	0	153	51	0	0	560	51	0	25	25	407	255	0	0	76	0	0	51	102	51	127	2,138	
91	0	0	25	25	25	0	49	25	0	0	172	49	0	25	25	0	74	0	25	0	0	0	25	0	0	74	614	
92	0	0	0	0	25	0	25	123	0	0	344	0	0	49	0	0	172	25	0	0	0	0	25	74	0	25	884	
93	85	28	56	169	197	0	141	423	28	28	761	141	56	141	141	282	535	0	113	113	28	0	85	28	254	310	4,143	
94	30	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	210
95	0	0	26	0	26	0	0	26	0	26	26	26	0	0	26	79	185	26	26	0	0	0	0	0	26	53	580	
96	30	0	0	90	0	0	60	60	0	0	630	30	30	30	0	360	270	0	30	0	0	0	60	30	90	0	1,800	
97	0	0	0	0	0	0	25	51	0	0	0	25	0	25	0	0	0	0	0	25	0	25	0	0	25	0	178	
98	0	25	0	25	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	25	51	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	177	
99	0	0	20	0	20	0	80	20	0	0	20	20	0	0	20	20	60	0	0	0	0	0	0	0	60	0	340	
100	0	0	0	0	0	0	55	82	27	0	55	27	0	109	0	82	82	0	55	0	0	0	0	55	55	0	682	
101	45	0	23	0	0	23	23	91	0	0	136	591	0	23	0	0	205	23	23	45	0	0	0	68	159	23	1,500	
102	0	0	0	33	98	0	0	98	0	0	360	0	0	0	0	131	327	0	33	0	0	0	33	65	0	33	1,211	
TOTAL D	345	54	363	922	842	83	1,157	2,270	83	413	5,347	1,550	374	729	727	2,447	4,087	86	591	575	154	27	441	797	1,255	1,519	27,237	

MatrixView: 26 Rows by 26 Columns Network: None

ES 05:15 a.m. 22/07/2014

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.4:

Matriz vectores de viajes de vehiculos modo motolineal

O/D	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	TOTAL O
77	10	0	0	0	217	0	30	0	0	20	0	0	10	20	0	0	10	0	0	10	0	0	10	0	0	0	335
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	15	0	0	15	0	0	0	0	0	15	0	62
79	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	79	0	0	0	0	0	79	0	0	20	0	0	20	0	0	0	217
80	0	0	0	92	55	0	18	110	0	18	220	18	0	37	18	0	110	0	0	18	0	0	18	18	0	37	787
81	0	0	52	26	52	0	52	78	0	0	156	26	0	26	0	26	104	0	156	0	26	0	52	78	78	130	1,120
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
83	38	0	0	38	57	0	228	190	0	38	76	38	19	38	0	0	247	19	0	38	19	0	57	19	57	38	1,255
84	0	0	0	41	61	0	102	368	0	0	163	0	61	20	20	20	327	0	20	245	0	0	163	41	143	265	2,063
85	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
86	0	0	0	18	18	0	0	0	0	0	18	0	0	0	18	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
87	0	0	21	85	190	0	148	190	0	85	549	106	106	106	63	21	528	0	42	148	21	21	42	21	148	190	2,831
88	21	0	0	85	42	0	63	63	0	21	42	21	42	42	106	0	148	0	21	21	0	42	21	21	85	63	972
89	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	20	20	0	0	59	0	118	0	20	20	0	0	0	0	0	0	296
90	0	0	0	0	59	0	0	0	0	20	20	20	0	0	39	0	99	0	0	0	0	0	59	138	79	0	532
91	19	57	0	0	76	0	19	38	0	0	38	0	0	19	19	133	0	0	0	0	0	0	38	19	19	38	532
92	0	0	19	0	0	0	38	19	0	57	38	0	0	0	38	0	38	0	19	0	0	19	19	0	38	0	342
93	22	0	44	284	175	0	175	546	22	22	742	153	44	175	196	87	157	22	44	393	0	65	87	44	284	284	4,065
94	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
95	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	61	0	0	0	0	0	0	20	0	20	163
96	0	0	0	46	0	0	61	93	0	0	139	0	23	46	23	0	163	0	0	93	0	0	46	23	23	442	1,223
97	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	20	0	0	0	39	20	20	0	158
98	0	0	20	20	0	0	0	59	0	11	39	20	0	20	39	0	59	0	0	20	0	0	20	0	0	0	326
99	0	0	0	0	15	0	0	31	0	0	0	0	0	0	31	0	93	0	0	15	0	0	31	0	31	0	279
100	0	0	21	0	42	0	21	42	0	0	21	0	0	85	21	0	85	0	0	21	21	0	0	85	21	0	486
101	0	0	18	18	35	0	18	70	0	0	88	0	0	18	18	18	123	0	0	18	0	0	35	0	53	35	563
102	0	0	25	76	0	0	51	279	0	0	177	25	25	51	25	25	406	0	0	76	0	25	51	0	51	177	1,546
TOTAL D	110	57	220	847	1,115	1	1,063	2,246	22	311	2,642	477	330	722	756	232	3,158	41	358	1,156	87	173	810	547	1,144	1,762	20,386

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.5:

Matriz vectores de viajes de vehiculos modo auto

O/D	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	TOTAL O
77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
81	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
93	8	0	0	0	8	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	42
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL D	8	1	1	20	8	1	8	8	1	1	6	7	1	1	1	1	22	1	1	1	1	1	1	12	1	8	110

Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Construcción del modelo de la red vial

La estructura de la red vial de la ciudad de Moyobamba presenta tramas del tipo ortogonales, parrilla o de cuadrícula, partiendo del centro de la ciudad hacia la periferia y es atravesada por la vía nacional carretera Pdte. Fernando Belaunde Terry que cruza la ciudad de oeste a este y la divide por el lado sur en dos áreas.

La ciudad se organiza en una trama de vías longitudinales, tales como Av. Grau, Av. Ignacia Velásquez, Jr. 20 de Abril y vías transversales como el Jr. Callao, Jr. Alonso de Alvarado y Jr. Libertad.

Para la elaboración de la red vial, se tuvo en consideración el Plano de crecimiento urbano según horizonte de desarrollo del PDU- 2013-2018, de la figura N° 4.3. y el plano urbano censal al año 2007 con archivo de manzanas, a partir de esta información, se exporto dicho archivo al software Transcad.

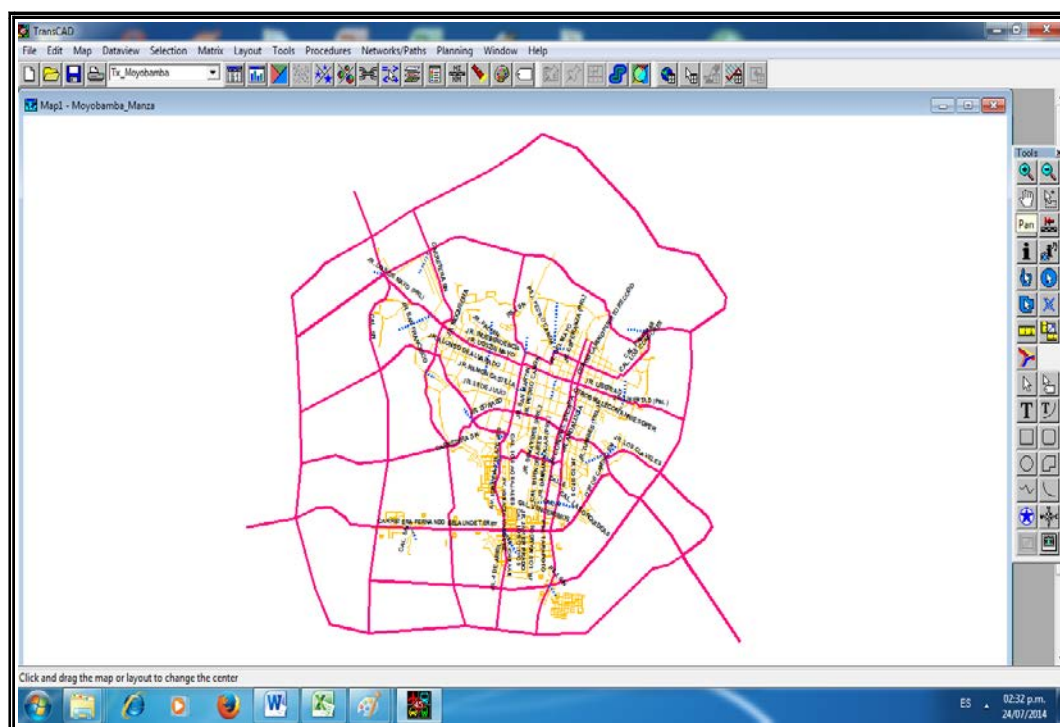


Figura N° 4.8: Construcción de la red vial

Fuente: Elaboración propia

El modelo quedó conformado por 271 arcos, 101 nodos, de los cuales 26 son centroides.

Cuando se construye la red, el sistema automáticamente asigna 2 sentidos a la red (1) y (-1), para asignarle el sentido real a la vía es necesario tener en cuenta el

sentido topológico de la red (construcción). Cuando el sentido topológico coincide con el sentido real de la vía (A-B), se le asigna el código 1, cuando el sentido topológico no coincide con el sentido real de la vía (B-A), se le asigna el código -1; y cuando la vía es de dos sentidos (A-B, B-A) el valor es cero (0).

Cuadro N° 4.2:

Identificación de vía

DESCRIPCION	TIPOLOGIA
CONECTOR - CENTROIDE	ES TIPO DE VIA 1
VIA LOCAL	ES TIPO DE VIA 2
VIA COLECTORA	ES TIPO DE VIA 3
VIA ARTERIAL	ES TIPO DE VIA 4
VIA EXPRESA	ES TIPO DE VIA 5
SENTIDO REAL DE VIA A-B	1
SENTIDO REAL DE VIA B-A	-1
SENTIDO REAL DE VIA A-B, B-A	0

Fuente: Elaboración propia

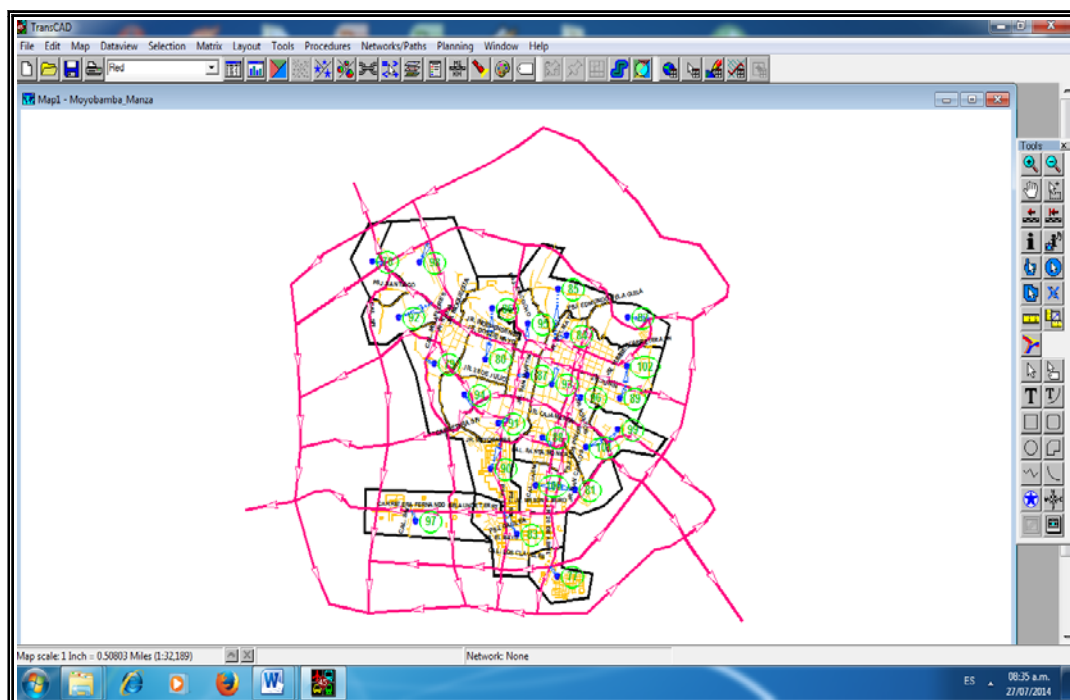


Figura N° 4.9: Sentido de las vías

Fuente: Elaboración propia

4.4.5. Distribución de viajes entre zonas

Para la distribución de los viajes del presente trabajo se utilizó el modelo gravitacional doblemente acotado, el cual fue desarrollado por Wilson en 1970.

El modelo gravitatorio supone que el número de viajes entre una zona i y un destino j es proporcional al número de viajes generados en la zona i , al número de viajes atraídos por la zona j y a una función de impedancia o de costos relativa a las zonas. Esta función de costos está relacionada con la variable tiempo de viaje.

