Financiado por la Unión Europea

A través de: cooperación alemana KFW

PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Plan de Movilidad Urbana Sostenible de Chiclayo

Anexo 3

Modelación de Diagnóstico

VERSIÓN PRELIMINAR

BMZ-No.: 302000651, KfW 511855 Lote 2

PRESENTADO A:

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)
Jr. Zorritos 1203, Cercado de Lima
Lima

PMUS
PLAN DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE PARA CHICLAYO

HEAT GFA CONSULTING GROUP INGEROP

Revisión del documento

Versión	Fecha	Páginas	Objeto de la revisión
1	05.06.26	196	Informe final

VERSION PRELIMINAR

"Este documento fue elaborado con la asistencia financiera de la Unión Europea. Las opiniones expresadas en él no se considerarán, en modo alguno, como reflejo de la opinión oficial de la Unión Europea"

Tabla de contenido

1 Detalles del Proyecto 14

2 Resumen ejecutivo 15

3 Objetivo 16

4 Alcance 17

5 Introducción al Modelo de Transporte 18

5.1 Funcionamiento general de un modelo de transporte de cuatro etapas 19

6 Descripción del Software de macromodelación TransCAD 21

6.1 Módulo GIS 21
6.2 Módulo Modelación 22
6.3 Herramientas y funciones de TransCAD aplicadas al MET 23

6.3.1 Bondades técnicas de construir el modelo en TransCAD 23

6.3.2 Herramientas y funciones técnicas de TransCAD 24

6.3.3 Herramientas por etapa del modelo de cuatro etapas 25

6.3.4 Integración operativa de las cuatro etapas en TransCAD 28

6.3.5 Resultados e información relevante para el diagnóstico 28

6.3.6 Integración de datos de campo en TransCAD 29

7 Ámbito de estudio y Zonificación 30

7.1 Ámbito de estudio 30
7.2 Delimitación del área del perímetro 31
7.3 Zonificación 33

7.3.1 Revisión de antecedentes y fuentes de información 34

7.3.2 Criterios de delimitación espacial 35

7.3.3 Centroides de las zonas y conectividad con la Red Vial 42

7.3.4 Construcción de los conectores centroides 46

8 Elección del tipo de Modelo 48

8.1 Diferenciación Metodológica: Secuencial vs. Retroalimentado 48
8.2 Justificación Técnica para el MET 49
8.3 Limitaciones, supuestos y restricciones del modelo 50

9 Componentes del Modelo de Transporte 52

9.1 Ámbito de estudio 52

VERSIÓN PRELIMINAR

9.1.1 Metodología de exportación OSM – Open Street Maps 53
9.1.2 Red Vial 55
9.1.3 Red de Rutas del Transporte Público 62
9.1.4 ZAT 72
9.2 Modelo de Demanda 75
9.3 Metodología de construcción y expansión de matrices origen-destino 76

10 Procesamiento de la Base de Datos 81

10.1 Introducción y alcance 81
10.2 Tipos de estudios desarrollados y cobertura de la toma de información 82
10.2.1 Estudios de demanda y caracterización de viajes 82
10.2.2 Estudios de oferta y operación del sistema de transporte 83
10.2.3 Estudios de transporte de carga 84
10.3 Suficiencia de la toma de información para modelación y diagnóstico 85
10.3.1 Criterios de validez estadística 85
10.3.2 Validez para el diagnóstico de la movilidad 86
10.4 Insumos generados para el modelo de transporte 87
10.4.1 Generación de viajes 87
10.4.2 Distribución de viajes 87
10.4.3 Reparto modal 88
10.4.4 Asignación a la red 88
10.5 Factores clave derivados de los trabajos de campo 89

11 Modelo de Transporte de Cuatro Etapas 90

11.1 Inicialización 92
11.1.1 Preparación de la estructura base del modelo 92
11.1.2 Inputs utilizados para la inicialización del modelo 94
11.1.3 Configuración inicial del escenario base 101
11.1.4 Parámetros iniciales de modelación 102
11.1.5 Algoritmos y secuencia de ejecución 106
11.1.6 Controles e indicadores de verificación inicial 107
11.2 Modelo de Generación 108
11.2.1 Producción de viajes 109

VERSIÓN PRELIMINAR

11.2.2 Modelo de atracción de viajes 117
11.2.3 Balance de viajes 119
11.3 Modelo de Distribución 121
11.3.1 Metodología utilizada 122
11.3.2 Construcción de las impedancias de transporte 123
11.3.3 Función de fricción adoptada 126
11.3.4 Calibración de los parámetros alfa y beta 126
11.3.5 Interpretación de los parámetros calibrados 130
11.4 Modelo de Partición Modal 130
11.4.1 Metodología utilizada 131
11.4.2 Modelo de elección modal – LOGIT 131
11.4.3 Resultados de indicadores del modelo 133
11.4.4 Alcance del análisis de sensibilidad 135
11.4.5 Matrices y aplicación en TransCAD 135
11.5 Calibración del modelo 137
11.5.1 Datos de campo utilizados 137
11.5.2 Método PIVOT 137
11.6 Modelo de Asignación 141
11.6.1 Asignación del Transporte Privado 142
11.6.2 Asignación del transporte público 150

12 Construcción de Escenarios 160
12.1 Escenario Base 2025 160
12.1.1 Red de transporte público 160
12.1.2 Transporte privado 173
12.1.3 Transporte de Carga 179
12.1.4 Nota metodológica de interpretación 182
12.2 Escenario Tendencial 183

13 Repositorio y formatos de entrega 191

14 Conclusiones y recomendaciones 191
14.1 Conclusiones 191
14.2 Recomendaciones 193

15 Bibliografía 196

VERSIÓN PRELIMINAR

VERSION PRELIMINAR

Lista de Figuras

Figura 1: Componentes de un modelo 19

Figura 2: Modelo de transporte de 4 etapas 20

Figura 3: Zonificación estructurada para el PMUS de Chiclayo – Núcleo Urbano Metropolitano 36

Figura 4: Zonificación estructurada para el PMUS de Chiclayo – Representación de Zonas Externas 36

Figura 5: Zonificación en corredores de la malla vial principal 37

Figura 6: Zonificación en zonas de expansión y borde territorial 39

Figura 7: Zonificación en sectores de servicios y Aeropuerto 40

Figura 8: Zonas externas y representación regional 42

Figura 9: Representación de Centroides en las ZAT 45

Figura 10:Ubicación de los centroides 46

Figura 11: Construcción de los conectores y centroides 47

Figura 12: Proceso de Modelación de la Red Vial 54

Figura 13: Red vial MET 57

Figura 14: Red vial – Dataview MET 58

Figura 15: Nodos asociados a la Red vial – Dataview MET 58

Figura 16: Representación de los conectores y Centroides en la red vial 61

Figura 17: Metodología para la incorporación de rutas de transporte público al modelo de transporte 62

Figura 18: Integración de las rutas de transporte público de pasajeros al modelo de transporte 65

Figura 19: Localización de paraderos de transporte público - Campo 67

Figura 20: Localización de paraderos de transporte público - Campo 67

Figura 21: Red de rutas de transporte público 69

Figura 22: Dataview asociado a la red de rutas 70

Figura 23: Nodos asociados a la Red de rutas – Dataview MET 71

Figura 24: Tarifa zonal 72

Figura 25: Zonas de tránsito MET 74

Figura 26: Metodología general de la construcción de matrices 76

Figura 27: Resumen matriz interceptación de auto privado 80

Figura 28: Resumen matriz interceptación de vehículos de carga (Ligeros) 80

Figura 29: Resumen matriz interceptación de vehículos de carga (pesados) 80

Figura 30: Matrices de viajes MET 81

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 31: Esquema general del modelo de Chiclayo 91
Figura 32: Esquema general del modelo de 4 etapas desarrollado en TransCAD 91
Figura 33: Entorno del modelo de transporte 93
Figura 34: Definición del escenario 102
Figura 35: Aplicación de las tasas de generación - TransCAD 113
Figura 36: Aplicación de las tasas de atracción - TransCAD 118
Figura 37: Esquema de desarrollo del modelo de distribución. 121
Figura 38: Diagrama de flujo de distribución de viajes 123
Figura 39: Matriz de impedancia privada 125
Figura 40: Matriz de impedancia pública 125
Figura 41: Aplicación de los parámetros a y b - TransCAD 127
Figura 42: Distribución de tiempos NSE A y Motivo principal. 127
Figura 43: Distribución de tiempos NSE B y Motivo principal. 127
Figura 44: Distribución de tiempos NSE C y Motivo principal 128
Figura 45: Distribución de tiempos NSE A y Motivo secundario 128
Figura 46: Distribución de tiempos NSE B y Motivo secundario 128
Figura 47. Distribución de tiempos NSE C y Motivo secundario 129
Figura 48: Estructura del modelo Logit jerárquico 132
Figura 49: Matrices de utilidad 136
Figura 50: Variables utilizadas del modelo logit 136
Figura 51: matriz base calibrada público 138
Figura 52: matriz base calibrada privado 138
Figura 53: Matriz pivot - público 141
Figura 54: Matriz pivot - privada 141
Figura 55: Comparación de resultados GEH 145
Figura 56: Dispersión del transporte privado en HPM 146
Figura 57: Dispersión del transporte privado para validación en HPM 147
Figura 58: Comparación de resultados GEH – vehículos ligeros y pesados 147
Figura 59: Dispersión del transporte de carga (ligeros y pesados) en HPM 149
Figura 60: Comparación de resultados GEH – vehículos ligeros y pesados-validación 149
Figura 61: Dispersión del transporte pesado para validación en HPM 150
Figura 62: Formulación del costo generalizado del método Pathfinder Fuente: CALIPER 152

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 63: Matriz de costo generalizado de viaje 153
Figura 64: Matriz de tiempo totales de viajes 154
Figura 65: Dispersión del transporte público en HPM 157
Figura 66: Dispersión del transporte público para validación en HPM 158
Figura 67: Comparación de transbordos 159
Figura 68: Proceso de la elaboración de diseños eficientes 162
Figura 69: Diseño EPD final para usuarios del transporte público 163
Figura 70: MML- público (sin constante) – Salida de BIOGEME 166
Figura 71: Rutas de transporte público. (1/2) 167
Figura 72: Rutas de transporte público (2/2) 167
Figura 73: Matriz de tarifa zonal 168
Figura 74: Carga de pasajeros (TransitFlow) en la HPM. 169
Figura 75: Líneas de deseo de transporte público 169
Figura 76: Tramos analizados 170
Figura 77: Caminata de pasajeros al transporte público colectivo 171
Figura 78: Subida de pasajeros de transporte público 172
Figura 79. Bajada de pasajeros de transporte público 172
Figura 80: Matriz privada punta de la mañana (HPM). 174
Figura 81: Asignación del transporte privado en la HPM. 174
Figura 82: Líneas de deseo de transporte privado 175
Figura 83: Grado de saturación durante la HPM. 176
Figura 84: Velocidad HPM. 179
Figura 85: Matriz de vehículos de carga ligeros HPM. 180
Figura 86: Matriz de vehículos de carga pesados HPM. 181
Figura 87: Vehículos pesados durante HPM. 181
Figura 88. líneas de deseo de transporte pesado 182
Figura 89: Tasas de crecimiento por NSE 183
Figura 90: Resultado de indicadores 183
Figura 91: Tramos analizados 184
Figura 92: Tendencia de la velocidad del transporte público proyectado 189

VERSIÓN PRELIMINAR

Lista de tablas

Tabla 1. Distribución Poblacional del Ámbito de Estudio MET (2022) 31
Tabla 2: Atributos principales de la red vial 56

Tabla 3: Clasificación funcional de vías 57
Tabla 4: Factor relación - velocidad del transporte público / velocidad del transporte privado 57
Tabla 5: Parámetros de la función flujo-demora 59
Tabla 6: Valor subjetivo del tiempo 59
Tabla 7: Estadísticos del VOT privado 59
Tabla 8: Estadísticos del VOT público 60
Tabla 9: Valor del tiempo 60
Tabla 10: Atributos de la red de transporte público 69
Tabla 11: Atributos de las paradas de transporte público 71
Tabla 12: Sistema de tarifas de transporte público - colectivo 72
Tabla 13: Atributos de las zonas de tránsito 74
Tabla 14: Atributos de las zonas de tránsito asociados a las variables de hogares y uso de suelo 74
Tabla 15: Factores de expansión privado 78
Tabla 16: Factores de expansión pesados 79
Tabla 17: Resumen de estudios de campo ejecutados – PMUS Chiclayo 84
Tabla 18: Cumplimiento de la muestra objetivo por estudio – PMUS Chiclayo 85
Tabla 19: Insumos generados por estudio para el modelo de transporte de cuatro etapas – PMUS Chiclayo 88
Tabla 20: Parámetros iniciales de la red vial 94
Tabla 21: Parámetros iniciales de las ZAT 96
Tabla 22: Parámetros iniciales operacionales de las rutas 98
Tabla 23: Parámetros iniciales de costo de tarifa 101
Tabla 24: Principales parámetros del modelo 103
Tabla 25: Principales algoritmos de asignación 106
Tabla 26: Tasas de generación de viajes hogares sin auto 110
Tabla 27: Tasas de generación de viajes hogares con auto 110
Tabla 28: Cantidad de hogares por nivel socioeconómico y disponibilidad de autos 111
Tabla 29: Resultados de los viajes producidos por ZAT 114
Tabla 30. Resumen de viajes producidos 116
Tabla 31. Tasas de atracción de viajes 118
Tabla 32. Viajes atraídos por segmento de demanda 118
Tabla 33. Viajes Producidos/Atraídos por segmento de demanda 120
Tabla 34. Resultados de los viajes producidos/atraídos por ZAT 121

VERSIÓN PRELIMINAR

Tabla 35: Núcleos de la matriz de impedancia de transporte privado 124
Tabla 36: Valores Alpha y beta calibrados. 126
Tabla 37: Validación TLD Campo VS Modelo para NSE Alto 129
Tabla 38: Validación TLD Campo VS Modelo para NSE Medio 129
Tabla 39: Validación TLD Campo VS Modelo para NSE bajo 130
Tabla 40: Coeficientes de las variables 134
Tabla 41: Validación de reparto modal HPM 137
Tabla 42: Clases de vehículos en asignación privada 143
Tabla 43: Parámetros de la función flujo-demora 144
Tabla 44: Valores resultados del indicador GEH 146
Tabla 45: Valores resultados del indicador GEH 149
Tabla 46: Sistema de tarifas de transporte público 153
Tabla 47: Resumen de tiempos 155
Tabla 48: Comparación de resultados GEH – carga de pasajeros 156
Tabla 49: Valores resultados del indicador GEH 158
Tabla 50: Comparación de resultados GEH – carga de pasajeros - validación 158
Tabla 51: Muestra de la base de datos de las EPD 164
Tabla 52: Estructura final para el cálculo de los coeficientes de utilidad 165
Tabla 54: Carga de pasajeros durante la hora de máxima demanda 170
Tabla 53: Flujos de vehículos privados HMD por sentido 175
Tabla 55: Grado de saturación promedio y máxima 178
Tabla 53: Flujos de vehículos privados en el escenario tendencial 185
Tabla 54: Flujos de pasajeros para el escenario tendencial 186
Tabla 55: Grado de saturación en el escenario tendencial 188
Tabla 56: Velocidad del transporte público para el escenario tendencial 189
Tabla 57: Tiempos de viaje del sistema para el escenario tendencial 190

VERSIÓN PRELIMINAR

Lista de acrónimos

Abreviación	*Significado*
BAU	*Business as Usual*
BMZ	*Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania*
BPR	*Bureau of Public Roads*

Abreviación	Significado
C2L	Camión de dos ejes ligero
C2P	Camión de dos ejes pesado
CG	Costo Generalizado de Viaje
COMUS	Comité de Movilidad Urbana Sostenible
DFPM	Dirección de Fortalecimiento y Planificación de la Movilidad
EOD	Encuesta Origen-Destino
EODA	Encuesta Origen-Destino de Interceptación a Usuarios del Transporte Público
EODH	Encuesta Origen-Destino a Hogares
EODI	Encuesta Origen-Destino de Interceptación a Vehículos Privados
EPD	Encuesta de Preferencias Declaradas
F.E.	Factor de Expansión
FOV	Frecuencia y Ocupación Visual
GEH	Indicador estadístico GEH
GIS	Geographic Information System
GIS-T	Geographic Information System for Transportation
GISDK	Geographic Information System Developer's Kit
GPX	GPS Exchange Format
GTSV	Gerencia de Transportes y Seguridad Vial
HMD	Hora de Máxima Demanda
HPM	Hora Punta de la Mañana
HPT	Hora Punta de la Tarde
HV	Hora Valle
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
KfW	Banco de Desarrollo del Estado de la República Federal de Alemania
KMZ	Keyhole Markup Language Zipped
LOS	Level of Service
MET	Modelo Estratégico de Transporte
MMA	Multi-Modal Multi-Class Assignment
MNL	Multinomial Logit
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
NL	Nested Logit

VERSIÓN PRELIMINAR

Abreviación	Significado
NSE	Nivel Socioeconómico
OD	Origen-Destino
ODME	Origin-Destination Matrix Estimation
OSM	OpenStreetMap
P/A	Producción-Atracción
PDM	Plan de Desarrollo Metropolitano
PDU	Plan de Desarrollo Urbano
PCU	Passenger Car Unit
PMUS	Plan de Movilidad Urbana Sostenible
PROMOVILIDAD	Programa Nacional de Transporte Urbano Sostenible
RMSE	Raíz Cuadrada del Error Medio
RMSE%	Raíz Cuadrada del Error Medio Porcentual
R^2	Coeficiente de Determinación
SUE	Stochastic User Equilibrium
TdR	Términos de Referencia
TGG	Tiempo Generalizado de Viaje
TLD	Trip Length Distribution
TNM	Transporte No Motorizado
TP	Transporte Público
TPC	Transporte Público Colectivo
UCP	Unidad de Coche Pasajero
UE	User Equilibrium
V/C	Relación Volumen/Capacidad
VDF	Función Volumen-Demora
VOT	Valor Subjetivo del Tiempo
VP	Vehículo Privado
ZAT	Zona de Análisis de Tránsito

VERSIÓN PRELIMINAR

VERSION PRELIMINAR

1 Detalles del Proyecto

Tabla 1. Información general del proyecto

INFORMACIÓN GENERAL	
Título	Servicios de asistencia técnica para el proyecto "Servicio de consultoría para la elaboración del Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) de la ciudad de Chiclayo y actividades de comunicación y visibilidad"
Referencia del Contrato	KfW 511855 Lote 2
Contratante	Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)
Financiador	KfW - Banco de Desarrollo del Estado de la República Federal de Alemania
Consultor	Consorcio conformado por las empresas HEAT GmbH, GFA Consulting Group & Ingerop T3
Duración del contrato	16 meses
Fecha de inicio	16 de octubre de 2025

VERSIÓN PRELIMINAR

2 Resumen ejecutivo

El presente informe documenta la construcción, calibración y validación del Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo (MET Chiclayo), desarrollado como herramienta técnica de soporte para el diagnóstico de la movilidad urbana, la estructuración del escenario base 2025 y la posterior evaluación de escenarios tendenciales y prospectivos del Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS). El modelo representa el área funcional conformada por los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca, incorporando además zonas externas y relaciones funcionales con el entorno metropolitano y regional, necesarias para capturar los flujos de ingreso, salida e intercambio que inciden en el sistema de movilidad.

El MET Chiclayo fue desarrollado en TransCAD 10.0 bajo un enfoque macroscópico, multimodal y secuencial de cuatro etapas con retroalimentación, integrando los procesos de generación, distribución, partición modal y asignación de viajes. Esta estructura permite representar de manera consistente la interacción entre la demanda de movilidad y la oferta de transporte, incorporando el efecto de los tiempos de viaje, costos generalizados, congestión, frecuencias, tarifas, caminatas, esperas y transbordos sobre las decisiones de viaje de los usuarios.

La estructura territorial del modelo se organizó en 104 Zonas de Análisis de Tránsito (ZAT), conformadas por 98 zonas internas y 6 zonas externas, cada una vinculada a un centroide y a conectores hacia la red vial. Esta zonificación permite representar de manera desagregada la movilidad del continuo urbano principal, así como los flujos metropolitanos, regionales e interprovinciales relevantes para Chiclayo. La red vial modelada cuenta con 19,442 enlaces y una longitud aproximada de 1,587 km, mientras que la red de transporte público incorpora 100 rutas direccionales, configuradas con atributos de trazado, frecuencia, capacidad, velocidad, tarifa y operación.

La formulación de la demanda se sustentó en información primaria y secundaria levantada para el estudio, destacando la Encuesta Origen-Destino a Hogares 2025, con 4,514 hogares encuestados y 21,784 viajes registrados. Esta información fue complementada con encuestas de interceptación, aforos vehiculares, estudios de Frecuencia y Ocupación Visual (FOV), inventario de rutas, mediciones de tiempos de viaje, velocidades observadas, encuestas de carga y registros en terminales y aeropuerto. La Hora de Máxima Demanda fue identificada entre las 07:30 y 08:30 horas, período adoptado para la calibración del escenario base.

El modelo de generación fue desarrollado mediante tasas diferenciadas por nivel socioeconómico, disponibilidad de automóvil y motivo de viaje, mientras que la atracción se estimó a partir de variables de uso del suelo. Posteriormente, la distribución de viajes se realizó mediante un modelo gravitacional con función Gamma calibrada, validado mediante la comparación de distribuciones de tiempos de viaje observadas y modeladas. La partición modal fue implementada mediante un modelo Logit jerárquico, considerando la competencia entre transporte privado, taxi y transporte público colectivo, a partir de variables como tiempo, costo, caminata, espera y transbordos.