El modelo de distribución tiene la siguiente forma:

$$V_{ij} = kP_i A_j f(c_{ij}) = \frac{P_i A_j f(c_{ij})}{\sum A_j f(c_{ij})} \quad 4.1$$

Donde,

V_{ij} : Viajes entre un origen i y un destino j

P_i : Total de viajes producidos en el origen i

A_j : Total de viajes atraídos en el destino j

$f(c_{ij})$ Factor de fricción del viaje entre i y j

k es una constante de proporcionalidad

4.4.6. Separación espacial entre zonas

El tiempo de viaje entre dos zonas es la suma del tiempo de recorrido de la ruta mínima entre la zona, más el tiempo a la terminal o paradero para ambos extremos del viaje. El tiempo a la terminal se añade debido a que existen diferencias en el tiempo de estacionamiento del vehículo y en el tiempo transcurrido al caminar en esas zonas a causas de congestionamientos y disponibilidad de estacionamiento.

Esto provee una medida más realista de la separación espacial (en tiempo) entre zona.

$$f(c_{ij}): \text{Factor de fricción del viaje entre } i \text{ y } j \quad \longrightarrow \quad f(c_{ij}) = \frac{1}{c_{ij}^b}$$

La fórmula matemática distribuye los viajes producidos de la zona i P_i de manera proporcional a las atracciones de la zonas " j ". A su vez, la función de impedancia

es la que permite que los viajes menos convenientes (más distantes, más costosos etc.) sean castigados.

La separación espacial entre cada par de las 22 zonas de tránsito fue determinado con información de los viajes realizados en la hora punta de la mañana, por representar la hora más cargada y los modos utilizados, de acuerdo a la encuesta domiciliaria origen-destino.

La separación espacial de cada par de zona se muestra en el anexo N° 4.3a, 4.3b y 4.3c respectivamente.

Cuadro N° 4.3:

Funciones de impedancia

FUNCIÓN	EXPRESIÓN
Exponencial	$f(c_{ij}) = e^{-c/c_0}$ $c > 0$
Potencial Inversa	$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-b}$ $b > 0$
Gamma	$f(c_{ij}) = \alpha c_{ij}^{-b} e^{-c/c_0}$ $\alpha > 0, c > 0$

Fuente: Ortúzar Juan de Dios y Willumsen Luis G, Modelos de transporte

4.4.7. Obtención de viajes entre par origen-destino

Para el modelamiento de la red es necesario ingresar información básica como la identificación del tramo, longitud, dirección, capacidad del carril AB, capacidad del carril BA, velocidad del carril AB, velocidad del carril BA, tipo de vía, velocidad a pie.

A=1, B=1 (factores de balanceo)

$\beta = 0.1$

d(fij) = coeficiente de fricción

(fij)= tiempos entre zonas

Así mismo una vez procesado estos datos se obtiene la matriz de viajes entre par origen-destino.

Tabla N° 4.6:

Matriz de viajes interzonales e intrazonales de vehiculos modo motokar

O/D	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	TOTAL D
77	0	0	1	2	1	0	2	5	0	1	15	4	1	2	2	4	12	0	1	1	0	0	1	2	3	3	64
78	0	0	1	2	1	0	2	5	0	1	14	4	1	1	2	3	11	0	1	1	0	0	1	2	3	3	60
79	4	0	6	18	13	1	19	48	2	7	139	35	9	15	16	33	107	1	11	13	2	0	8	17	30	31	585
80	8	1	10	34	24	2	35	88	3	14	255	63	16	27	30	61	197	2	21	24	4	1	14	32	54	56	1,075
81	6	1	8	27	20	2	29	72	2	11	208	52	13	22	24	50	160	2	17	19	3	0	12	26	44	46	875
82	0	0	0	1	1	0	1	3	0	0	7	2	0	1	1	2	6	0	1	1	0	0	0	1	2	2	31
83	11	1	16	51	37	3	53	132	4	21	385	96	24	40	45	92	297	3	32	36	6	1	21	48	82	85	1,620
84	17	1	23	74	53	4	78	194	6	30	564	140	35	59	65	135	435	4	47	53	8	1	31	70	120	124	2,373
85	0	0	1	2	1	0	2	5	0	1	15	4	1	2	2	4	12	0	1	1	0	0	1	2	3	3	64
86	3	0	4	12	9	1	13	32	1	5	92	23	6	10	11	22	71	1	8	9	1	0	5	11	19	20	386
87	26	2	36	117	84	7	123	306	10	47	888	221	55	93	103	212	684	7	73	83	13	2	49	111	188	196	3,736
88	6	0	8	26	18	2	27	67	2	10	194	48	12	20	23	46	150	2	16	18	3	0	11	24	41	43	818
89	8	1	11	34	25	2	36	89	3	14	260	65	16	27	30	62	200	2	21	24	4	1	14	32	55	57	1,095
90	15	1	21	67	48	4	71	175	6	27	508	126	32	53	59	121	392	4	42	47	8	1	28	63	108	112	2,138
91	4	0	6	19	14	1	20	50	2	8	146	36	9	15	17	35	112	1	12	14	2	0	8	18	31	32	614
92	6	1	9	28	20	2	29	72	2	11	210	52	13	22	24	50	162	2	17	20	3	0	12	26	45	46	884
93	29	2	40	129	93	8	137	339	11	53	984	245	61	103	114	235	759	8	81	92	15	2	55	123	209	217	4,143
94	1	0	2	7	5	0	7	17	1	3	50	12	3	5	6	12	38	0	4	5	1	0	3	6	11	11	210
95	4	0	6	18	13	1	19	47	2	7	138	34	9	14	16	33	106	1	11	13	2	0	8	17	29	30	580
96	13	1	17	56	41	3	59	147	5	23	428	106	27	45	50	102	330	3	35	40	6	1	24	53	91	94	1,800
97	1	0	2	6	4	0	6	15	0	2	42	11	3	4	5	10	33	0	3	4	1	0	2	5	9	9	178
98	1	0	2	6	4	0	6	14	0	2	42	10	3	4	5	10	32	0	3	4	1	0	2	5	9	9	177
99	2	0	3	11	8	1	11	28	1	4	81	20	5	8	9	19	62	1	7	8	1	0	4	10	17	18	340
100	5	0	7	21	15	1	23	56	2	9	162	40	10	17	19	39	125	1	13	15	2	0	9	20	34	36	682
101	11	1	14	47	34	3	50	123	4	19	356	89	22	37	41	85	275	3	29	33	5	1	20	44	76	79	1,500
102	9	1	12	38	27	2	40	99	3	15	288	71	18	30	33	69	222	2	24	27	4	1	16	36	61	63	1,211
TOTAL D	345	54	363	922	842	83	1,157	2,270	83	413	5,347	1,550	374	729	727	2,447	4,087	86	591	575	154	27	441	797	1,255	1,519	27,237

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.7:

Matriz de viajes interzonales e intrazonales de vehiculos modo motolineal

O/D	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	TOTAL D
77	1	0	3	14	14	0	14	38	0	4	52	8	6	11	13	3	54	0	6	21	1	1	11	9	21	28	335
78	0	0	1	3	3	0	3	7	0	1	10	2	1	2	2	0	10	0	1	4	0	0	2	2	4	5	62
79	1	0	2	9	9	0	9	25	0	3	34	5	4	7	8	2	35	0	4	13	1	1	7	6	14	18	217
80	3	1	6	32	34	0	33	89	1	10	123	20	14	26	30	6	128	1	14	48	2	3	26	22	49	66	787
81	4	1	9	45	48	0	47	127	1	14	175	28	20	37	42	9	182	1	19	69	3	5	38	31	70	93	1,120
82	0	0	0	1	1	0	1	3	0	0	4	1	0	1	1	0	4	0	0	1	0	0	1	1	2	2	24
83	4	1	10	51	54	0	52	143	1	16	196	32	22	42	47	10	204	2	22	77	3	5	42	35	79	105	1,255
84	7	2	17	84	89	0	86	234	2	27	323	52	36	68	77	16	335	3	35	127	6	9	69	57	129	172	2,063
85	0	0	0	2	2	0	2	6	0	1	8	1	1	2	2	0	8	0	1	3	0	0	2	1	3	4	49
86	1	0	1	6	7	0	7	18	0	2	25	4	3	5	6	1	26	0	3	10	0	1	5	4	10	13	158
87	9	2	23	115	122	0	118	322	3	37	443	72	50	94	106	22	460	3	49	174	8	12	95	79	178	236	2,831
88	3	1	8	39	42	0	40	110	1	13	152	25	17	32	37	8	158	1	17	60	3	4	33	27	61	81	972
89	1	0	2	12	13	0	12	34	0	4	46	7	5	10	11	2	48	0	5	18	1	1	10	8	19	25	296
90	2	0	4	22	23	0	22	60	1	7	83	13	9	18	20	4	86	1	9	33	1	2	18	15	33	44	532
91	2	0	4	22	23	0	22	60	1	7	83	13	9	18	20	4	86	1	9	33	1	2	18	15	33	44	532
92	1	0	3	14	15	0	14	39	0	4	54	9	6	11	13	3	56	0	6	21	1	1	11	10	21	29	342
93	13	4	33	165	175	0	169	462	4	52	636	103	71	135	153	32	660	5	70	250	11	17	137	113	255	339	4,065
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
95	1	0	1	7	7	0	7	19	0	2	26	4	3	5	6	1	27	0	3	10	0	1	5	5	10	14	163
96	4	1	10	50	53	0	51	139	1	16	191	31	21	41	46	10	199	1	21	75	3	5	41	34	77	102	1,223
97	1	0	1	6	7	0	7	18	0	2	25	4	3	5	6	1	26	0	3	10	0	1	5	4	10	13	158
98	1	0	3	13	14	0	14	37	0	4	51	8	6	11	12	3	53	0	6	20	1	1	11	9	20	27	326
99	1	0	2	11	12	0	12	32	0	4	44	7	5	9	10	2	45	0	5	17	1	1	9	8	18	23	279
100	2	0	4	20	21	0	20	55	1	6	76	12	9	16	18	4	79	1	8	30	1	2	16	13	31	41	486
101	2	0	5	23	24	0	23	64	1	7	88	14	10	19	21	4	92	1	10	35	2	2	19	16	35	47	563
102	5	1	13	63	67	0	64	176	2	20	242	39	27	51	58	12	251	2	27	95	4	7	52	43	97	129	1,546
TOTAL D	110	57	220	847	1,115	0	1,063	2,246	22	311	2,642	477	330	722	756	232	3,158	41	358	1,156	87	173	810	547	1,144	1,762	20,387

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.8:

Matriz de viajes interzonales e intrazonales de vehiculos modo auto

O/D	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	TOTAL O	
77	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	7
81	1	0	0	4	1	0	1	2	0	0	1	1	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	20
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	7
84	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	8
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
87	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	8
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	2	0	0	8	3	0	3	3	0	0	2	3	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	5	0	3	0	0	42
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	7
102	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL D	8	0	0	20	8	0	8	8	0	0	6	7	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	12	0	8	0	110	

Fuente: Elaboración propia

4.4.8. Asignación de tránsito

Los datos de entrada del modelo son los flujos de las matrices, las cuales indican el volumen de tránsito entre cada par origen-destino. Estos flujos se cargan en la red vial con base en los tiempos de viaje o la impedancia de todas las rutas que pueden llevar ese tránsito.

El modelo de asignación de tránsito predice los flujos de la red asociados con los escenarios de planeación futuros y estima los tiempos de viaje y los atributos de cada tramo.

El método utilizado es un método de asignación de tránsito por equilibrio, el cual toma en cuenta los tiempos de viaje. Los algoritmos de equilibrio de flujos requieren varias iteraciones entre la asignación de los flujos y el cálculo de los tiempos de viaje, hasta alcanzar una solución convergente, en la cual ningún viajero puede mejorar su tiempo de viaje al cambiar de ruta. Los flujos y tiempos en la red consideran los efectos de restricción de capacidad de los enlaces, que se calculan con la función BPR.

Además de lo anterior, el método de asignación de Usuario de Equilibrio permite asignar los diferentes tipos de vehículos a la red simultáneamente. Cada tipo de vehículo tiene diferentes impactos en la congestión, diferentes parámetros de las funciones de demora y diferentes valores del tiempo.

Factores de conversión a unidad de carro patrón (UCP)

A efectos de uniformizar el registro de datos de los aforos vehiculares para los modos de transporte público y privado, se utilizaron factores de conversión a UCP., siendo 0.75 para el mototaxi, 0.5 para la moto lineal y 1.0 para el auto.