La asignación fue desarrollada de manera diferenciada por sistema: transporte privado mediante equilibrio estocástico del usuario, transporte público mediante el algoritmo Pathfinder y transporte de carga mediante asignación multiclase. La calibración del escenario base permitió alcanzar niveles de ajuste aceptables para un modelo estratégico, verificando la correspondencia entre flujos observados y modelados mediante indicadores como R^2, GEH y comparación de cargas en puntos de control. En particular, el transporte público mostró una adecuada reproducción de las cargas observadas, con un coeficiente R^2 cercano a 0.94, mientras que los componentes de transporte privado y carga presentaron niveles de ajuste consistentes con la escala macroscópica del modelo.

VERSIÓN PRELIMINAR

En conjunto, el MET Chiclayo constituye una herramienta técnica robusta, trazable y reproducible, capaz de representar los principales patrones de movilidad urbana, metropolitana y regional del área funcional de Chiclayo. Su implementación permite disponer de una base cuantitativa sólida para el diagnóstico del sistema actual, la identificación de corredores críticos, el análisis del reparto modal, la evaluación de niveles de congestión y la posterior comparación de escenarios de intervención del PMUS.

3 Objetivo

El objetivo del **Modelo Estratégico de Transporte (MET)** es constituirse en una herramienta técnica, analítica, prospectiva y de soporte a la decisión, orientada a representar de manera consistente el funcionamiento actual del sistema de movilidad urbana y a proyectar su comportamiento ante distintos escenarios de crecimiento urbano, cambios socioeconómicos e intervenciones sobre la oferta de transporte. En ese sentido, el MET se concibe como uno de los instrumentos cuantitativos del PMUS para sustentar, con base objetiva, el diagnóstico de la movilidad, la formulación y evaluación de escenarios, la priorización de medidas y la valoración de los impactos asociados a las propuestas del plan.

En concordancia con los Términos de Referencia, el MET debe permitir analizar la movilidad de personas, vehículos y transporte de carga en el área funcional de estudio, conformada por los distritos de **Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca**, consolidar el análisis del año base y desarrollar proyecciones tendenciales y prospectivas en horizontes de corto, mediano y largo plazo. Para ello, el modelo integra la relación entre usos del suelo, variables sociodemográficas, redes viales, rutas de transporte público, costos generalizados de viaje, tiempos de desplazamiento y elección modal, mediante un enfoque secuencial de cuatro etapas con retroalimentación, desarrollado en el software TransCAD. De esta manera, el modelo no solo describe la situación existente, sino que permite estimar de manera estratégica la evolución de los patrones de viaje, la congestión, la accesibilidad, el reparto modal y el desempeño general del sistema frente a distintas decisiones de política pública e inversión.

Asimismo, el MET tiene como finalidad servir de soporte técnico a la entidad gestora y supervisora del PMUS, conformada por la **Gerencia de Desarrollo Vial y Transporte de la Municipalidad Provincial de Chiclayo y la Dirección de Fortalecimiento y Planificación de la Movilidad de PROMOVILIDAD**, facilitando la identificación de los principales problemas estructurales de la movilidad urbana, la evaluación comparada de alternativas de intervención y la sustentación técnica de proyectos, programas y medidas del PMUS. En ese marco, el modelo se consolida como una herramienta estratégica para orientar una movilidad urbana más eficiente, segura, accesible, sostenible e inclusiva en la ciudad de Chiclayo, así como para fortalecer las capacidades institucionales requeridas para su futura actualización, uso y seguimiento

VERSIÓN PRELIMINAR

4 Alcance

El **Modelo Estratégico de Transporte (MET)** se desarrolla con la finalidad de contar con una herramienta técnica de análisis integral que permita comprender, representar y proyectar el comportamiento de la movilidad urbana actual y futura dentro del área funcional de estudio de la ciudad de Chiclayo. Este alcance comprende, como núcleo principal, los distritos de **Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca**, incorporando además aquellas zonas, relaciones funcionales e interacciones metropolitanas y regionales que resulten necesarias para explicar adecuadamente los flujos de viaje, la articulación territorial y la dinámica del sistema de movilidad, de conformidad con lo establecido en los Términos de Referencia y con los criterios técnicos de zonificación adoptados para el modelo.

Su propósito principal es apoyar la elaboración del PMUS, proporcionando una base cuantitativa y metodológicamente consistente para sustentar el diagnóstico de la situación actual, la construcción del escenario tendencial y la evaluación de escenarios prospectivos de corto, mediano y largo plazo. En ese marco, el MET permitirá analizar los efectos de los cambios socioeconómicos, del crecimiento urbano, de la expansión o consolidación de la ciudad y de las intervenciones sobre la infraestructura y los servicios de transporte, con el fin de respaldar la priorización de medidas, programas y proyectos de movilidad urbana sostenible.

Desde el punto de vista metodológico, el alcance del MET corresponde al de un modelo macroscópico y estratégico de demanda de viajes, desarrollado bajo un enfoque secuencial de cuatro etapas con retroalimentación, orientado a representar la interacción entre usos del suelo, características sociodemográficas, red vial, red de transporte público, costos de viaje, tiempos de desplazamiento y elección modal. En consecuencia, su utilidad se centra en el análisis estructural del sistema de movilidad y en la evaluación comparada de escenarios para fines de planificación, por lo que constituye una herramienta de soporte a la decisión y no un instrumento de simulación operativa de detalle.

VERSIÓN PRELIMINAR

5 Introducción al Modelo de Transporte

El **Modelo Estratégico de Transporte (MET)** es una representación simplificada, pero técnicamente consistente, del sistema de movilidad urbana de la ciudad de Chiclayo, desarrollada con el propósito de comprender, cuantificar y analizar los patrones de desplazamiento de personas y vehículos dentro del área funcional de estudio. Su utilidad radica en transformar la complejidad del funcionamiento urbano en una estructura analítica capaz de relacionar la distribución espacial de la población, los empleos, los usos del suelo, la red vial, las rutas de transporte público y los costos de viaje, permitiendo estimar cómo se generan, distribuyen, eligen modalmente y asignan los viajes en el territorio. En ese sentido, el modelo no busca reproducir cada movimiento individual de manera microscópica, sino representar de forma agregada y coherente el comportamiento de la movilidad urbana, de manera que pueda ser comprendido, evaluado y utilizado como soporte para la toma de decisiones.

Desde el punto de vista funcional, el MET constituye una herramienta estratégica de planificación. Su desarrollo responde a la necesidad de contar con un instrumento que permita sustentar técnicamente el diagnóstico de la movilidad urbana, analizar la evolución futura de la ciudad y evaluar comparativamente alternativas de intervención bajo criterios homogéneos. En esta lógica, el modelo permite cuantificar escenarios futuros, estimar impactos sobre la demanda de viajes, identificar beneficiarios potenciales, comparar opciones de mejora del sistema de transporte y fortalecer la solidez técnica de las decisiones asociadas al PMUS. Asimismo, la trazabilidad de los insumos, la explicitación de los supuestos metodológicos y la posibilidad de auditar sus resultados convierten al modelo en una plataforma reproducible y confiable para la evaluación de políticas públicas, proyectos de infraestructura y medidas de gestión de la movilidad.

En términos metodológicos, el MET se enmarca en el enfoque macroscópico y multimodal de cuatro etapas, ampliamente utilizado en la planificación de la demanda de viajes. Este enfoque comprende, de manera secuencial e integrada, la generación de viajes, la distribución entre pares origen-destino, la elección modal y la asignación de flujos sobre las redes de transporte. Su lógica reconoce que la movilidad urbana resulta de la interacción entre la oferta y la demanda: por un lado, la ciudad produce y atrae viajes según sus características sociodemográficas, económicas y funcionales; por otro, dichos viajes se ven condicionados por las redes disponibles, los tiempos, costos, tarifas, niveles de servicio y condiciones de accesibilidad. Cuando existen niveles relevantes de congestión o cambios significativos en la impedancia de la red, el modelo incorpora procesos de retroalimentación entre etapas para lograr consistencia entre la demanda estimada y los tiempos de viaje resultantes.

Bajo esta lógica, el MET se estructura a partir de tres componentes fundamentales: las zonas de análisis de tránsito, el modelo de oferta y el modelo de demanda. Las zonas de análisis permiten desagregar el territorio en unidades funcionales desde las cuales se producen y atraen viajes; el modelo de oferta representa la red vial, las rutas de transporte público, sus atributos operacionales y restricciones; y el modelo de demanda se expresa mediante matrices origen-destino que sintetizan los desplazamientos por modo y período de análisis. La calibración del año base cumple un rol central dentro de esta construcción, ya que permite ajustar la representación del modelo a la realidad observada mediante información de campo, como aforos vehiculares, frecuencia y ocupación visual, encuestas origen-destino, tiempos y velocidades de viaje, así como datos operacionales del sistema de transporte. Sobre esta base calibrada es posible construir pronósticos tendenciales y escenarios prospectivos, evaluando el efecto de cambios socioeconómicos, crecimiento urbano e intervenciones en la infraestructura y los servicios de movilidad.

En el marco del PMUS de Chiclayo, el MET debe entenderse como uno de los instrumentos técnicos centrales para sustentar el diagnóstico de la situación actual, analizar la evolución futura de la movilidad urbana y comparar escenarios de intervención a distintos horizontes temporales. De

VERSIÓN PRELIMINAR

acuerdo con los Términos de Referencia, el MET se desarrolló en el software TransCAD, bajo un enfoque secuencial de cuatro etapas con iteración entre ellas, con el fin de representar el comportamiento de viaje de distintos grupos sociales, incorporar el transporte público y privado y evaluar escenarios tendenciales y prospectivos en horizontes de corto, mediano y largo plazo. En ese marco, la presente sección introductoria establece las bases conceptuales para comprender el MET no solo como una aplicación informática, sino como una herramienta integral de análisis, planificación y apoyo a la decisión, orientada a promover una movilidad urbana más eficiente, segura, accesible, sostenible e inclusiva en la ciudad de Chiclayo.

VERSIÓN PRELIMINAR

5.1 Funcionamiento general de un modelo de transporte de cuatro etapas

Un modelo de transporte de cuatro etapas es una herramienta analítica utilizada para representar, de manera simplificada y cuantitativa, cómo se producen los viajes en una ciudad, hacia dónde se dirigen, qué modo de transporte utilizan y por qué rutas o servicios se desplazan dentro de la red. Su finalidad no es reproducir cada viaje individual de forma microscópica, sino estimar patrones agregados de movilidad que permitan comprender el funcionamiento del sistema urbano y evaluar escenarios de planificación, crecimiento o intervención sobre la infraestructura y los servicios de transporte.

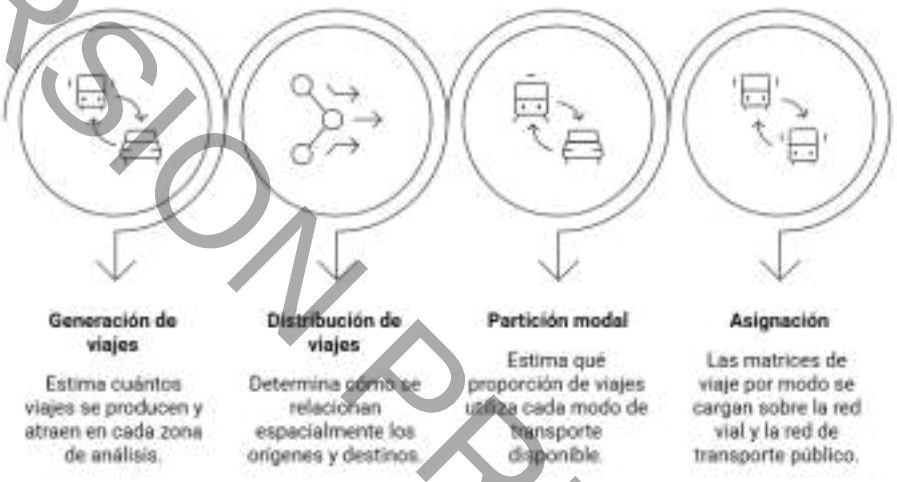
Este tipo de modelo se compone de dos grandes bloques: el modelo de demanda y el modelo de oferta. El modelo de demanda representa la necesidad de desplazamiento de la población y de las actividades urbanas, expresada mediante producciones, atracciones y matrices origen-destino por modo, motivo y período de análisis. Para su construcción se utilizan variables como población, hogares, nivel socioeconómico, tenencia vehicular, usos del suelo, empleo, equipamientos, encuestas origen-destino, conteos vehiculares, frecuencia y ocupación visual, tiempos de viaje y demás información de campo. El modelo de oferta, por su parte, representa las condiciones físicas y operativas del sistema de transporte, incluyendo la red vial, la red de transporte público, rutas, paradas, capacidades, velocidades, frecuencias, tarifas, conectores, centroides, restricciones de circulación y funciones de desempeño.

Figura 1: Componentes de un modelo

Fuente: Elaboración propia

El funcionamiento del modelo se estructura en cuatro etapas principales. La primera es la generación de viajes, que estima cuántos viajes se producen y atraen en cada zona de análisis, a partir de las características de los hogares y de la localización de actividades. La segunda es la distribución de viajes, que determina cómo se relacionan espacialmente los orígenes y destinos, construyendo matrices origen-destino mediante funciones de impedancia o fricción, tales como tiempo, distancia o costo generalizado. La tercera es la partición modal, que estima qué proporción de viajes utiliza cada modo de transporte disponible, considerando atributos como tiempo de viaje, costo, tarifa, espera, caminata, transbordos y condiciones de accesibilidad. Finalmente, la cuarta etapa es la asignación, mediante la cual las matrices de viaje por modo se cargan sobre la red vial y la red de transporte público, obteniéndose flujos vehiculares, cargas de pasajeros, velocidades, tiempos de viaje, niveles de saturación y otros indicadores de desempeño.

Figura 2: Modelo de transporte de 4 etapas



Fuente: elaboración propia

Los principales parámetros utilizados en este tipo de modelo incluyen tasas de generación de viajes, variables de atracción por uso del suelo, matrices de impedancia, funciones de fricción para la distribución, coeficientes de utilidad para la elección modal, valores subjetivos del tiempo, tarifas, costos operativos, velocidades, capacidades viales, frecuencias de transporte público, factores de equivalencia vehicular, funciones volumen-demora y criterios de convergencia. Estos parámetros permiten que el modelo traduzca las características territoriales, socioeconómicas y operativas de la ciudad en resultados cuantitativos comparables.

En un modelo secuencial simple, las etapas se ejecutan una tras otra. Sin embargo, en un modelo con retroalimentación, como el adoptado para el MET de Chiclayo, los resultados de la asignación —principalmente tiempos de viaje, costos generalizados y niveles de congestión— retornan a las etapas previas de distribución y partición modal. Este proceso iterativo permite que la demanda no se estime con tiempos teóricos o de flujo libre, sino con condiciones progresivamente ajustadas al desempeño real de la red cargada. De esta manera, el modelo logra una mayor consistencia entre la demanda estimada y la oferta disponible.

La escala de análisis de un modelo de cuatro etapas es principalmente macroscópica y estratégica. Por tanto, sus resultados son adecuados para analizar patrones generales de movilidad, evaluar escenarios de crecimiento urbano, comparar alternativas de transporte, identificar corredores críticos, estimar repartos modales, analizar niveles de congestión y sustentar decisiones de planificación. No debe entenderse como una herramienta de simulación operacional detallada de intersecciones, semáforos o maniobras vehiculares individuales, sino como un instrumento de

VERSIÓN PRELIMINAR

soporte a la decisión para la formulación de políticas, programas y proyectos de movilidad urbana sostenible.

6 Descripción del Software de macromodelación TransCAD

El Modelo Estratégico de Transporte - MET se desarrolló en TransCAD, software especializado de planificación y modelación del transporte desarrollado por Caliper Corporation. TransCAD es una plataforma de análisis de transporte basada en GIS que integra, en un mismo entorno, la gestión de información georreferenciada, la construcción de redes, el manejo de matrices, la modelación de demanda y la evaluación de resultados. Esta integración permite trabajar de manera consistente desde la preparación de insumos hasta la obtención, visualización y análisis de escenarios, evitando la fragmentación del proceso entre múltiples programas. Asimismo, Caliper lo presenta como una plataforma orientada a la modelación del transporte de personas y vehículos, con capacidades para el pronóstico de demanda, el análisis multimodal, la evaluación de accesibilidad, el diseño y análisis de redes, la localización de equipamientos y el análisis logístico.

En el caso del MET, TransCAD constituyó el entorno central para la estructuración del modelo, la administración de las bases geográficas, la codificación de la red vial y del sistema de rutas, el manejo de matrices origen-destino, la implementación del enfoque secuencial de cuatro etapas y la obtención de resultados comparables entre el escenario base y los escenarios evaluados. Además, la arquitectura del software permitió organizar el flujo del modelo mediante herramientas de administración por procesos y escenarios, aspecto especialmente relevante para documentar la trazabilidad metodológica y la reproducibilidad del modelo entregado. La versión consignada en este informe corresponde a la versión 10.0, ello resulta además consistente con funcionalidades oficiales como la integración nativa con Python y mejoras en el entorno de modelación y automatización.

Desde una perspectiva funcional, TransCAD no solo permite construir el modelo y ejecutar los procedimientos de estimación y asignación, sino también profundizar el análisis de resultados. El software incluye procedimientos para generación y distribución de viajes, elección modal, asignación vial, actualización de matrices OD, análisis de screenlines, análisis selectivo por enlaces y zonas, además de otros procesos matriciales y de red. Por ello, además de servir para la calibración y operación del MET, la plataforma ofrece una base robusta para ampliar la explotación analítica del modelo en futuras actualizaciones, evaluaciones de proyectos, contrastación de alternativas y producción de indicadores espaciales y operacionales más detallados.

6.1 Módulo GIS

El módulo GIS (**Geographic Information System**) de TransCAD ha constituido el núcleo geoespacial sobre el cual se estructuró y consolidó el **Modelo Estratégico de Transporte**. Al ser una plataforma de modelación de transporte fundamentada nativamente en un Sistema de Información Geográfica, TransCAD permitió integrar en un entorno único el pronóstico de demanda con la gestión avanzada de cartografía, bases de datos y redes. Esta arquitectura unificada ha garantizado la **integridad referencial** y la consistencia entre la información territorial y los procesos analíticos, eliminando errores por interoperabilidad o transferencia de datos entre plataformas externas.

En términos funcionales, la implementación de este módulo permitió la gestión integral de la información georreferenciada del MET, destacando los siguientes componentes:

VERSIÓN PRELIMINAR

- **Estructuración Multicapa**: Se gestionaron con precisión las Zonas de Análisis de Transito (ZAT), centroides, nodos, conectores, la red vial jerarquizada y el sistema de rutas de transporte público.
- **Vinculación Atributiva**: Se facilitó la unión relacional entre capas espaciales y tablas de atributos, permitiendo la asignación de variables sociodemográficas, indicadores operacionales y matrices de movilidad a sus respectivas entidades geográficas.
- **Capacidades Analíticas Aplicadas**: Se utilizaron herramientas avanzadas para la administración de bases de datos espaciales, geocodificación de registros, ejecución de superposiciones (overlays), generación de áreas de influencia (buffers) y representaciones temáticas de alta resolución.

La robustez del software permitió, además, asegurar una interoperabilidad total con formatos externos como shape (*.shp), Base de datos (*.dbf) y Hojas de cálculo, lo cual fue fundamental para normalizar los insumos provenientes de diversas fuentes institucionales dentro de una estructura homogénea y georreferenciada.

Para el MET, el uso de estas herramientas garantizó la consistencia topológica de la red y la verificación de conectividades críticas. En consecuencia, el módulo GIS no solo se ha entregado como un soporte cartográfico, sino como un componente central y dinámico para la validación, visualización y explotación espacial de los resultados.

6.2 Módulo Modelación

El módulo de modelación de TransCAD permitió implementar el enfoque secuencial de cuatro etapas adoptado en el **MET**, integrando en un mismo entorno las rutinas de generación, distribución, elección modal y asignación. TransCAD incluye herramientas completas para la generación de viajes, su distribución, la selección modal, la asignación de tráfico y el procesamiento de matrices y redes, además de soportar tanto modelos tradicionales de cuatro pasos como enfoques más avanzados de demanda desagregada.

En cuanto al entorno de desarrollo, TransCAD opera con GISDK (Geographic Information System Developer's Kit), que es el lenguaje propio del software para scripting, automatización y extensión de funciones. Caliper lo describe como un lenguaje orientado a objetos que incluye compilador y depurador, con numerosas funciones para GIS y modelación.

Para la generación de viajes, TransCAD incorpora métodos de clasificación cruzada, regresión y elección discreta, útiles para estimar producciones y atracciones por zona. Para la distribución de viajes, dispone de modelos orientados a estimar el patrón espacial de viajes y flujos entre orígenes y destinos. Para la elección modal, el software incluye procedimientos como logit multinomial y logit jerárquico (nested logit), además de una interfaz gráfica para estructurar este último tipo de modelos. Estas capacidades hacen de TransCAD una plataforma adecuada para la implementación de modelos secuenciales de demanda de transporte como el desarrollado para Chiclayo.

En la etapa de asignación de tráfico, TransCAD dispone de un conjunto amplio de procedimientos de alta convergencia. Caliper señala que sus métodos de equilibrio del usuario alcanzan niveles elevados de convergencia y aprovechan el procesamiento multihilo para reducir tiempos de cálculo. Asimismo, incorpora asignación multimodal y multiclase, utilizando costos generalizados, valores del tiempo, restricciones por clase vehicular y funciones volumen-demora preprogramadas, con posibilidad de incorporar funciones definidas por el usuario. Entre sus capacidades también se incluyen calculadores de nivel de servicio (LOS), análisis de screenlines, análisis por subáreas y utilidades para comparar diferencias entre asignaciones.