Cuadro N° 4.4:

Factores de conversión a unidades de carro patrón (UCP)

TIPO DE VEHICULO	UTILIZACION ESTÁNDAR EN UCP (Unidad de Carro Patron)
Omibus	3.00
Microbus	2.50
Combi	2.00
Camioneta	1.25
Auto *	1.00
Mototaxi *	0.75
Moto lineal *	0.50

* Utilizado en el plan vial de la ciudad de Moyobamba

Fuente: HCM - Manual de Capacidad de Vía

Para desarrollar el proceso de asignación es necesario escoger el algoritmo que mejor se comporte en el modelo. En este caso, se ha aplicado el algoritmo de Equilibrio Estocástico de Usuario, con el objetivo de obtener una simulación lo más ajustada posible a los puntos de control y conseguir unos resultados de demanda de vehículos captados.

Para la obtención de los flujos vehiculares en las redes se asignó la matriz origen-destino (viajes interzonales) con los tiempos de la red vial, mediante la función BPR (Bureau Public Road) Incorporada en el Software Transcad, en donde el tiempo en cada arco de la red está definido por:

$$T_f = t_0 \left((1 + a(V/C)^b) \right)$$

Donde:

T_f = Tiempo en cada arco de la red vial

t_0 = Tiempo de recorrido en cada arco a velocidad de flujo libre

V = Volumen de viajes asignado de la matriz o-d a cada arco (Numero de vehículos/hora)

C = Capacidad de la vía (Numero de vehículos/hora o periodo pico)

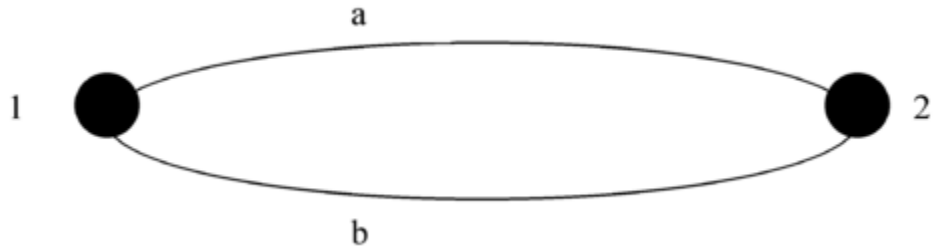
a , Coeficiente alfa = 4

b , Exponente Beta = 0.15

Para asignar se determina también el número máximo de iteraciones y la convergencia mínima exigida. En este caso no se limita el número máximo de iteraciones, y la convergencia se establece en 0.001 y, de esta manera, aseguramos que el resultado llegue al equilibrio.

Ejemplo

En este ejemplo de Eash, Janson, and Boyce (1979)² suponga que tiene dos posibles rutas entre los puntos 1 y 2 (ver figura 2).



Si las dos rutas fueran iguales, la solución sería simple: Igual cantidad de vehículos por cada una de las rutas e iguales tiempos para los casos de equilibrio del usuario (UE) y para el equilibrio del sistema (SE).

Considere para este ejemplo las siguiente función para calcular el efecto de la congestión, en términos de los vehículos que usan la vía (V)

$$t_i = t_0 \left(1 + a \left(\frac{V_i}{C_i} \right)^b \right)$$

donde

- t_i es el tiempo calculado en el arco i.
- t_0 es el tiempo a flujo libre en el arco i.
- C_i es la capacidad total de la vía i (en vehículos equivalentes por hora).
- V_i es el número de usuarios de la vía i (en vehículos equivalentes por hora).
- a, b son parámetros de calibración de la función de congestión.

Datos de ingreso

Suponga para este ejercicio que 8000 vehículos deben ser asignados en la red de la figura 2 para ir de 1 a 2. Las características de cada ruta se presentan en la tabla 2:

<i>Tabla 1: Información sobre las dos rutas</i>		
Variable	Ruta a	Ruta b

Capacidad	1000 veh/h	3000 veh/h
Tiempo a flujo libre	15 min	20 min
A	15%	15%
B	4	4

De esta manera, se pueden construir las dos ecuaciones para calcular los tiempos por cada una de las dos vías, dependiendo del número de vehículos V_i que la usen.

$$t_a = 15 \left(1 + 0.15 \left(\frac{V_a}{1000} \right)^4 \right)$$

$$t_b = 20 \left(1 + 0.15 \left(\frac{V_b}{3000} \right)^4 \right)$$

Adicional a esto, se tiene la restricción de que la suma total de los vehículos no puede ser diferente del número de usuarios.

$$V_a + V_b = 8000$$

Solución bajo el principio de Equilibrio del Usuario

Para resolver este ejercicio, se asume que los usuarios no se comportan cooperativamente y que por eso ellos tratarán de minimizar sus tiempos. Según el **Primer principio de Wardrop**, cuando se busca el equilibrio del usuario, se termina en que todos los usuarios (entre el mismo origen y destino) experimentan el mismo tiempo de viaje por cualquiera de las rutas disponibles. Así para resolver este caso se puede sustituir la restricción en alguna de las dos funciones flujo demora e igualarla con la de la otra ruta, así:

$$15 \left(1 + 0.15 \left(\frac{V_a}{1000} \right)^4 \right) = t_b = 20 \left(1 + 0.15 \left(\frac{8000 - V_a}{3000} \right)^4 \right)$$

La solución a este problema es: $V_a = 2.152$ vehículos $V_b = 5.847$

Una buena manera de comprobar que estas soluciones son las correctas es sustituir estos valores en las funciones originales de congestión para los arcos a y b. Haciendo esto se encuentra que la respuesta es 63 min por cualquiera de las dos rutas.

CAPITULO V
RESULTADOS

5. Introducción.

En este capítulo se describe brevemente los resultados de la investigación.

5.1. Zona de estudio

La zona de estudio está determinada solamente por el área urbana actual, en proceso de consolidación y la futura expansión urbana de la ciudad de Moyobamba, no incluye sus distritos.

5.2. Población de estudio

La población de estudio se encuentra constituida por 74,284 habitantes y 14,847 hogares que equivale al 100%. Para las encuestas de viajes se consideró la población mayor a 6 años que equivale a 65,906 habitantes.

5.3. Obtención de los viajes entre par de zona origen - destino

Para modelo de distribución se analizó el período pico de la mañana de 6:45am. a 7:45am. para los modos mototaxi y motos lineales y para el periodo de 7:50am. a 8:50am. para el modo auto, por representar los periodos de mayor flujo observados en las vías.

La distribución de viajes resuelta comprende un conjunto de 3 matrices $N= 26 \times 26= 676$, resultantes de 3 modos de transporte (mototaxi, motolineal y auto), 5 propósitos de viaje (trabajo, estudio, compras, otros motivos, no basados en el hogar) y 9 categorías de usuarios (trabajador independiente, dependiente, estudiante superior, secundaria, primaria, inicial, ama de casa, sin actividad. En la tabla N° 5.1 se muestra el resultado agregado de los orígenes y destinos de todas las zonas.

De los viajes generados, el destino mayoritario corresponde a la zona 93 con 17.3%. De los viajes atraídos, el destino mayoritario corresponde a la zona 87 con 19.1%. La suma de todos los flujos generó un total de 47,734 viajes utilizando los tres modos (mototaxi, moto lineal, auto).

Tabla N° 5.1:

Producción y atracción de viajes por zona

Zonas	Producción de viajes					Atracción de viajes				
	motokar	motolineal	auto	Total Oi	%	motokar	motolineal	auto	Total Dj	%
77	64	335	4	403	0.8	192	110	8	310	0.7
78	60	62	0	122	0.3	16	57	0	73	0.2
79	585	217	0	802	1.7	262	220	0	482	1.0
80	1,075	787	7	1,869	3.9	850	847	20	1,717	3.6
81	875	1,120	20	2,015	4.2	614	1,115	8	1,738	3.6
82	31	24	0	55	0.1	50	0	0	50	0.1
83	1,620	1,255	7	2,882	6.0	899	1,063	8	1,970	4.1
84	2,373	2,063	8	4,443	9.3	2,227	2,246	8	4,481	9.4
85	64	49	0	113	0.2	74	22	0	96	0.2
86	386	158	0	545	1.1	346	311	0	657	1.4
87	3,736	2,831	8	6,576	13.8	6,472	2,642	6	9,121	19.1
88	818	972	0	1,790	3.8	1,608	477	7	2,093	4.4
89	1,095	296	0	1,390	2.9	402	330	0	732	1.5
90	2,138	532	0	2,671	5.6	676	722	0	1,398	2.9
91	614	532	0	1,146	2.4	749	756	0	1,505	3.2
92	884	342	0	1,226	2.6	1,544	232	0	1,776	3.7
93	4,143	4,065	42	8,250	17.3	4,989	3,158	22	8,169	17.1
94	210	1	0	211	0.4	50	41	0	91	0.2
95	580	163	0	743	1.6	535	358	0	893	1.9
96	1,800	1,223	0	3,023	6.3	604	1,156	0	1,760	3.7
97	178	158	0	336	0.7	97	87	0	184	0.4
98	177	326	0	503	1.1	13	173	0	186	0.4
99	340	279	6	625	1.3	359	810	12	1,181	2.5
100	682	486	0	1,168	2.4	806	547	0	1,353	2.8
101	1,500	563	7	2,070	4.3	1,374	1,144	8	2,527	5.3
102	1,211	1,546	0	2,757	5.8	1,428	1,762	0	3,190	6.7
TOTAL	27,237	20,387	110	47,734	100	27,237	20,387	110	47,734	100

Fuente: Elaboración propia

5.4 Obtención de los flujos en la red

Como puede observarse en la figura N° 5.1, el programa Transcad generó un primer modelamiento de la asignación de los viajes de vehículos en las vías para cada uno de los 102 pares de la matriz O-D.

Con la información del modelo generado se observa que la mayor carga de movimiento de personas se realiza entre las vías: Av. Grau, jr. 20 de Abril, jr. Dos de Mayo, jr. Libertad, Av. Ignacia Velásquez y jr. Cajamarca, sin embargo la poca capacidad de estas vías restringe jerarquizar a una de mayor capacidad; en consecuencia fue necesario realizar un segundo modelamiento aumentando nuevas vías que permita disminuir el grado de saturamiento observado. En las tablas N° 5.1a y 5.1b se muestra el grado de saturamiento de las vías plantadas.