Respecto a los tipos de simulación, TransCAD trabaja principalmente en el ámbito de la modelación macroscópica, pero su biblioteca también incorpora procedimientos de asignación dinámica de

VERSIÓN PRELIMINAR

tráfico y manejo temporal de viajes por períodos, lo que permite representar de manera más realista la distribución temporal de la congestión en redes de mayor complejidad. No obstante, en el caso del MET, su aplicación se enmarcó en un modelo estratégico de demanda, orientado a la representación agregada del comportamiento de viaje y a la evaluación comparativa de escenarios.

En materia de herramientas analíticas y de ajuste, TransCAD ofrece procedimientos para la estimación y actualización de matrices origen-destino a partir de conteos observados, lo cual resulta particularmente útil en la calibración del modelo base. Caliper indica que el software permite crear o actualizar matrices OD utilizando conteos de tráfico sobre enlaces de red y una matriz inicial o base. A ello se suman utilidades como el análisis de screenlines, el análisis selectivo por subáreas y la comparación entre asignaciones, que permiten evaluar la consistencia de los resultados, identificar diferencias espaciales y profundizar el análisis de sensibilidad frente a cambios en atributos de red o en parámetros de modelación.

6.3 Herramientas y funciones de TransCAD aplicadas al MET

El Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo – MET, fue desarrollado en **TransCAD 10.0**, plataforma especializada para la planificación y modelación de transporte. Su utilidad principal radica en que integra en un mismo entorno **GIS-T**, redes de transporte, matrices origen-destino, bases de datos relacionales, procedimientos de generación de viajes, distribución, elección modal, asignación vehicular, asignación de transporte público, estimación de matrices y herramientas de análisis espacial.

El manual técnico de TransCAD organiza sus procedimientos de planificación en módulos específicos de Trip Production, Trip Generation–Attraction, Trip Balancing, Trip Distribution, Logit Mode Choice Analysis, P-A to O-D and Time of Day Transformations, Traffic Assignment, Transit Networks, Transit Skims and Transit Network Bands, Transit Assignment, OD Matrix Estimation, Data Preparation and Planning Utilities, Traffic Tools, Batch Mode, Model Manager y Parallel Processing. Esta estructura confirma que la plataforma está diseñada para implementar de forma integral modelos de demanda de transporte, desde la preparación de datos hasta la asignación y análisis de resultados.

6.3.1 Bondades técnicas de construir el modelo en TransCAD

La construcción del MET en TransCAD presenta ventajas metodológicas y operativas relevantes para un modelo estratégico de transporte urbano.

En primer lugar, TransCAD trabaja sobre un entorno **GIS-T nativo**, lo que permite que los elementos espaciales del modelo —ZAT, centroides, conectores, nodos, enlaces viales, rutas de transporte público, paradas y puntos de control— se encuentren vinculados directamente con sus atributos técnicos. Esta característica evita que la cartografía sea solo un soporte gráfico, convirtiéndola en una base analítica activa para la modelación.

En segundo lugar, TransCAD opera con una estructura de **base de datos relacional y espacial**, lo cual permite vincular campos de atributos, tablas externas, matrices, redes y resultados de asignación. Esta integración facilita la trazabilidad entre insumos, parámetros, procesos y resultados. En el informe del MET ya se señala que el módulo GIS permitió estructurar ZAT, centroides, conectores, red vial y rutas de transporte público, además de vincular atributos sociodemográficos, operacionales y matrices de movilidad a las capas geográficas.

En tercer lugar, la plataforma permite el manejo avanzado de **matrices de transporte**, lo cual resulta esencial para un modelo de cuatro etapas. Las matrices se pueden indexar por zonas o nodos, operar matemáticamente, transformar de producción-atracción a origen-destino, desagregar por modo, usar como matrices de impedancia y cargar sobre redes de transporte.

VERSIÓN PRELIMINAR

En cuarto lugar, TransCAD incorpora herramientas de **automatización, Batch Mode, Model Manager y GISDK**, que permiten organizar procesos repetitivos, administrar escenarios, ejecutar macros, estructurar ciclos de retroalimentación y mantener consistencia entre corridas sucesivas. Esto resulta importante para modelos con calibración iterativa y actualización futura.

6.3.2 Herramientas y funciones técnicas de TransCAD

Las herramientas de TransCAD aplicadas o relevantes para el MET pueden organizarse de la siguiente manera:

Módulo / herramienta	Función técnica	Aplicación en el MET
GIS-T / Map Window	Gestión de capas, visualización espacial, mapas temáticos, selección espacial, unión de tablas y análisis geográfico.	Visualización de ZAT, red vial, rutas, conectores, flujos, velocidades y saturación.
Data Manager / Dataview	Administración de tablas de atributos asociadas a capas, redes y resultados.	Codificación de velocidades, capacidades, frecuencias, tarifas, PCU, tipo de vía y datos zonales.
Network Editing Tools	Construcción y edición de nodos, enlaces, centroides, conectores, sentidos, restricciones y penalidades.	Estructuración de la red vial y conexión operativa de las ZAT al sistema.
Centroid Connector Tools	Creación y validación de conectores entre centroides zonales y red vial.	Vinculación entre zonas de demanda y red de asignación.
Matrix Tools	Creación, edición, operación, expansión y transformación de matrices.	Manejo de matrices OD de transporte privado, público, taxi, carga ligera y carga pesada.
Trip Production / Trip Attraction	Estimación de producciones y atracciones mediante tasas, clasificación cruzada o regresión.	Cálculo de viajes generados y atraídos por ZAT, NSE, tenencia vehicular y uso del suelo.
Trip Balancing	Ajuste de producciones y atracciones para garantizar equilibrio global por segmento.	Balance de vectores antes de la distribución OD.
Trip Distribution	Aplicación de modelos gravitacionales, factores de crecimiento, Fratar, funciones de fricción y calibración TLD.	Construcción de matrices OD mediante impedancias y función Gamma calibrada.
P-A to O-D / Time of Day Transformations	Conversión de matrices producción-atracción a matrices origen-destino y segmentación temporal.	Conversión de demanda hacia matrices HPM asignables.
Mode Choice / Logit Tools	Aplicación de modelos Logit Multinomial y Nested Logit, matrices de utilidad y disponibilidad.	Partición modal entre privado, taxi y transporte público.
Traffic Assignment	Asignación vehicular sobre red vial con métodos UE, SUE, AON, incremental, multiclase y funciones volumen-demora.	Asignación de autos, taxis y vehículos de carga sobre la red vial.

VERSIÓN PRELIMINAR

Módulo / herramienta	Función técnica	Aplicación en el MET
Volume Delay Functions — VDF	Representación de la congestión mediante funciones BPR u otras funciones volumen-demora.	Actualización de tiempos de viaje según relación volumen/capacidad.
Multi Modal Multi Class Assignment — MMA	Asignación simultánea de varias clases vehiculares con distintos PCU, VOT y restricciones.	Representación diferenciada de transporte privado, carga ligera y carga pesada.
Transit Network Tools	Construcción de rutas, paradas, itinerarios, headways, frecuencias, tarifas y atributos de operación.	Codificación de la red de transporte público convencional y auto colectivo.
Transit Skims	Cálculo de matrices de tiempo en vehículo, espera, caminata, transbordo, tarifa y costo generalizado.	Construcción de impedancias de transporte público.
Pathfinder / Optimal Strategies	Búsqueda de hiperrutas y caminos factibles de transporte público considerando frecuencia, espera y transferencias.	Asignación de pasajeros y construcción de rutas factibles de viaje.
Transit Assignment	Carga de matrices de pasajeros sobre rutas de transporte público.	Obtención de cargas por ruta, tramo y corredor.
OD Matrix Estimation — ODME	Ajuste o estimación de matrices a partir de conteos observados en enlaces o puntos de control.	Apoyo a calibración de matrices con aforos vehiculares y cargas observadas.
Select Link / Subarea / Screenline Analysis	Análisis de pares OD que utilizan enlaces específicos, cordones o subáreas.	Diagnóstico de corredores críticos y apoyo al ajuste de matrices.
Traffic Tools / LOS Tools	Cálculo de indicadores HCM, niveles de servicio, demoras e indicadores operacionales.	Evaluación complementaria de desempeño vial.
Batch Mode / Model Manager	Ejecución ordenada de procesos, administración de escenarios, parámetros y rutinas.	Replicabilidad del modelo, corridas por escenario y control de procesos.

VERSIÓN PRELIMINAR

6.3.3 Herramientas por etapa del modelo de cuatro etapas

a) Generación de viajes

La etapa de generación se apoya en las herramientas Trip Production, Trip Generation–Attraction, Trip Balancing, Cross-Classification, y Regression Methods. El índice del manual identifica módulos específicos para producción, atracción y balanceo de viajes, lo que evidencia que TransCAD permite tratar separadamente las producciones y atracciones antes de construir matrices OD.

En términos técnicos, estas herramientas permiten:

- Estimar producciones por hogar o zona.
- Aplicar tasas diferenciadas por segmento.
- Usar clasificación cruzada por variables socioeconómicas.
- Aplicar regresiones para atracciones por uso del suelo.
- Balancear producciones y atracciones.

- Generar vectores zonales por propósito, NSE, tenencia vehicular o período.

Para el MET , estas funciones se aplican a la estimación de viajes producidos por hogares y viajes atraídos por usos del suelo, diferenciando segmentos de demanda y garantizando el balance antes de la distribución.

b) Distribución de viajes

La etapa de distribución utiliza las herramientas Trip Distribution, Growth Factor Methods, Gravity Model, Intervening Opportunities Model, Tri-Proportional Trip Distribution Models, Calibrating a Gravity-Entropy Model y Analyzing Trip Length Distribution.

Estas funciones permiten:

- Convertir producciones y atracciones en matrices OD.
- Aplicar modelos gravitacionales.
- Calibrar funciones de fricción.
- Comparar distribuciones observadas y modeladas de longitudes o tiempos de viaje.
- Aplicar factores de crecimiento tipo Fratar.
- Evaluar el ajuste de la matriz mediante TLD.

En el MET , esta etapa se implementa mediante matrices de impedancia y una función de fricción calibrada, permitiendo reproducir la interacción espacial entre ZAT.

c) Partición modal

La partición modal se apoya en las herramientas Logit Mode Choice Analysis, Multinomial Logit, Nested Logit, Mode Table, Mode Transfer Table, Model Management Window Applying MNL/NL, Estimating MNL/NL Models y matrices de utilidad.

Estas herramientas permiten:

- Definir alternativas modales.
- Estructurar modelos Logit Multinomial o Nested Logit.
- Incorporar funciones de utilidad.
- Usar variables de tiempo, costo, espera, caminata y transferencias.
- Trabajar con segmentos de mercado.
- Estimar o aplicar coeficientes.
- Generar probabilidades de elección modal.
- Desagregar matrices totales en matrices por modo.