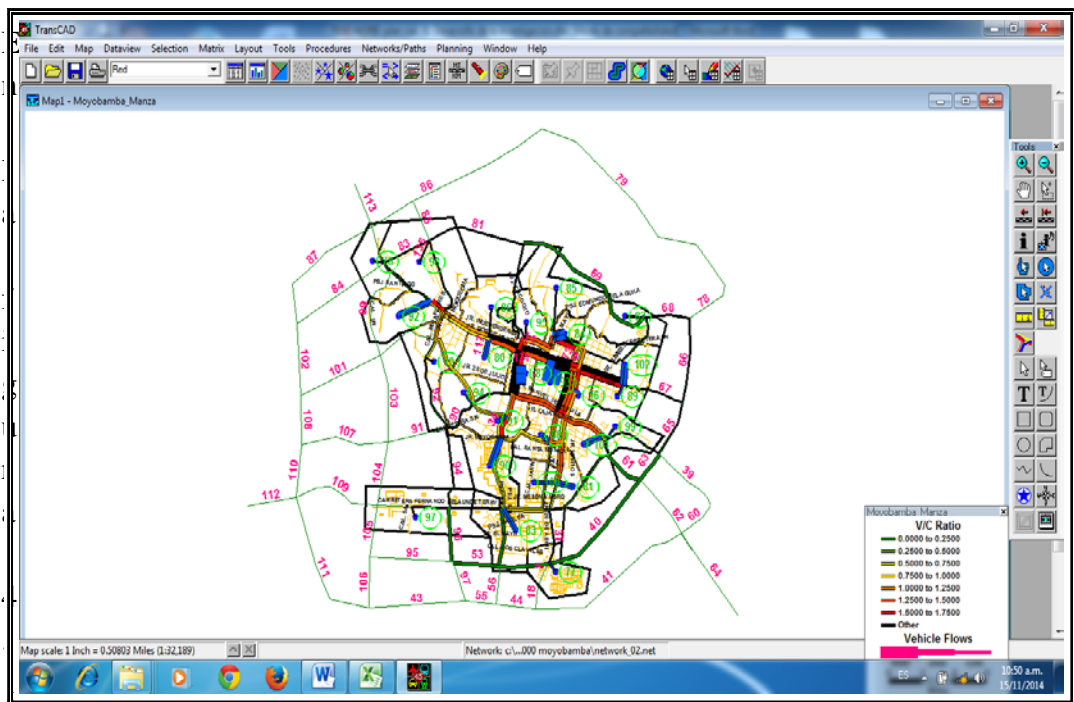


Figura N° 5.1: Flujo Vs. Capacidad de vías - primer modelamiento

Fuente: Elaboración propia

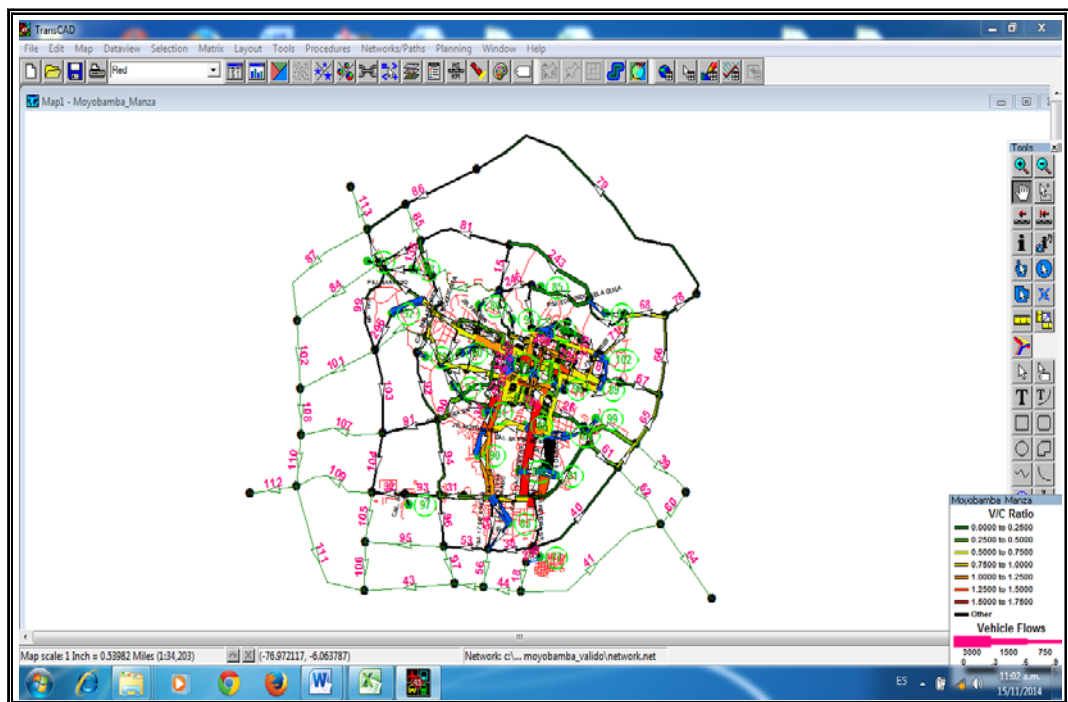


Figura N° 5.2: Flujo Vs. Capacidad de vías - segundo modelamiento

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 5.2, el programa Transcad generó un segundo modelamiento de la asignación de los viajes de vehículos en las vías, observando que los flujos se repartieron mejor a tal grado que la capacidad de las vías pueden soportar dichos flujos. En las tablas N° 5.1a, 5.1b, se muestra el grado de saturamiento de las vías plantadas.

TABLA N°:5.1a

FLUJO Vs. CAPACIDAD DE VIAS - PRIMER MODELAMIENTO

ID	AB cap	BA cap	Total cap	AB vel	BA vel	Tipo via	Pea vel	Flujo AB	Flujo BA	Total flujo	AB-time	BA-time	AB-Vel	BA-Vel	Grado saturacion %
1	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.28	0.43	48.28	32.19	0
2	1200	1200	2400	30	20	3	4	818	504	1322	0.47	0.68	46.76	32.04	55
3	1200	1200	2400	30	20	3	4	1587	1351	2938	0.94	1.20	33.10	25.93	122
4	1200	1200	2400	30	20	3	4	1482	1174	2656	0.59	0.75	35.78	28.29	111
5	1200	1200	2400	30	20	3	4	2047	1234	3281	0.86	0.66	21.25	27.55	137
6	1200	1200	2400	30	20	3	4	1450	687	2137	0.43	0.5	36.58	31.67	89
7	1200	1200	2400	30	20	3	4	249	210	459	0.37	0.56	48.27	32.18	19
8	1200	1200	2400	30	20	3	4	2237	1963	4200	2.5	2.77	17.17	15.51	175
9	1200	1200	2400	30	20	3	4	1912	1587	3499	0.22	0.24	24.55	22.05	146
10	1200	1200	2400	30	20	3	4	2508	1785	4293	1.79	1.21	12.49	18.55	179
11	1200	1200	2400	30	20	3	4	2508	1785	4293	0.82	0.55	12.49	18.55	179
12	1200	1200	2400	30	20	3	4	1489	1406	2895	1.3	1.57	35.60	29.62	121
13	1200	1200	2400	30	20	3	4	45	73	118	0.96	1.43	48.28	32.19	5
14	1200	1200	2400	30	20	3	4	2119	1792	3911	1.55	1.65	19.63	18.43	163
15	1200	1200	2400	30	20	3	4	61	41	102	1.63	2.44	48.28	32.19	4
16	1200	1200	2400	30	20	3	4	2631	1999	4630	1.69	1.21	10.80	14.93	193
17	1200	1200	2400	30	20	3	4	2204	2658	4862	0.91	2.33	17.83	6.98	203
18	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.51	0.76	48.28	32.19	0
19	1200	1200	2400	30	20	3	4	2026	899	2925	0.55	0.39	21.74	30.73	122
20	1200	1200	2400	30	20	4	4	303	64	367	1.35	2.04	48.25	32.19	15
21	1200	1200	2400	30	20	4	4	858	1302	2160	0.49	0.86	46.46	26.64	90
22	1200	1200	2400	30	20	3	4	912	993	1905	0.62	0.95	45.98	30.08	79
23	1200	1200	2400	30	20	3	4	467	408	875	0.79	1.18	48.11	32.12	36
24	1200	1200	2400	30	20	3	4	1420	1565	2985	0.53	0.88	37.29	22.44	124
25	1200	1200	2400	30	20	3	4	1693	1500	3193	1.44	1.85	30.27	23.54	133
26	1200	1200	2400	30	20	3	4	1609	1318	2927	1.18	1.45	32.50	26.41	122
27	1200	1200	2400	30	20	3	4	778	594	1372	0.08	0.12	47.03	31.90	57
28	1200	1200	2400	30	20	4	4	478	206	684	1.49	2.22	48.10	32.18	29
29	1200	1200	2400	30	20	4	4	381	955	1336	0.12	0.19	48.20	30.36	56
30	1200	1200	2400	30	20	4	4	340	215	555	0.52	0.79	48.23	32.18	23
31	1200	1200	2400	30	20	4	4	340	215	555	0.45	0.68	48.23	32.18	23
32	1200	1200	2400	30	20	4	4	0	0	0	0.64	0.96	48.28	32.19	0
33	1200	1200	2400	30	20	3	4	1305	1376	2681	0.21	0.33	39.91	25.55	112
34	1200	1200	2400	30	20	3	4	1958	1066	3024	0.81	0.64	23.40	29.43	126
35	1200	1200	2400	30	20	3	4	711	609	1320	1.21	1.80	47.40	31.87	55
36	1200	1200	2400	30	20	3	4	79	124	203	1.10	1.64	48.28	32.19	8
37	1200	1200	2400	30	20	3	4	209	196	405	0.87	1.31	48.27	32.18	17
38	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.88	1.33	48.28	32.19	0
39	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	1.28	1.92	48.28	32.19	0
40	1200	1200	2400	30	20	3	4	4	0	4	2.20	3.31	48.28	32.19	0
41	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	3.09	4.62	48.28	32.19	0
43	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	1.78	2.67	48.28	32.19	0
44	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	0.74	1.11	48.28	32.19	0
45	1200	1200	2400	30	20	3	4	2836	2552	5388	1.64	1.76	8.50	7.91	225
46	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.38	0.57	48.28	32.19	0
47	1200	1200	2400	30	20	3	4	1711	1877	3588	0.2	0.37	29.64	16.94	150
48	1200	1200	2400	30	20	3	4	2191	1700	3891	2.04	1.83	18.09	20.06	162
49	1200	1200	2400	30	20	3	4	1093	941	2034	1.16	1.66	43.75	30.45	85
50	1200	1200	2400	30	20	3	4	1742	897	2639	0.88	0.83	28.97	30.74	110
51	1200	1200	2400	30	20	4	4	828	1165	1993	0.76	1.25	46.69	28.39	83
52	1200	1200	2400	30	20	3	4	637	400	1037	1.07	1.58	47.71	32.13	43
53	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	19	19	0.88	1.31	48.28	32.18	1
54	1200	1200	2400	30	20	3	4	101	0	101	0.91	1.36	48.28	32.18	4
55	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	0.57	0.86	48.28	32.18	0
56	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.64	0.96	48.28	32.18	0
57	1200	1200	2400	30	20	3	4	1638	933	2571	0.54	0.57	31.72	30.51	107
58	1200	1200	2400	30	20	3	4	617	605	1222	0.7	1.05	47.78	31.88	51
59	1200	1200	2400	30	20	3	4	325	206	531	0.25	0.37	48.24	32.18	22
60	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	0.72	1.08	48.28	32.19	0
61	1200	1200	2400	30	20	3	4	153	0	153	0.67	1.01	48.28	32.19	6
62	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	1.85	2.78	48.28	32.19	0
63	1200	1200	2400	30	20	3	4	157	0	157	0.54	0.80	48.28	32.19	7
64	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	1.70	2.56	48.28	32.19	0
65	1200	1200	2400	30	20	5	4	237	124	361	0.95	1.43	48.27	32.19	15
66	1200	1200	2400	30	20	5	4	103	29	132	1.36	2.04	48.28	32.19	6
67	1200	1200	2400	30	20	3	4	210	249	459	0.79	1.18	48.28	32.19	19
68	1200	1200	2400	30	20	4	4	103	29	132	0.80	1.20	48.28	32.19	6
69	1200	1200	2400	30	20	4	4	85	0	85	2.90	4.36	48.28	32.19	4
70	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.37	0.56	48.28	32.19	0
72	1200	1200	2400	30	20	3	4	1450	701	2151	0.14	0.17	39.05	30.77	90

TABLA N°:5.2b

FLUJO Vs. CAPACIDAD DE VIAS - PRIMER MODELAMIENTO

ID	AB cap	BA cap	Total cap	AB vel	BA vel	Tipo vía	Pea vel	Flujo AB	Flujo BA	Total flujo	AB-time	BA-time	AB-Vel	BA-Vel	Grado saturacion %
73	1200	1200	2400	30	20	3	4	1344	893	2237	0.41	0.53	18.26	16.81	93
74	1200	1200	2400	30	20	3	4	2183	1885	4068	1.26	1.37	30.88	24.56	170
75	1200	1200	2400	30	20	3	4	1670	1439	3109	0.32	0.40	24.89	20.74	130
76	1200	1200	2400	30	20	3	4	1898	1662	3560	0.41	0.49	30.88	24.56	148
77	1200	1200	2400	30	20	3	4	1670	1439	3109	0.76	0.96	48.28	32.19	130
78	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	0.71	1.08	48.28	32.19	0
79	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	5.66	8.50	48.28	32.19	0
81	1200	1200	2400	30	20	4	4	127	61	188	1.80	2.70	48.28	32.19	8
82	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.62	0.93	48.28	32.19	0
83	1200	1200	2400	30	20	4	4	23	2	25	0.91	1.38	48.28	32.19	1
84	1200	1200	2400	30	20	4	4	0	0	0	1.87	2.81	48.28	32.19	0
85	1200	1200	2400	30	20	4	4	0	0	0	0.67	1.02	48.28	32.19	0
86	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	2.38	3.57	48.28	32.19	0
87	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	2.39	3.58	46.00	30.07	0
88	1200	1200	2400	30	20	3	4	912	993	1905	0.74	1.12	48.27	31.85	79
89	1200	1200	2400	30	20	4	4	254	618	872	0.33	0.51	48.28	32.19	36
90	1200	1200	2400	30	20	3	4	52	14	66	0.70	1.05	48.28	32.19	3
91	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	1.11	1.67	48.28	32.18	0
92	1200	1200	2400	30	20	4	4	66	264	330	1.25	1.87	48.28	32.18	14
93	1200	1200	2400	30	20	4	4	139	193	332	0.70	1.04	48.28	32.18	14
94	1200	1200	2400	30	20	4	4	106	266	372	1.32	1.9	48.28	32.19	16
95	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	1.55	2.32	48.28	32.19	0
96	1200	1200	2400	30	20	4	4	19	0	19	0.86	1.29	48.28	32.19	1
97	1200	1200	2400	30	20	4	4	0	0	0	0.66	1.00	48.28	32.19	0
98	1200	1200	2400	30	20	3	4	45	73	118	0.13	0.20	48.28	32.19	5
99	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	1.56	2.34	48.28	32.19	0
100	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	1.14	1.72	48.28	32.19	0
101	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	1.60	2.41	48.28	32.19	0
102	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	1.16	1.74	48.28	32.19	0
103	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	1.42	2.13	48.28	32.19	0
104	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	1.02	1.53	48.28	32.19	0
105	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.84	1.27	48.28	32.19	0
106	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.82	1.22	48.28	32.19	0
107	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	1.64	2.45	48.28	32.19	0
108	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	0.77	1.16	48.28	32.19	0
109	1200	1200	2400	30	20	4	4	0	0	0	1.61	2.42	48.28	32.19	0
110	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	0.86	1.28	48.28	32.19	0
111	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	2.47	3.70	48.28	32.19	0
112	1200	1200	2400	30	20	5	4	0	0	0	0.93	1.39	48.28	32.19	0
113	1200	1200	2400	30	20	3	4	0	0	0	0.78	1.17	48.28	32.19	0

En las tablas N° 5.2a, 5.2b, 5.2c y 5.2d, se muestra el grado de saturación de las vías proyectadas según el segundo modelamiento realizado, observando que las vías si soportan los flujos asignados; procediendo a realizar la jerarquización final de las vías de la ciudad.

TABLA N°:5.2a

FLUJO Vs. CAPACIDAD DE VIAS - SEGUNDO MODELAMIENTO

ID	AB cap	BA cap	Total cap	AB vel	BA vel	Tipo via	Pea vel	Flujo AB	Flujo BA	Total flujo	AB-time	BA-time	AB-Vel	BA-Vel	Grado saturacion %
1	1200	1200	2400	30	30	4	4	0	0	0	0.46	0.46	30.00	30.00	0
2	2000	10	2010	30	30	4	4	2861	0	2861	1.19	0.00	18.43	0.00	142
3	1200	10	1210	30	30	4	4	3034	0	3034	7.37	0.00	4.21	0.00	251
4	2000	10	2010	20	20	4	4	1486	0	1486	0.73	0.00	19.13	0.00	74
5	2000	10	2010	15	15	4	4	1100	0	1100	0.50	0.00	14.80	0.00	55
6	2000	10	2010	17	17	4	4	494	0	494	0.32	0.00	16.99	0.00	25
7	1200	10	1210	20	20	4	4	405	24	429	0.93	5.28	19.96	3.51	35
8	10	2000	2010	20	20	4	4	0	1228	1228	0.00	0.68	0.00	19.58	61
9	10	2000	2010	20	20	4	4	0	1036	1036	0.00	0.27	0.00	19.79	52
10	10	2000	2010	20	20	4	4	0	643	643	0.00	0.42	0.00	19.97	32
11	10	2000	2010	20	20	4	4	0	1828	1828	0.00	0.57	0.00	10.11	91
12	10	2000	2010	20	20	4	4	0	1104	1104	0.00	0.91	0.00	19.72	55
13	1200	1200	2400	30	30	4	4	10	457	467	1.53	1.54	30.00	29.91	19
14	10	2000	2010	20	20	3	4	0	2040	2040	0.00	0.43	0.00	17.20	101
15	800	800	1600	25	25	4	4	159	335	494	1.51	1.52	24.99	24.88	31
16	10	2000	2010	18	18	4	4	0	367	367	0.00	0.47	0.00	17.99	18
17	10	2000	2010	18	18	4	4	0	1125	1125	0.00	0.54	0.00	17.73	56
18	1200	2000	3200	30	30	4	4	0	0	0	0.82	0.82	30.00	30.00	0
19	1200	2000	3200	40	40	4	4	981	633	1614	0.43	0.41	28.12	29.65	50
20	1200	2000	3200	40	40	4	4	21	0	21	0.77	0.77	40.00	40.00	1
21	1200	2000	3200	25	25	4	4	113	1007	1120	0.57	0.61	39.99	37.23	35
22	1200	2000	3200	20	20	4	4	210	79	289	1.34	1.34	24.99	24.99	9
23	10	2000	2010	16	16	4	4	0	0	0	0.00	0.38	0.00	20.00	0
24	2000	10	2010	20	20	4	4	1025	0	1025	0.63	0.00	15.83	0.00	51
25	2000	10	2010	20	20	4	4	792	0	792	0.47	0.00	19.93	0.00	39
26	2000	10	2010	20	20	4	4	51	0	51	1.92	0.00	20.00	0.00	3
27	2000	10	2010	40	45	4	4	163	0	163	0.19	0.00	19.99	0.00	8
28	1800	1800	3600	35	35	5	4	414	423	837	1.79	1.59	39.98	44.97	23
29	1800	1800	3600	45	40	5	4	51	2877	2928	0.16	0.32	35.00	17.68	81
30	1800	1800	3600	50	50	5	4	466	808	1274	0.57	0.64	44.96	39.75	35
31	1800	1800	3600	80	80	5	4	466	808	1274	0.44	0.44	49.97	49.69	35
32	1800	1800	3600	20	20	5	4	355	352	707	0.39	0.39	79.98	79.98	20
33	1300	1300	2600	20	20	3	4	1407	0	1407	0.50	0.00	16.59	0.00	54
34	1200	1200	2400	30	30	4	4	1749	1533	3282	1.58	1.33	11.93	14.29	137
35	1200	1200	2400	20	20	4	4	1277	1396	2673	2.28	2.44	25.17	23.53	111
36	1300	10	1310	20	20	3	4	479	0	479	2.65	0.00	19.94	0.00	37
37	1200	1200	2400	30	30	4	4	132	105	237	1.41	1.41	29.99	29.99	10
38	1200	1200	2400	60	60	4	4	201	266	467	0.71	0.71	59.99	59.97	19
39	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	0.77	0.77	80.00	80.00	0
40	1200	1200	2400	60	60	4	4	163	209	372	1.77	1.77	59.99	59.99	16
41	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	1.87	1.87	80.00	80.00	0
44	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	1.08	1.08	80.00	80.00	0
43	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	0.45	0.45	80.00	80.00	0
45	10	2000	2010	20	20	4	4	0	1105	1105	0.00	0.66	0.00	19.72	55
46	800	800	1600	20	20	3	4	0	0	0	0.39	0.39	20.00	20.00	0
47	10	2000	2010	20	20	4	4	0	0	0	0.00	0.31	0.00	20.00	0
48	1300	10	1310	12	12	3	4	549	0	549	0.89	0.00	11.94	0.00	42
49	1300	10	1310	20	20	3	4	1106	0	1106	2.67	0.00	18.54	0.00	84
50	1300	10	1310	22	22	3	4	2107	0	2107	0.64	0.00	10.81	0.00	161
51	1300	1300	2600	35	35	5	4	522	1277	1799	1.02	1.16	34.84	30.71	69
52	1200	10	1210	25	25	3	4	2071	0	2071	4.01	0.00	12.71	0.00	171
53	1200	1200	2400	60	60	4	4	72	93	165	0.71	0.71	59.99	59.99	7
54	1200	1200	2400	30	30	4	4	24	20	44	1.46	1.46	30.00	30.00	2
55	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	0.34	0.34	80.00	80.00	0
56	1200	1200	2400	30	30	4	4	0	0	0	1.03	1.03	30.00	30.00	0
57	1200	1200	2400	18	18	4	4	1711	1904	3615	0.77	0.93	11.10	9.23	151
58	10	2000	2010	20	20	4	4	0	249	249	0.00	1.68	0.00	19.99	12
59	2000	10	2010	30	33	4	4	596	0	596	0.40	0.00	29.96	0.00	30
60	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	0.44	0.44	80.00	80.00	0
61	1800	1800	3600	60	60	5	4	75	678	753	0.54	0.54	60.00	59.81	21
62	1800	1800	3600	80	80	5	4	0	0	0	0.77	0.77	80.00	80.00	0
63	1200	1200	2400	80	80	4	4	227	876	1103	0.32	0.33	79.98	76.72	46
64	1800	1800	3600	80	80	5	4	0	0	0	0.96	0.96	80.00	80.00	0

TABLA N°:5.2b

FLUJO Vs. CAPACIDAD DE VIAS - SEGUNDO MODELAMIENTO

ID	AB cap	BA cap	Total cap	AB vel	BA vel	Tipo via	Pea vel	Flujo AB	Flujo BA	Total flujo	AB-time	BA-time	AB-Vel	BA-Vel	Grado saturacion %
65	1200	1200	2400	80	80	4	4	439	610	1049	0.57	0.58	79.78	79.20	44
66	1200	1200	2400	80	80	4	4	63	615	678	0.81	0.82	79.99	79.17	28
67	1200	1200	2400	40	40	4	4	24	405	429	0.95	0.95	40.00	39.92	18
68	1200	1200	2400	60	60	4	4	57	738	795	0.64	0.65	60.00	58.73	33
69	1200	1200	2400	60	60	4	4	13	165	178	0.79	0.79	60.00	59.99	7
70	2000	10	2010	18	18	4	4	0	0	0	0.58	0.00	18.00	0.00	0
71	800	800	1600	20	20	5	4	76	587	663	2.26	2.36	19.99	19.16	41
72	1300	10	1310	20	20	3	4	959	0	959	0.27	0.00	19.14	0.00	73
73	1300	10	1310	20	20	3	4	165	0	165	0.53	0.00	19.99	0.00	13
74	1300	10	1310	20	20	3	4	794	0	794	0.54	0.00	19.59	0.00	61
75	1300	10	1310	18	18	3	4	1387	0	1387	0.65	0.00	15.07	0.00	106
76	10	2000	2010	18	18	4	4	0	580	580	0.00	0.56	0.00	17.98	29
77	800	800	1600	22	22	3	4	619	409	1028	0.36	0.35	20.87	21.77	64
78	1200	1200	2400	80	80	4	4	139	10	149	0.43	0.43	79.99	80.00	6
79	1200	1200	2400	80	80	4	4	139	10	149	3.41	3.41	79.99	80.00	6
112	1800	1800	3600	80	80	5	4	0	0	0	0.55	0.55	80.00	80.00	0
81	1200	1200	2400	60	60	4	4	348	159	507	1.45	1.45	59.93	59.99	21
82	1200	1200	2400	40	40	4	4	10	139	149	0.75	0.75	40.00	39.99	6
83	1200	1200	2400	60	60	4	4	301	33	334	0.73	0.73	59.96	60.00	14
84	1200	1200	2400	60	60	4	4	0	0	0	1.50	1.50	60.00	60.00	0
85	1200	1200	2400	40	40	4	4	0	0	0	0.81	0.81	40.00	40.00	0
86	1200	1200	2400	80	80	4	4	139	10	149	1.43	1.43	79.99	80.00	6
87	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	1.44	1.44	80.00	80.00	0
88	1200	1200	2400	20	20	4	4	124	645	769	1.44	1.46	19.99	19.75	32
89	1200	1200	2400	40	40	4	4	178	551	729	0.40	0.40	39.99	39.73	30
90	2000	10	2010	30	30	4	4	551	0	551	1.12	0.00	29.97	0.00	27
91	1200	1200	2400	60	60	4	4	95	43	138	0.89	0.89	59.99	60.00	6
92	1200	1200	2400	40	40	4	4	122	310	432	1.50	1.50	39.99	39.97	18
93	3000	3000	6000	60	60	5	4	374	425	799	0.56	0.56	59.99	59.99	13
94	1200	1200	2400	40	40	4	4	475	164	639	1.61	1.60	39.85	39.99	27
95	1200	1200	2400	60	60	4	4	0	0	0	1.24	1.24	60.00	60.00	0
96	1200	1200	2400	50	50	4	4	93	72	165	0.83	0.83	49.99	49.99	7
97	1200	1200	2400	50	50	4	4	0	0	0	0.64	0.64	50.00	50.00	0
98	1200	1200	2400	30	30	4	4	39	443	482	0.21	0.21	30.00	29.91	20
99	1200	1200	2400	40	40	4	4	72	71	143	1.88	1.88	39.99	39.99	6
100	1200	1200	2400	25	25	4	4	0	0	0	2.21	2.21	25.00	25.00	0
101	1200	1200	2400	60	60	4	4	0	0	0	1.29	1.29	60.00	60.00	0
102	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	0.70	0.70	80.00	80.00	0
103	1200	1200	2400	60	60	4	4	286	340	626	1.14	1.14	59.97	59.94	26
104	1200	1200	2400	60	60	4	4	352	355	707	0.82	0.82	59.93	59.93	29
105	1200	1200	2400	60	60	4	4	0	0	0	0.68	0.68	60.00	60.00	0
106	1200	1200	2400	60	60	4	4	0	0	0	0.65	0.65	60.00	60.00	0
107	1200	1200	2400	60	60	4	4	0	0	0	1.31	1.31	60.00	60.00	0
108	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	0.46	0.46	80.00	80.00	0
109	3000	3000	6000	80	80	5	5	0	0	0	0.97	0.97	80.00	80.00	0
110	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	0.51	0.51	80.00	80.00	0
111	1200	1200	2400	80	80	4	4	0	0	0	1.48	1.48	80.00	80.00	0
113	1200	1200	2400	60	60	4	4	0	0	0	0.62	0.62	60.00	60.00	0
222	1300	10	1310	20	20	3	4	1250	0	1250	0.92	0.00	17.72	0.00	95
225	1300	10	1310	18	0	3	4	898	0	898	1.02	0.00	17.40	0.00	69
140	10	2000	2010	20	20	4	4	0	2089	2089	0	1.35	0.00	16.97	104
141	1300	10	1310	20	20	3	4	486	0	486	1.41	0.00	19.94	0.00	37
142	1200	1200	2400	20	20	3	4	465	1082	1547	1.42	1.56	19.93	18.19	64
143	1300	10	1310	20	20	4	4	507	0	507	1.08	0.00	19.93	0.00	39
144	800	800	1600	15	15	3	4	48	486	534	0.59	0.60	15.00	14.69	33
145	1300	10	1310	10	10	3	4	48	0	48	0.95	0.00	10.00	0.00	4
146	2000	10	2010	20	20	3	4	147	0	147	1.52	0.00	19.99	0.00	7
147	1300	10	1310	10	10	4	4	200	0	200	0.68	0.00	9.99	0.00	15
148	2000	10	2010	15	15	3	4	585	0	585	0.64	0.00	14.98	0.00	29
149	1300	10	1310	18	18	4	4	1043	0	1043	0.54	0.00	16.94	0.00	80
150	1300	10	1310	15	15	3	4	440	0	440	0.36	0.00	14.97	0.00	34
151	10	2000	2010	18	18	3	4	0	919	919	0	0.38	0.00	17.88	46
152	1300	10	1310	15	15	4	4	1229	0	1229	1.09	0.00	13.39	0.00	94
153	1300	10	1310	15	15	3	4	841	0	841	0.58	0.00	14.61	0.00	64