La información complementaria proporcionada también señala que TransCAD permite aplicar modelos Logit Multinomial o Anidados, donde el usuario introduce funciones de utilidad y el sistema procesa probabilidades de elección modal.

En el MET, estas herramientas permiten representar la competencia entre transporte privado, taxi y transporte público colectivo.

d) Asignación de transporte privado y carga

La asignación vial se apoya en Traffic Assignment, Stochastic User Equilibrium — SUE, User Equilibrium — UE, Path-Based UE, All-or-Nothing, Incremental Assignment, Volume Delay Functions, Traffic Assignment Results, Assignment Utilities, Select Link Zone Analysis, Screenline Analysis y Subarea Analysis.

VERSIÓN PRELIMINAR

Estas herramientas permiten:

- Cargar matrices OD sobre la red vial.
- Aplicar funciones volumen-demora.
- Diferenciar clases vehiculares.
- Usar PCU, VOT y restricciones por clase.
- Evaluar convergencia del equilibrio.
- Obtener flujos por enlace.
- Calcular tiempos cargados.
- Calcular velocidades operativas.
- Estimar relaciones volumen/capacidad.
- Evaluar diferencias entre asignaciones.
- Identificar pares OD que usan un enlace crítico.

El informe del MET ya indica que la asignación privada se implementa mediante SUE y costo generalizado, considerando VOT, PCU y función volumen-demora.

Para el transporte de carga, la herramienta Multi Modal Multi Class Assignment — MMA permite cargar clases vehiculares con diferentes equivalencias, como carga ligera y carga pesada.

e) Asignación de transporte público

La asignación de transporte público se apoya en **Transit Networks**, **Transit Paths**, **Transit Skims**, **Transit Network Bands**, **Transit Assignment**, **Pathfinder**, **Optimal Strategies**, **Schedule-Based Assignment**, **Pathfinder General Settings**, **Pathfinder Mode Settings**, **Pathfinder Fare and Transfer Policy Settings**, **Pathfinder Class Settings** y **Results of Transit Assignment**.

Estas herramientas permiten:

- Crear redes de transporte público.
- Codificar rutas, paradas, itinerarios y frecuencias.
- Definir modos de transporte público.
- Definir políticas tarifarias.
- Definir penalidades por transferencia.
- Calcular tiempos de acceso y egreso.
- Calcular espera inicial y espera por transbordo.
- Calcular skims de transporte público.
- Construir hiperrutas.
- Asignar pasajeros sobre rutas.
- Obtener cargas por tramo, ruta y corredor.

En el informe del MET se precisa que la red de rutas fue configurada como una capa operativa vinculada a la red vial y que TransCAD permite construir caminos factibles y matrices de skims asociadas a tiempo en vehículo, espera, acceso, egreso y transferencias.

VERSIÓN PRELIMINAR

6.3.4 Integración operativa de las cuatro etapas en TransCAD

La integración de las cuatro etapas dentro de TransCAD puede resumirse en la siguiente secuencia técnica:

Etapa	Herramienta TransCAD	Insumos	Salidas
Generación	Trip Production, Trip Attraction, Trip Balancing	ZAT, hogares, población, NSE, tenencia vehicular, usos del suelo	Vectores de producción y atracción balanceados
Distribución	Trip Distribution, Gravity Model, TLD Analysis	Vectores P/A, impedancias, función de fricción	Matrices OD por segmento
Partición modal	Logit Mode Choice, MNL/NL, Mode Table	Matrices OD, tiempos, costos, tarifas, espera, caminata, disponibilidad modal	Matrices OD por modo
Asignación privada/carga	Traffic Assignment, SUE, MMA, VDF	Matrices vehiculares, red vial, PCU, VOT, capacidades, velocidades	Flujos, tiempos, velocidades, V/C, saturación
Asignación pública	Transit Network, Pathfinder, Transit Assignment, Transit Skims	Matriz TP, rutas, paradas, frecuencias, tarifas, penalidades	Cargas de pasajeros, skims, costos generalizados

La retroalimentación del modelo se produce cuando los tiempos y costos obtenidos en la asignación se reutilizan como nuevas impedancias para las etapas de distribución y partición modal. Con ello, el modelo evita trabajar únicamente con tiempos de flujo libre y aproxima mejor la interacción entre demanda y condiciones reales de operación de la red.

6.3.5 Resultados e información relevante para el diagnóstico

TransCAD permite generar salidas diagnósticas directamente asociadas a redes, matrices y mapas. Para el MET, los resultados más relevantes son:

Resultado técnico	Herramienta asociada	Uso en el diagnóstico
Flujos vehiculares por enlace	Traffic Assignment Results	Identificación de corredores con mayor presión vehicular.
Relación V/C	Traffic Assignment / VDF	Detección de tramos saturados.
Velocidades cargadas	Assignment Results	Diagnóstico de pérdida de eficiencia vial.
Cargas de pasajeros	Transit Assignment Results	Identificación de corredores y rutas con mayor demanda.

VERSIÓN PRELIMINAR

Resultado técnico	Herramienta asociada	Uso en el diagnóstico
Mapas temáticos	GIS-T / Map Window	Comunicación gráfica de resultados para diagnóstico.

6.3.6 Integración de datos de campo en TransCAD

La plataforma permite incorporar información de campo mediante capas geográficas, tablas de atributos, matrices, campos de red y puntos de control. En el caso del MET, esta integración comprende:

Dato de campo	Forma de integración en TransCAD	Uso técnico
Encuesta origen-destino a hogares	Tabla zonal, matriz OD, atributos de viaje	Generación, distribución, partición modal y validación de patrones.
Encuestas de interceptación	Matrices externas o matrices por punto de ingreso/salida	Construcción de viajes externos y carga.
Aforos vehiculares	Campo en enlaces, puntos de control o tablas asociadas	Calibración de flujos, GEH, RMSE, screenlines y ODME.
FOV transporte público	Tabla por punto, ruta, sentido y ocupación	Validación de cargas de pasajeros y calibración TP.
Velocidades observadas	Campo por enlace o corredor	Ajuste de velocidades base y contraste de tiempos cargados.
Rutas de transporte público	Route system / Transit Network	Codificación de itinerarios y asignación de pasajeros.
Frecuencias / headways	Atributo de ruta o tramo	Cálculo de espera y costo generalizado TP.
Tarifas	Matriz tarifaria o atributo de modo/ruta	Cálculo de costo generalizado y partición modal.
Paradas	Nodos de tránsito o stops asociados a rutas	Acceso, egreso, transferencia y skims TP.
Conteos de carga	Campo de enlace o matriz de carga	Calibración de carga ligera y pesada.

La información adjunta también indica que los aforos pueden incorporarse como atributos sobre enlaces para apoyar procesos de estimación de matrices OD, y que las encuestas OD pueden integrarse mediante geocodificación o vinculación a centroides.

VERSIÓN PRELIMINAR

En síntesis, TransCAD constituye una plataforma adecuada para la construcción del MET porque integra en un mismo entorno GIS-T las herramientas necesarias para estructurar la oferta, procesar la demanda, construir matrices, aplicar modelos de elección, asignar flujos y generar resultados diagnósticos. Sus módulos de producción, atracción, balanceo, distribución, elección modal, asignación vehicular, asignación de transporte público, estimación OD, análisis de tránsito, administración de escenarios y procesamiento de matrices permiten implementar de manera completa un modelo estratégico de cuatro etapas con retroalimentación.

Para el caso de Chiclayo, esta capacidad permite vincular directamente las ZAT, centroides, conectores, red vial, rutas de transporte público, matrices OD, datos de campo, parámetros operacionales y resultados de asignación. Como resultado, el modelo permite obtener indicadores relevantes para el diagnóstico del PMUS, tales como flujos vehiculares, cargas de pasajeros, velocidades, tiempos de viaje, niveles de saturación, costos generalizados, reparto modal, accesibilidad y corredores críticos.

VERSIÓN PRELIMINAR

7 Ámbito de estudio y Zonificación

La definición del ámbito de estudio y de la zonificación constituyó una etapa inicial en la construcción del **Modelo Estratégico de Transporte (MET)**, en la medida en que permitió establecer el perímetro territorial dentro del cual se representa la movilidad urbana, metropolitana y regional que interactúa con la ciudad de Chiclayo. En un modelo estratégico de transporte, el ámbito de análisis no se limita únicamente al área administrativa de intervención del PMUS, sino que debe ampliarse o acotarse hasta cubrir los principales flujos de ingreso, salida, intercambio y articulación funcional que inciden sobre la red vial y el sistema de transporte. Bajo esta lógica, el MET definió un ámbito de estudio que toma como núcleo el continuo urbano principal de Chiclayo y, a partir de este, estructura una zonificación técnicamente consistente para representar la generación, atracción, distribución y asignación de viajes.

En concordancia con los Términos de Referencia, el área funcional del estudio comprende el ámbito urbano de los distritos de **Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca**, incorporando además la consideración funcional de zonas y relaciones intermunicipales y regionales que resultan necesarias para explicar adecuadamente la interacción territorial y la dinámica del sistema de movilidad. Sobre esta base, y de acuerdo con el análisis específico desarrollado para la zonificación del modelo, el perímetro efectivo de modelación fue afinado con criterio técnico, buscando representar de manera adecuada el continuo urbano-metropolitano, los ámbitos regionales cercanos y los corredores externos que estructuran la movilidad de Chiclayo como núcleo articulador del norte del país.

La zonificación, por su parte, constituyó el instrumento operativo que permitió traducir dicho ámbito territorial en unidades espaciales aptas para la modelación. Las **Zonas de Análisis de Tránsito (ZAT)** no fueron concebidas como una simple división cartográfica, sino como unidades funcionales que integran información demográfica, socioeconómica, de uso del suelo, accesibilidad y conectividad con la red. Su delimitación respondió a criterios de homogeneidad territorial, compatibilidad con la información censal, coherencia con la estructura vial principal, consideración de barreras físicas y tratamiento específico de las relaciones externas del sistema. De esta manera, el ámbito de estudio y la zonificación quedaron articulados como una sola estructura analítica, indispensable para el desarrollo del modelo de demanda y para la posterior evaluación de escenarios del PMUS.

7.1 Ámbito de estudio

El ámbito de estudio del **Modelo Estratégico de Transporte (MET)** se estructuró a partir del reconocimiento de Chiclayo como un sistema urbano funcional que trasciende los límites

político-administrativos de la ciudad central. Según los Términos de Referencia, el núcleo del estudio comprende los distritos de **Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca**, los cuales conforman el principal conglomerado urbano de la provincia y concentran la mayor parte de la población, las actividades económicas y los principales generadores y atractores de viajes.