TABLA N°:5.2c

FLUJO Vs. CAPACIDAD DE VIAS - SEGUNDO MODELAMIENTO

ID	AB cap	BA cap	Total cap	AB vel	BA vel	Tipo via	Pea vel	Flujo AB	Flujo BA	Total flujo	AB-time	BA-time	AB-Vel	BA-Vel	Grado saturacion %
154	1300	10	1310	20	20	3	4	689	0	689	1.28	0.00	19.76	0.00	53
155	1300	10	1310	15	15	3	4	637	0	637	0.72	0.00	14.97	0.00	49
156	1300	10	1310	18	18	3	4	1034	0	1034	1.58	0.00	16.97	0.00	79
157	1300	10	1310	18	0	3	4	630	0	630	0.56	0.00	11.90	0.00	48
158	800	800	1600	12	12	3	4	1218	0	1218	0.6	0.33	8.30	15.00	76
159	1300	10	1310	15	15	3	4	1137	0	1137	1.14	0.00	13.79	0.00	87
160	800	800	1600	15	15	3	4	1961	639	2600	2.43	0.40	2.33	14.13	163
161	10	2000	2010	15	15	4	4	0	347	347	0	0.54	0.00	17.99	17
162	1300	10	1310	18	18	3	4	438	0	438	0.61	0.00	14.97	0.00	33
163	1300	10	1310	15	15	3	4	1127	0	1127	0.56	0.00	13.82	0.00	86
164	1300	10	1310	15	15	3	4	641	0	641	1.26	0.00	17.84	0.00	49
165	800	800	1600	18	18	3	4	142	201	343	0.32	0.32	17.99	17.99	21
166	1300	10	1310	21	21	3	4	0	0	0	0.5	0.00	21.00	0.00	0
167	1300	10	1310	18	18	3	4	38	0	38	0.28	0.00	18.00	0.00	3
220	1300	10	1310	18	18	3	4	926	0	926	0.56	0.00	17.33	0.00	71
171	10	1300	1310	18	18	3	4	0	1037	1037	0	0.06	0.00	16.96	79
224	10	2000	2010	20	20	4	4	0	1906	1906	0	0.97	0.00	17.79	95
172	10	1300	1310	18	18	3	4	0	0	0	0	1.22	0.00	18.00	0
173	10	1300	1310	18	18	3	4	0	0	0	0	0.39	0	16.96	0
174	10	1300	1310	20	20	4	4	0	1174	1174	0	0.46	0.00	19.65	90
175	1300	10	1310	18	18	3	4	1323	0	1323	0.51	0.00	15.5	0.00	101
176	1300	10	1310	15	15	3	4	2063	0	2063	1.25	0.00	1.68	0.00	157
177	1300	10	1310	18	18	3	4	1853	0	1853	0.88	0.00	11.11	0.00	141
178	1300	10	1310	15	15	3	4	1692	0	1692	0.88	0.00	10.48	0.00	129
179	1300	10	1310	18	18	3	4	323	0	323	0.44	0.00	17.98	0.00	25
180	2000	10	2010	20	20	4	4	779	0	779	0.25	0.00	19.93	0.00	39
181	1300	10	1310	18	18	4	4	886	0	886	0.33	0.00	17.89	0.00	68
182	1300	10	1310	18	18	4	4	1711	0	1711	0.52	0.00	16.66	0.00	131
183	1300	10	1310	15	15	3	4	53	0	53	1.13	0.00	15.00	0.00	4
184	1300	10	1310	18	18	3	4	886	0	886	0.36	0.00	17.43	0.00	68
185	1300	10	1310	17	17	3	4	886	0	886	0.39	0.00	16.46	0.00	68
186	2000	10	2010	18	18	4	4	1077	0	1077	0.4	0.00	17.77	0.00	54
187	1300	10	1310	25	25	3	4	2107	0	2107	1.52	0.00	12.28	0.00	161
188	1300	10	1310	15	15	3	4	409	0	409	0.45	0.00	14.97	0.00	31
189	1300	10	1310	17	17	3	4	1295	0	1295	0.69	0.00	14.81	0.00	99
190	1300	10	1310	15	15	3	4	409	0	409	1.27	0.00	14.97	0.00	31
191	2000	10	2010	20	20	4	4	779	0	779	0.48	0.00	19.93	0.00	39
192	1300	10	1310	18	18	3	4	409	0	409	0.51	0.00	17.97	0.00	31
193	1300	10	1310	15	15	3	4	957	0	957	0.39	0.00	14.36	0.00	73
194	1300	10	1310	18	18	3	4	691	0	691	0.34	0.00	17.78	0.00	53
195	1300	10	1310	18	18	3	4	1426	0	1426	0.61	0.00	14.78	0.00	109
196	10	2000	2010	20	20	4	4	0	1047	1047	0	0.28	0.00	19.77	52
197	1300	10	1310	18	18	3	4	845	0	845	0.57	0.00	17.53	0.00	65
198	1300	10	1310	22	22	3	4	578	787	1365	0.74	0.81	21.13	19.29	104
199	1300	10	1310	18	18	3	4	718	0	718	0.47	0.00	17.75	0.00	55
200	800	800	1600	18	18	3	4	1138	0	1138	0.64	0.00	16.54	0.00	71
201	1300	10	1310	15	15	3	4	1851	0	1851	0.93	0.00	9.28	0.00	141
202	1300	10	1310	20	20	4	4	1061	0	1061	0.29	0.00	19.76	0.00	81
203	10	1300	1310	18	18	3	4	0	965	965	0	0.52	0.00	17.21	74
204	1300	10	1310	15	15	3	4	1048	0	1048	0.64	0.00	14.10	0.00	80
205	10	1300	1310	18	18	3	4	0	1233	1233	0	0.39	0.00	16.04	94
206	10	1300	1310	18	18	3	4	0	1324	1324	0	0.59	0.00	15.49	101
207	10	1300	1310	18	18	3	4	0	780	780	0	0.57	0.00	17.65	60
208	1300	10	1310	10	10	3	4	48	0	48	1.05	0.00	10.00	0.00	4
209	1300	10	1310	15	15	3	4	0	0	0	0.54	0.00	15.00	0.00	0
210	10	1300	1310	18	18	3	4	0	37	37	0	0.52	0.00	18.00	3
211	1300	10	1310	15	15	3	4	0	0	0	0.62	0.00	15.00	0.00	0
212	1300	10	1310	18	18	3	4	1650	0	1650	0.72	0.00	12.95	0.00	126
216	1300	10	1310	18	18	3	4	104	0	104	0.5	0.00	17.99	0.00	8
214	1300	10	1310	15	15	3	4	1832	0	1832	1.09	0.00	9.42	0.00	140
215	1300	10	1310	15	15	3	4	207	0	207	0.39	0.00	14.99	0.00	16
217	800	800	1600	15	15	3	4	887	1133	2020	0.46	0.61	12.22	9.35	126
218	1300	10	1310	15	15	3	4	1077	0	1077	0.66	0.00	14.00	0.00	82

TABLA N°:5.2d

FLUJO Vs. CAPACIDAD DE VIAS - SEGUNDO MODELAMIENTO

ID	AB cap	BA cap	Total cap	AB vel	BA vel	Tipo via	Pea vel	Flujo AB	Flujo BA	Total flujo	AB-time	BA-time	AB-Vel	BA-Vel	Grado saturacion %
226	800	800	1600	20	20	2	4	12	827	839	0.67	0.78	20.00	17.07	52
227	800	800	1600	20	20	3	4	12	148	160	0.63	0.63	20.00	19.99	10
228	800	800	1600	20	20	2	4	45	515	560	0.32	0.33	20.00	19.49	35
229	800	800	1600	20	20	2	4	31	72	103	1.28	1.28	20.00	19.99	6
230	800	800	1600	20	20	2	4	38	0	38	0.56	0.56	20.00	20.00	2
231	800	10	810	20	20	2	4	583	0	583	0.61	0.00	19.19	0.00	72
232	10	800	810	20	20	2	4	0	1180	1180	0	1.02	0.00	11.70	146
233	800	10	810	20	20	2	4	756	0	756	0.58	0.00	17.86	0.00	93
234	800	800	1600	20	20	2	4	0	79	79	0.47	0.47	200.00	19.99	5
235	800	800	1600	20	20	2	4	755	167	922	0.54	0.48	17.87	19.99	58
236	800	800	1600	20	20	2	4	103	489	592	0.58	0.59	19.99	19.58	37
237	800	800	1600	20	20	2	4	103	348	451	0.37	0.37	19.99	19.89	28
238	800	10	810	20	20	2	4	928	0	928	0.36	0.00	15.72	0.00	115
239	800	10	810	20	20	2	4	946	0	946	1.08	0.00	15.46	0.00	117
240	800	10	810	20	20	2	4	820	0	820	0.37	0.00	17.16	0.00	101
241	800	10	810	20	20	2	4	49	0	49	0.61	0.00	20.00	0.00	6
242	10	800	810	20	20	2	4	0	30	30	0	0.49	0.00	20.00	4
243	800	800	1600	20	20	2	4	13	0	13	4.6	4.60	20.00	20.00	1
244	800	800	1600	20	20	4	4	0	184	184	2.96	2.96	20.00	19.99	12
245	800	800	1600	20	20	2	4	97	324	421	2.03	2.04	19.99	19.91	26
246	1200	1200	2400	20	20	4	4	1	85	86	1.56	1.56	20.00	19.99	4
247	800	800	1600	20	20	2	4	80	8	88	1.74	1.74	19.99	20.00	6
248	1200	1200	2400	20	20	4	4	0	0	0	3.89	3.89	20.00	20.00	0
249	800	800	1600	20	20	3	4	77	178	255	1.81	1.81	19.99	19.99	16
255	800	10	810	20	20	2	4	1064	0	1064	0.99	0.00	13.61	0.00	131
256	800	800	1600	20	20	2	4	424	709	1133	0.31	0.34	19.76	18.30	71
257	800	800	1600	20	20	2	4	891	876	1767	0.52	0.52	16.25	16.45	110
258	800	800	1600	20	20	2	4	17	311	328	0.41	0.42	20.00	19.93	21
259	800	800	1600	20	20	2	4	1217	1115	2332	0.87	0.75	11.08	12.76	146
260	800	800	1600	20	20	2	4	720	1079	1799	0.34	0.47	18.20	13.36	112
261	800	800	1600	20	20	2	4	0	0	0	0.54	0.54	20.00	20.00	0
262	800	800	1600	20	20	2	4	43	23	66	1.71	1.71	20.00	20.00	4
263	800	10	810	20	20	2	4	556	0	556	1.27	0.00	19.32	0.00	69
264	800	800	1600	20	20	2	4	32	165	197	1.03	1.03	20.00	19.99	12
265	800	800	1600	20	20	2	4	487	147	634	0.25	0.25	19.59	19.99	40
266	800	10	810	20	20	2	4	376	0	376	0.51	0.00	19.85	0.00	46
267	800	10	810	20	20	2	4	480	0	480	0.28	0.00	19.61	0.00	59
268	800	800	1600	20	20	2	4	609	1063	1672	0.67	0.94	19.04	13.62	105
269	800	800	1600	20	20	2	4	162	308	470	0.50	0.50	19.99	19.93	29
270	800	800	1600	20	20	2	4	869	920	1789	0.80	0.83	16.54	15.84	112
271	800	800	1600	20	20	2	4	435	801	1236	0.26	0.30	19.74	17.37	77
272	800	800	1600	20	20	2	4	451	700	1151	0.59	0.63	19.70	18.38	72

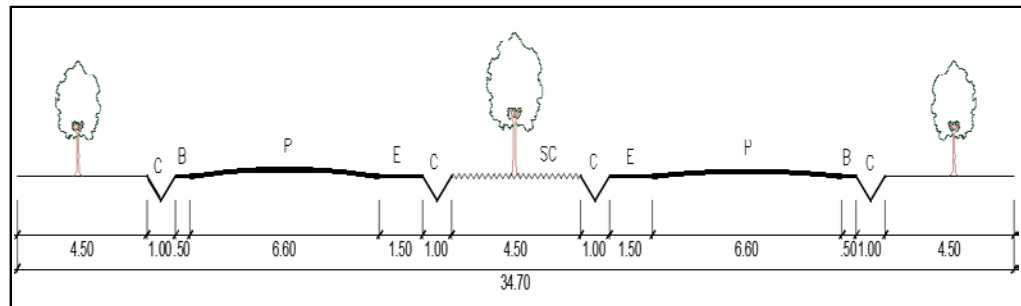
5.5. Caracterización de la jerarquización de vías

Para el planteamiento del sistema vial se definió las siguientes categorías jerarquizadas de vías de acuerdo al grado de saturación encontrada (flujo Vs. Capacidad), a la infraestructura existente.

a). Vía expresa nacional (tramo que forma parte de la carretera Pdte. Fernando Belaunde Terry)

Ubicada al sur de la ciudad de Moyobamba y formará parte de la infraestructura de Iniciativa para la Integración de la Infraestructura General Suramericana (IIRSA) para el Eje de Integración y Desarrollo Andino.