Sobre esta base, el análisis territorial confirmó que el sistema opera como un continuo articulado, cuya interacción cotidiana genera flujos intensos por motivos de trabajo, educación, comercio, servicios, turismo y acceso a equipamientos. Desde la dimensión demográfica, este ámbito de intervención suma una población total de **538,364 habitantes**, según la información de referencia consignada en los TDR para los cinco distritos del área funcional. La distribución poblacional por distritos evidencia distintos niveles de consolidación y especialización funcional, tal como se detalla a continuación:

Tabla 1. Distribución Poblacional del Ámbito de Estudio MET (2022)

Distrito	Población (hab.)	Participación (%)
Chiclayo	261,127	48.50%
José Leonardo Ortiz	153,550	28.50%
La Victoria	84,355	15.70%
Pimentel	19,638	3.60%
Pomalca	19,694	3.70%
Total ámbito MET	538,364	100.00%

Fuente: Elaboración propia en base a INEI - Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Provincia y Distrito, 2018-2023.

La magnitud de estas cifras corrobora la necesidad de abordar el modelo desde una escala metropolitana y funcional. Asimismo, la caracterización territorial consideró que Chiclayo presenta una topografía predominantemente plana y un crecimiento urbano extendido sobre una estructura de corredores viales que favorecen la continuidad entre distritos, pero que también generan tensiones en materia de congestión, expansión periférica y articulación regional. En ese sentido, el perímetro del MET se definió bajo una lógica analítica y predictiva, orientada a capturar la movilidad efectiva del sistema urbano de Chiclayo y su interacción con las áreas de expansión, los distritos colindantes y los corredores de conexión regional.

7.2 Delimitación del área del perímetro

La definición del área modelada del Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo —MET Chiclayo— se sustenta en el concepto de área funcional de movilidad, entendido como el territorio donde se concentran y articulan cotidianamente los desplazamientos de la población por motivos de trabajo, estudio, comercio, salud, educación, acceso a servicios, recreación y actividades económicas. Este enfoque permite superar una lectura estrictamente político-administrativa del territorio y representar la ciudad real, es decir, aquella donde se producen los patrones efectivos de desplazamiento que deben ser capturados por el modelo de transporte.

En ese sentido, el núcleo urbano del modelo comprende los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca, cuya inclusión responde a la continuidad física de la mancha urbana, la concentración de centralidades, la presencia de equipamientos metropolitanos y la existencia de corredores viales estructurantes que canalizan flujos diarios significativos entre estos distritos. Estos criterios son consistentes con la delimitación desarrollada en el Entregable 2.1 –

VERSIÓN PRELIMINAR

Informe de Recopilación de Datos, donde se sustenta con mayor detalle el ámbito de estudio, la definición técnica del perímetro de intervención, la caracterización territorial y la representación cartográfica del área funcional del PMUS Chiclayo.

Desde el punto de vista territorial, el perímetro del modelo considera la existencia de un tejido urbano continuo o funcionalmente integrado, caracterizado por una red vial conectada, trama urbana consolidada, densidad residencial, diversidad de usos del suelo, presencia de equipamientos y espacio público urbano. Estas condiciones son necesarias para representar adecuadamente la movilidad urbana y para evaluar medidas de transporte público, gestión del tránsito, infraestructura vial y movilidad activa. En contraste, los territorios ubicados fuera del continuo urbano, aunque mantienen relaciones funcionales con Chiclayo, presentan discontinuidades físicas y funcionales, áreas agrícolas, espacios no urbanizados o corredores intermunicipales de menor densidad, por lo que no fueron tratados como parte del núcleo urbano interno del modelo.

La delimitación también responde a criterios de coherencia metodológica con la zonificación del modelo. Para ello, las Zonas de Análisis de Tránsito —ZAT— fueron diferenciadas entre zonas internas y zonas externas. Las ZAT internas representan el ámbito urbano principal donde se generan y atraen los viajes urbanos, mientras que las ZAT externas cumplen una función analítica para capturar flujos metropolitanos, regionales e interprovinciales que ingresan, salen o atraviesan el sistema modelado. Esta diferenciación permite representar tanto la movilidad interna del continuo urbano como las relaciones externas relevantes, sin distorsionar la estructura urbana principal ni la calibración de las matrices origen-destino.

En términos operativos, el modelo se estructuró en 104 Zonas de Análisis de Tránsito, de las cuales 98 corresponden a ZAT internas y 6 a ZAT externas. Las zonas internas concentran la población, los hogares, los usos urbanos y las actividades que alimentan la generación y atracción de viajes, mientras que las zonas externas representan los principales accesos y relaciones de intercambio con el entorno regional. Esta estructura permite equilibrar dos necesidades técnicas: contar con mayor desagregación en las áreas de alta generación y atracción de viajes, y mantener una representación más agregada en los ámbitos externos o de menor densidad relativa.

La estructura espacial del modelo reconoce tres niveles de análisis territorial:

Primer nivel: urbano-metropolitano. Corresponde al continuo urbano principal conformado por Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca. En este nivel se concentra la mayor parte de la demanda urbana, los hogares, las actividades económicas, los equipamientos y los viajes cotidianos que sustentan la modelación interna del sistema.

Segundo nivel: regional cercano. Comprende las relaciones funcionales con ámbitos próximos como Lambayeque, Monsefú, Reque y Ferreñafe, los cuales mantienen vínculos cotidianos con Chiclayo por motivos laborales, educativos, comerciales y de acceso a servicios. Estos ámbitos no necesariamente forman parte del núcleo urbano continuo, pero inciden en la demanda que ingresa y sale del sistema.

Tercer nivel: regional externo y nacional. Representa los corredores de ingreso y salida del área de estudio, asociados a flujos interprovinciales, logísticos, de carga y de conexión con otros territorios del norte del país. Este nivel se incorpora mediante zonas externas que permiten capturar la interacción de Chiclayo como nodo urbano, comercial, logístico y de servicios de alcance regional.

La evidencia utilizada para definir el perímetro proviene de diversas fuentes complementarias, entre ellas información censal y territorial, mancha urbana identificada mediante SICCEP–INEI, catastros municipales, imágenes satelitales de alta resolución, información del Plan de Desarrollo Metropolitano, Geoplan, verificación de campo y resultados de los estudios de movilidad. Asimismo, se consideraron encuestas origen-destino, encuestas de interceptación, información de terminales, aeropuerto, transporte de carga y corredores regionales, con el fin de identificar los vínculos funcionales entre Chiclayo y su entorno.

VERSIÓN PRELIMINAR

Asimismo, se verificó la consistencia del perímetro y de la zonificación con los principales corredores estructurantes de la ciudad, tales como la Av. Francisco Bolognesi, Av. Grau, Av. Santa Victoria, Av. Los Incas, Av. Salaverry, Av. Chiclayo, Av. Balta, Av. Garcilaso de la Vega, Av. Sáenz Peña, la Panamericana/Evitamiento y la Av. Augusto B. Leguía. Estos ejes actúan como referencias funcionales para delimitar sectores con distinta accesibilidad, jerarquía vial y comportamiento de viaje, y permiten asegurar que el modelo represente de manera coherente la relación entre la estructura urbana y la red de transporte.

En consecuencia, el perímetro adoptado para el MET Chiclayo no constituye una delimitación arbitraria, sino una decisión técnica sustentada en criterios de continuidad urbana, funcionalidad territorial, evidencia de movilidad, coherencia con la red vial, disponibilidad de información zonal y necesidad de representar los flujos externos relevantes. Esta delimitación permite que el modelo reproduzca adecuadamente la dinámica real de movilidad de Chiclayo, diferenciando la movilidad urbana interna de los flujos metropolitanos y regionales, y asegurando una base consistente para la calibración del escenario base y la posterior evaluación de escenarios del PMUS. El detalle ampliado de las áreas, criterios de delimitación, sustento territorial y representación cartográfica se desarrolla en el Entregable 2.1 – Informe de Recopilación de Datos del PMUS Chiclayo.

7.3 Zonificación

La zonificación del MET se diseñó como una estructura territorial de soporte para la modelación de la demanda, permitiendo desagregar el territorio en unidades suficientemente homogéneas y operativas para representar los viajes producidos y atraídos en el sistema. Conforme a los Términos de Referencia, el modelo debía considerar como mínimo 98 zonas de tránsito en el área de estudio. Sobre esta base, y como resultado del proceso específico de diseño de la zonificación, se estructuró un sistema de 104 Zonas de Análisis de Tránsito, que responde a una lectura integral del territorio, su conectividad y sus relaciones urbanas y regionales.

Previo a la definición de la zonificación definitiva, se revisaron los antecedentes espaciales disponibles, en particular la propuesta contenida en el Plan de Desarrollo Metropolitano. Si bien dicho insumo constituyó un referente valioso desde la planificación urbana, el análisis técnico evidenció limitaciones para su uso directo en un modelo de cuatro etapas, debido a su desalineación con unidades censales del INEI, la heterogeneidad interna de algunas zonas y la ausencia de centroides y conectores definidos. En consecuencia, se optó por desarrollar una nueva zonificación ajustada a los requerimientos técnicos del modelo, manteniendo coherencia con límites administrativos y manzanas censales, pero optimizando la homogeneidad funcional y la conectividad operativa con la red vial.

La delimitación de las ZAT se sustentó, de manera prioritaria, en unidades censales oficiales y en una lectura funcional del territorio. No obstante, debido a las particularidades propias del ámbito de estudio y a los requerimientos operativos de la modelación, este criterio no pudo aplicarse de manera estricta en todos los casos. En consecuencia, la definición final de las zonas respondió a una combinación de criterios técnicos que permitiera mantener, en la mayor medida posible, la consistencia entre la información estadística disponible y la representación funcional de la movilidad.

Entre los criterios considerados destacaron la compatibilidad con divisiones administrativas y estadísticas, la homogeneidad funcional y socioeconómica, la coherencia con la red vial principal, la consideración de límites físicos y barreras territoriales, la incorporación de zonas externas y la diferenciación de escala entre el continuo urbano principal y los ámbitos regionales cercanos o externos. Bajo este enfoque, la zonificación permitió estructurar una representación territorial simplificada, pero técnicamente consistente, adecuada para la generación y atracción de viajes, la construcción de matrices y la asignación de flujos sobre la red modelada.

VERSIÓN PRELIMINAR

Desde el punto de vista de su configuración espacial, la zonificación reconoció tres niveles de lectura del territorio: el nivel urbano-metropolitano, correspondiente a la principal mancha urbana e interacción entre Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca; el nivel regional cercano, en el que se incorporaron municipalidades aledañas con vínculos cotidianos significativos de movilidad, como Lambayeque, Monsefú, Reque y Ferreñafe; y el nivel regional externo y nacional, orientado a representar los corredores de ingreso y salida del área de estudio. Esta estructura permitió equilibrar dos necesidades del modelo: mayor detalle en las áreas con intensa generación y atracción de viajes, y mayor agregación en los espacios externos o de menor densidad relativa.

La consistencia territorial de la zonificación fue validada frente a la estructura física, urbana y socioeconómica de la ciudad. En primer lugar, se verificó su coherencia con corredores viales estructurantes como la Av. Francisco Bolognesi, Av. Grau, Av. Santa Victoria, Av. Los Incas, Av. Salaverry, Av. Chiclayo, Av. Balta, Av. Garcilaso de la Vega, Av. Sáenz Peña, la Panamericana/Evitamiento y la Av. Augusto B. Leguía, los cuales actúan como referencias espaciales claras para delimitar sectores con diferente accesibilidad y comportamiento de viaje. En segundo lugar, se revisó su comportamiento en zonas de expansión y borde territorial, tales como Vista Linda, San Juan de Dios y Las Acacias, verificándose una correspondencia adecuada entre la delimitación propuesta y la estructura urbana y funcional del territorio.