Longitud de vía	: 9.70 km., tramo A1 - A2 - A3 - A4, A5, A6
Inicio del tramo	: km. 489, fin en el km. 498 de la carretera Pdte. Fernando Belaunde Terry.
Sección de vía	: 34.70m
Sección de pista	: dos de 6.60m.
Estacionamientos	: de 1,50m a ambos lados.
Nº de carriles	: Cuatro carriles; dos carriles por sentido con un separador central.
Velocidad de circulación	: 60km/h
Tipo de tránsito	: liviano y pesado

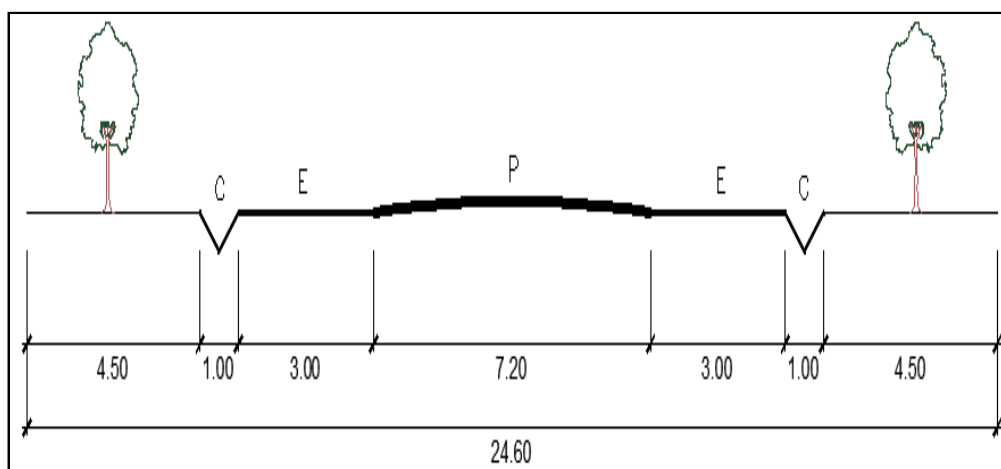


VIA EXPRESA NACIONAL (CARRETERA PDTE. FERNANDO BELAUNDE TERRY)
SECCION 1-1

b). Vía expresa local (vía evitamiento)

Se ubicará al este, norte y oeste de la ciudad de Moyobamba y formará el anillo vial para vehículos de carga principalmente. Se permitirá la parada de los vehículos.

Longitud de vía	: 18.70 km., Tramo A1 - B1 - B2 - B3 - B4 - B4 - B5 - B6 - B7 - B8 – A6
Inicio del tramo	: km. 489, fin en el km. 498 de la carretera Pdte. Fernando Belaunde Terry.
Sección de vía	: 18.70m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 3,00m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 50km/h
Tipo de tránsito	: liviano y pesado

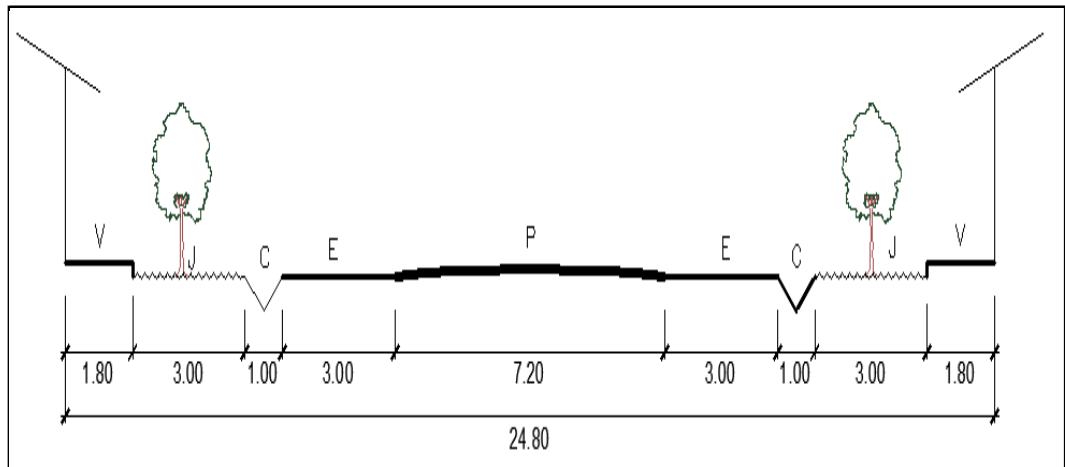


VIA EXPRESA LOCAL (VIA DE EVITAMIENTO)
SECCION 2-2

c). Vía arterial 1

Se ubicada en la parte norte de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para carga.

Longitud de vía	: 7.80 km., Tramo B3 - C1 - C2 - C3 – B6
Inicio del tramo	: Punto B3, y su final en el punto B6 de la vía expresiva local (vía de evitamiento).
Sección de vía	: 24.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 3,00m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 50km/h
Tipo de tránsito	: liviano y pesado



VIA ARTERIAL 1, 2, 3 y 4
SECCION 3-3

d). Vía arterial 2

Se ubicará en la parte sur de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para carga.

Longitud de vía	: 7.50 km., tramo A1 - D1 - D2 - D3 - D4 - D5 - D6 - A6
Inicio del tramo	: Punto A1 y su final en el punto A6 de la vía expresa nacional (carretera Pdte. Fernando Belaunde Terry)
Sección de vía	: 24.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 3,00m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 50km/h
Tipo de tránsito	: liviano y pesado

e). Vía arterial 3

Se ubicará en la parte oeste de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para carga.

Longitud de vía	: 7.00 km., tramo B6 – C2 – E1 – E2 - E3 – D2 – E4 – A3
Inicio del tramo	: Punto B6 de la vía expresa local (vía de evitamiento) y su final en el punto A3 de la vía expresa nacional (carretera Pdte. Fernando Belaunde Terry)
Sección de vía	: 24.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 3,00m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 50km/h
Tipo de tránsito	: liviano y pesado

f). Vía arterial 4

Se ubicará en la parte oeste de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para carga.

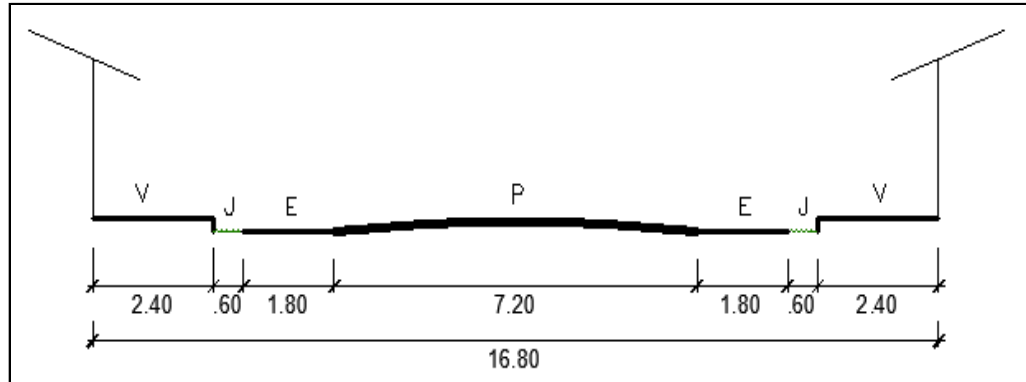
Longitud de vía	: 5.70 km., tramo F1 – F2 – F3 – F4 –F5 – F6 – F7 – D3- F8 - A4
Inicio del tramo	: Punto F1 de la vía arterial 1 y su final en el punto A4 de la vía expresa nacional (carretera Pdte. Fernando Belaunde Terry)
Sección de vía	: 24.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 3,00m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 50km/h
Tipo de tránsito	: liviano y pesado

g). Vía colectora 1

Se ubicará en la parte norte de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para pasajero.

Longitud de vía	: 1.90 km., tramo G1 – G2 – G3 – G4 - H6
Inicio del tramo	: Punto inicio G1 y final en el punto H6 de la vía colectora 2
Sección de vía	: 16.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 1.80m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.

Velocidad de circulación : 40km/h
 Tipo de tránsito : liviano



VIA COLECTORA 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10
SECCION 4-4

h). Vía colectora 2

Ubicada en la parte norte de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la la parada de los vehículos para pasajero.

Longitud de vía : 7.50 km., tramo B4 – C1 – H1- E1 – H2 – H3 – F2 – H4 – H5- H6 - B7
 Inicio del tramo : Punto inicio B4 y su final en el punto B7 de la vía expresa local (vía de evitamiento)
 Sección de vía : 16.80m
 Sección de pista : de 7.20m.
 Estacionamientos : de 1.80m a ambos lados.
 N° de carriles : dos; uno por sentido sin separador central.
 Velocidad de circulación : 40km/h
 Tipo de tránsito : liviano

i). Vía colectora 3

Se ubicará en la parte centro de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para pasajero.

Longitud de vía	: 3.00 km., tramo H2 – H3 – F3 – L1 – L2 – H6
Inicio del tramo	: Punto inicio H2 y final H6 de la vía colectora 2.
Sección de vía	: 16.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 1.80m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 40km/h
Tipo de tránsito	: liviano

j). Vía colectora 4

Se ubicará en la parte centro de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para pasajero.

Longitud de vía	: 1.90 km., tramo B2 – H1 – E2 – F4 – K2 - K3
Inicio del tramo	: Punto inicio B2 y final K3 de la vía expresa local (vía de evitamiento)
Sección de vía	: 16.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 1.80m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 40km/h
Tipo de tránsito	: liviano

k). Vía colectora 5

Se ubicará a en la parte centro de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para pasajero.

Longitud de vía	: 8.00 km., tramo B1 – I1 – E3 – H2 – F5- I2 – I3 – I5 – B8
Inicio del tramo	: Punto inicio B1 y su final en el punto B8 de la vía expresa local (vía de evitamiento).
Sección de vía	: 16.80m
Sección de pista	: de 7.20m.

Estacionamientos	: de 1.80m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 40km/h
Tipo de tránsito	: liviano

l). Vía colectora 6

Se ubicará en la parte sur de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para pasajero.

Longitud de vía	: 1.40 km., tramo F7 – H5 – H6
Inicio del tramo	: Punto inicio F7 de la vía arterial 7 y su final en el punto H6 de la vía colectora 10.
Sección de vía	: 16.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 1.80m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 40km/h
Tipo de tránsito	: liviano

m). Vía colectora 7

Se ubicará en la parte este de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para pasajero.

Longitud de vía	: 6.00 km., tramo J1 – E4 – F8 – J2 – D7
Inicio del tramo	: Punto inicio J1 de la vía colectora 8 y su final en el punto D7 de la vía arterial 2
Sección de vía	: 16.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 1.80m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 40km/h
Tipo de tránsito	: liviano

n). Vía colectora 8

Se ubicará en la parte centro de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la

Longitud de vía	: 5.00 km., tramo H1 – I1 – D1 – J1 – A2
Inicio del tramo	: Punto inicio H1 de la vía arterial 4 y su final en el punto A2 de la vía colectora 10
Sección de vía	: 16.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 1.80m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 40km/h
Tipo de tránsito	: liviano

o). Vía colectora 9

Se ubicará en la parte este de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la parada de los vehículos para pasajero.

Longitud de vía	: 2.50 km., tramo G2 – H4 – L1 – K2 – I2 – H5 – D4
Inicio del tramo	: Punto inicio G2 de la vía colectora 1 y su final en el punto D4 de la vía arterial 2
Sección de vía	: 16.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 1.80m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 40km/h
Tipo de tránsito	: liviano

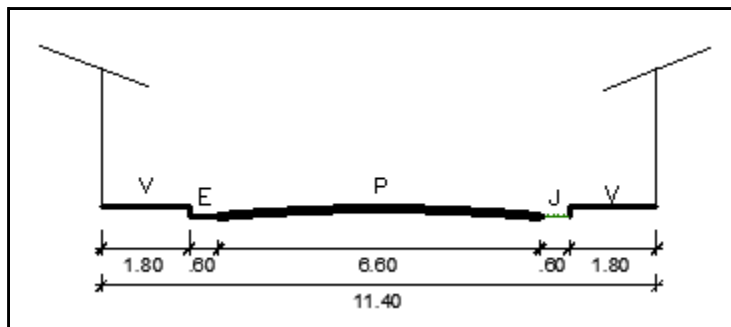
p). Vía colectora 10

Se ubicará en la parte centro de la ciudad y formará el anillo vial para descongestionar el tránsito al interior de la ciudad. Se permitirá la

Longitud de vía	: 4.60 km., tramo C3 – H5 – L2 – K3 – I3 – H6 – D5 – J2 – A5
Inicio del tramo	: Punto inicio C3 de la vía colectora 1 y su final en el punto A5 de la vía expresa nacional (carretera Pdte. Fernando Belaunde Terry)
Sección de vía	: 16.80m
Sección de pista	: de 7.20m.
Estacionamientos	: de 1.80m a ambos lados.
Nº de carriles	: dos; uno por sentido sin separador central.
Velocidad de circulación	: 40km/h
Tipo de tránsito	: liviano

q). **Vías locales**

Tendrá una sección de dos carriles; ambos en un solo sentido, el ancho de la vía será de 11.40m con un sección de pista de 6.60m.



VIA LOCAL

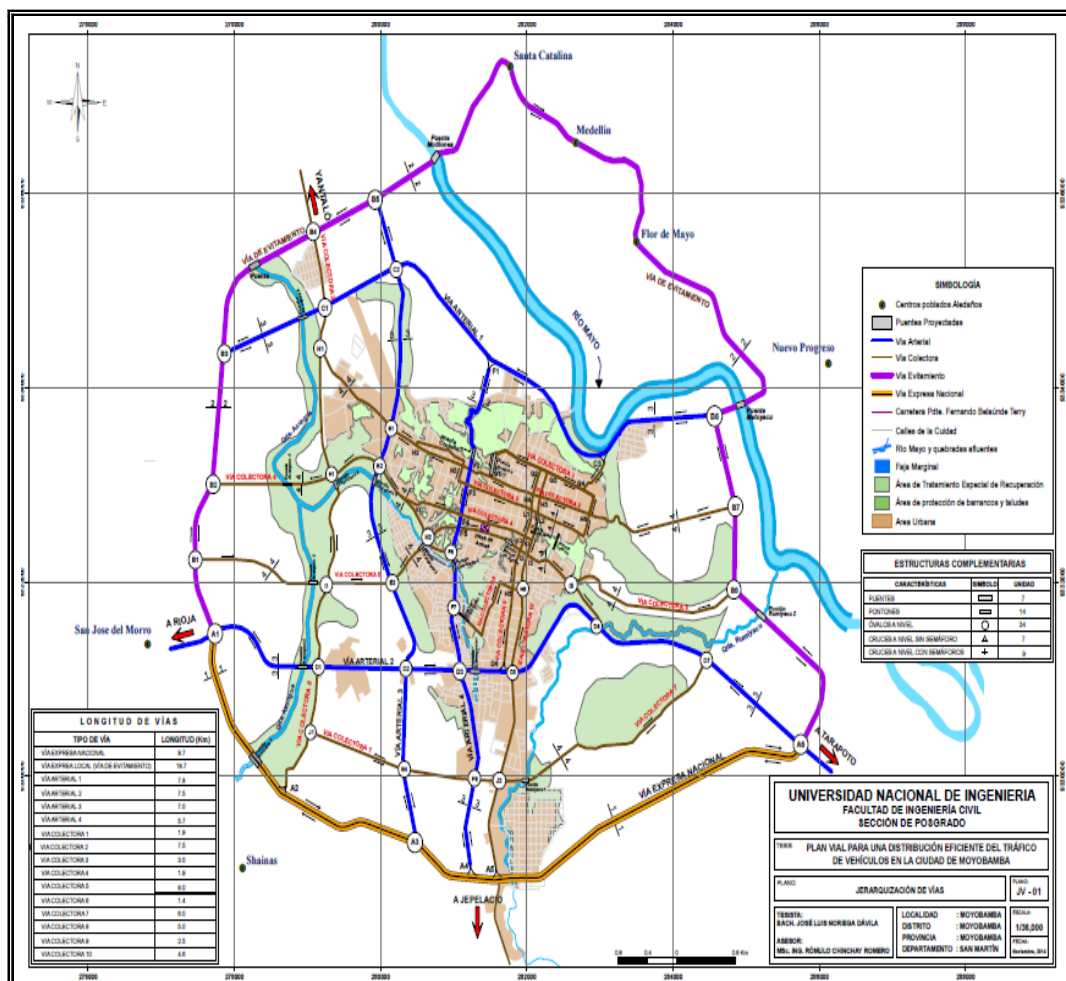
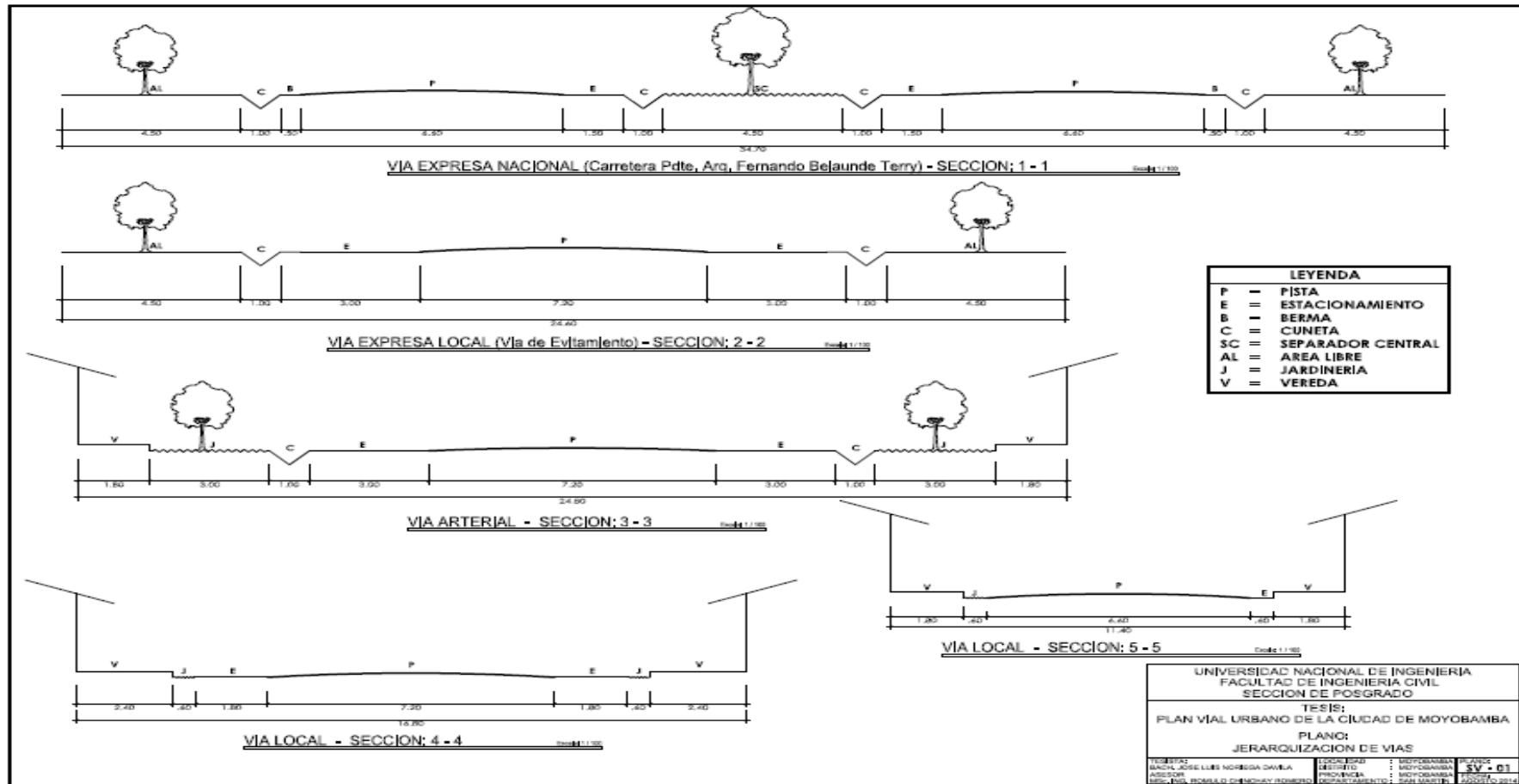


Figura Nº 5.2: Jerarquización de vías de la ciudad de Moyobamba

Fuente: Elaboración propia



SECCIONES DE VIAS

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. Introducción

En este capítulo se presenta un breve resumen de las conclusiones y aportes del presente trabajo de investigación y se dan algunas recomendaciones para futuras investigaciones acerca de la planificación vial en el área urbana de la ciudad de Moyobamba.

6.1 Conclusiones

- 1.** La propuesta del plan vial se apoya en el plan de desarrollo urbano de la ciudad de Moyobamba PDU 2013-2018, en términos de la estructura urbana.
- 2.** Para el modelado de la distribución de los viajes en la red vial, se utilizó el modelo gravitacional doblemente acotado, el cual determina los viajes en el par O-D de acuerdo con la generación y la atracción de viajes entre zonas relacionadas y una función de impedancia exponencial negativa, que depende del tiempo de viaje entre zonas.
- 3.** Para la obtención de los flujos en las redes se utilizó el modelo de asignación de Equilibrio del Usuario/Determinístico (User Equilibrium; UE), se basa en el 1er. Principio de Wardrop, que dice: En condiciones de equilibrio, en una red congestionada, el flujo se acomoda de modo que todas las rutas utilizadas en un par Origen-Destino dado tienen el mismo costo mínimo, mientras que las rutas no elegidas tienen costos iguales o mayores, el primer principio de Wardrop, indica que habrá equilibrio en la red cuando ningún usuario pueda reducir unilateralmente su costo de viaje, mediante un cambio de ruta.
- 4.** La jerarquización de las vías se determinaron teniendo presente los flujos optimizados en los arcos de las vías propuestas para tal fin.
- 5.** La solución al problema de la congestión vehicular difícilmente puede basarse en la ampliación de la capacidad de las redes viales, como se ha visto en la práctica, ya que, aparte de la dificultad de construir en el ambiente urbano, donde muchas veces ya no hay espacio disponible, estas construcciones implican costos de enormes magnitudes.

6.2. Recomendaciones

1. Se recomienda que esta propuesta del plan vial, sea tomada como base para los futuros estudios definitivos.
2. Se recomienda la construcción de las diferentes vías propuestas en el plan vial.
3. Se recomienda la construcción de los diferentes puentes propuestos en el plan vial.
4. Se recomienda la construcción de los diferentes óvalos y la instalación de semáforos para permitir una intersección a nivel en las diferentes vías planteadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ortúzar Juan de Dios y Willumsen Luis G, (2008), Modelos de transporte, ed. N° 3, Ed. Ediciones de la Universidad de Cantabria, España.
- [2] MTC/JICA. Plan Maestro de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Agencia de Cooperación Internacional de Japón –JICA (2004).
- [3] Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Moyobamba, Municipalidad Provincial de Moyobamba (2014).
- [4] Modelos Matemáticos para Distribución de Viajes, Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Publicación Técnica N° 31, Queretaro, (1991)
- [5] Alfonso Perona, Movilidad Urbana Sostenible, Conferencia Europea sobre gestión energética en la administración local, Agencia Local de Energía del Ayuntamiento de Sevilla, Marzo (2003).
- [6] Clifton R.J.: An analysis of combined longitudinal and torsional plastic waves in a thin-walled tube, Proceedings of the fifth U.S. National Congress of Applied Mechanics, University of Minnesota, (1966) 465-480.
- [7] TranCAD, (2008), Travel Demand Modeling with TransCAD 5.0 User's Guide. Caliper Corporation, 2008.