Asimismo, la zonificación incorporó un tratamiento particular de los principales polos de atracción y áreas singulares del sistema urbano, entre ellos el Aeropuerto Internacional Capitán FAP José A. Quiñones Gonzales, el Estadio Elías Aguirre, el Centro Comercial Real Plaza y su entorno, la zona universitaria, la zona industrial y logística del suroccidente de la ciudad, los mercados Modelo y Moshoqueque, el complejo deportivo de La Victoria y el centro administrativo de José Leonardo Ortiz, entre otros. La consideración específica de estos espacios permitió evitar su absorción dentro de zonas excesivamente agregadas y mejorar la representación de sus patrones diferenciados de generación y atracción de viajes.

En cuanto a la representación regional, el modelo incorporó zonas externas estratégicas para captar adecuadamente los movimientos de intercambio metropolitano, regional e interprovincial. Estas zonas fueron definidas a partir de los principales corredores de conexión y de la evidencia obtenida en encuestas de interceptación, terminales, aeropuerto y transporte de carga, permitiendo representar con mayor realismo la interacción de Chiclayo con Lambayeque, Reque, Monsefú, Ferreñafe y otros corredores de vinculación regional y nacional.

Finalmente, cada ZAT fue representada operativamente mediante un centroide, conectado a la red vial a través de conectores. La ubicación de los centroides respondió a criterios funcionales y no estrictamente geométricos, buscando representar de mejor manera la localización predominante de la población, los equipamientos, las actividades económicas y la accesibilidad vial dentro de cada zona. Esta estructura de centroides y conectores permitió vincular la información socioeconómica y territorial con la red modelada, asegurando una representación consistente de los orígenes y destinos de viaje dentro del MET. Con ello, la zonificación quedó consolidada como uno de los componentes estructurales centrales del modelo, al servir de base para la formulación de la demanda, la calibración del año base y la evaluación de escenarios futuros.

7.3.1 Revisión de antecedentes y fuentes de información

Previo a la definición de la zonificación definitiva, el equipo técnico realizó una revisión de las estructuras espaciales existentes, especialmente la propuesta en el Plan de Desarrollo Metropolitano (PDM).

Si bien dicha zonificación constituye un referente valioso desde la planificación urbana, el análisis técnico evidenció limitaciones para su uso directo en un modelo de cuatro etapas:

VERSIÓN PRELIMINAR

- Desalineación con unidades censales del INEI, lo que dificultaba la integración limpia de variables como población, hogares y motorización.
- Heterogeneidad interna excesiva, con zonas que agrupaban usos dispares (industrial + residencial), generando mezclas de densidad y comportamiento de viaje.
- Ausencia de centroides y conectores definidos, lo cual impedía su vinculación operativa con la red vial modelada.

Más que descartar estos antecedentes, el ejercicio permitió identificar oportunidades de mejora. En consecuencia, se optó por desarrollar una nueva zonificación ajustada a los criterios técnicos del modelo, manteniendo coherencia con límites administrativos y manzanas censales, pero optimizando la homogeneidad funcional y la conectividad.

7.3.2 Criterios de delimitación espacial

Las condiciones de demanda de transporte se organizaron y representaron mediante el concepto de Zonas de Análisis de Tránsito (ZAT), lo que implica dividir el área de estudio en unidades territoriales relativamente homogéneas, cada una con información socioeconómica, demográfica y funcional asociada. Para cada zona se define un área de influencia y un centroide, entendido como el punto abstracto donde se concentra la generación y atracción de viajes. La ubicación de dicho centroide no responde necesariamente al centro geométrico de la zona, sino a criterios funcionales, procurando representar los sectores donde se concentran los hogares, equipamientos, actividades urbanas o nodos relevantes. De esta manera, el modelo permite representar de forma más adecuada los lugares donde se originan o finalizan los viajes, tales como terminales, aeropuerto, centros poblados, áreas comerciales, equipamientos urbanos u otros puntos significativos del territorio.

Los criterios generales utilizados para la zonificación fueron los siguientes:

- Consistencia con zonas administrativas (departamentales, municipales, centros urbanos, entre otros).
- El tamaño de las zonas está basado en el supuesto de que todas las actividades se concentran en el centroide de manera tal que no produzcan errores significativos. Por esta razón, las zonas representan el tejido urbano y sus actividades económicas principales (residencial, industrial, servicios, transporte, etc).
- Consistencia con la malla vial principal, para optimizar la conectividad de las zonas y consistencia en accesibilidad.
- Inclusión de zonas externas en el modelo nivel regional y nacional.

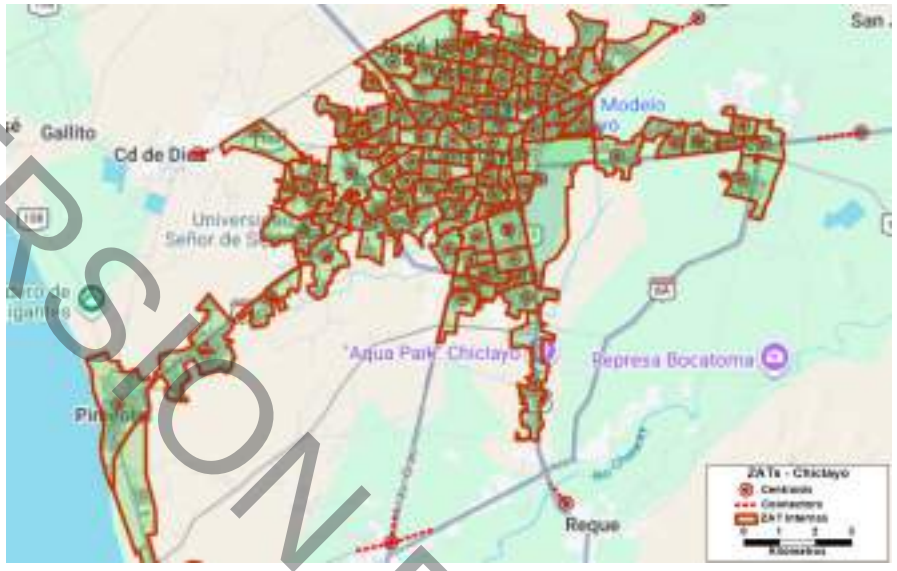
Considerando los criterios generales mencionados, se estableció el diseño de la zonificación del proyecto el cual considera tres niveles o jerarquías, que son las siguientes:

- Nivel Urbano considerando la principal mancha urbana con la interacción Metropolitana de las Municipalidades de Chiclayo, Jose Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca.
- Nivel Regional Cercano en donde se incluyeron Municipalidades aledañas que también representan interacciones constantes y cotidianas en materia de movilidad pero cuyos corredores viales de conexión aún no han tenido un proceso de densificación robusto que genere un solo tejido territorial. En este nivel se encuentran las municipalidades de Lambayeque, Monsefú, Reque y Ferreñafe.
- Nivel Regional Externo y Nacional en donde se representan los diferentes corredores de salida e ingreso a la zona del proyecto en todos sus puntos cardinales (cordón externo) que permiten representar la interacción de Chiclayo como núcleo de desarrollo del Norte del País.

VERSIÓN PRELIMINAR

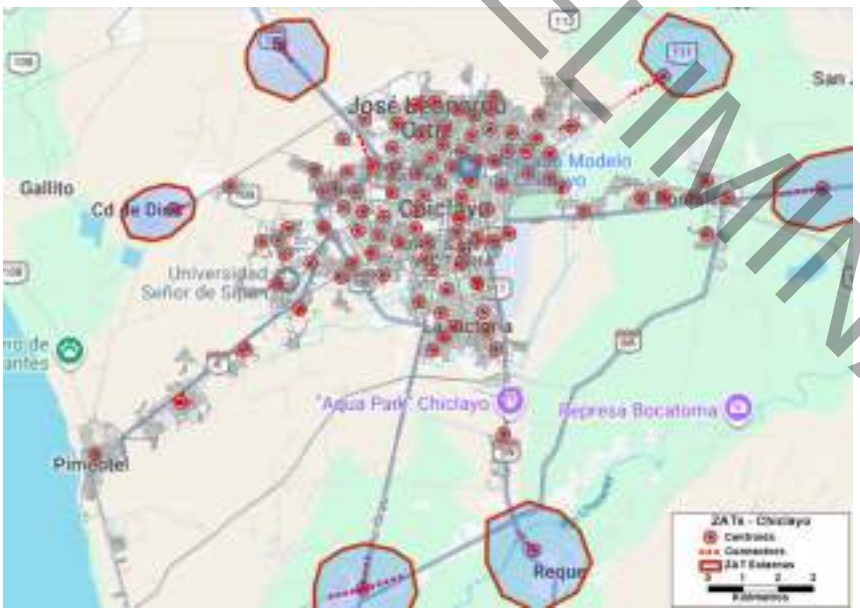
Con estas consideraciones se estructuró una zonificación para el Plan de Movilidad Urbano Sostenible de Chiclayo de un total de 104 Zonas de Análisis de Transporte que responden a un análisis integral del territorio y su conectividad.

Figura 3: Zonificación estructurada para el PMUS de Chiclayo – Núcleo Urbano Metropolitano



Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Zonificación estructurada para el PMUS de Chiclayo – Representación de Zonas Externas



Fuente: Elaboración propia

En las siguientes secciones se describirán las consideraciones de consistencia analizadas y consideradas en la zonificación.

VERSIÓN PRELIMINAR

7.3.2.1 Consistencia con la estructura física y territorial

En primer lugar, se evaluó la coherencia de la zonificación frente a los elementos físicos y territoriales estructurantes del área de estudio. Este análisis consideró explícitamente:

- Límites naturales, tales como ríos, quebradas y sistemas topográficos relevantes, que actúan como barreras o condicionantes a la conectividad vial y peatonal.
- Infraestructura vial principal, incluyendo autopistas, corredores arteriales, líneas férreas y otros elementos que segmentan el territorio y condicionan los patrones de cruce y acceso.

Se verificó que las ZAT respetan, en términos generales, estos elementos estructurantes, evitando particiones arbitrarias que atraviesen barreras físicas significativas o que agrupen sectores con condiciones de accesibilidad sustancialmente diferentes. Esta coherencia resulta fundamental para que los tiempos y costos de desplazamiento representados en el modelo reflejen adecuadamente las restricciones reales del territorio.

Figura 5: Zonificación en corredores de la malla vial principal

Fuente: Elaboración propia

Si bien, existen diferentes avenidas principales dentro del territorio de análisis, es importante resaltar la funcionalidad estructural de algunos corredores cuya continuidad y jerarquía generan un límite artificial considerado por el equipo al momento de plantear la zonificación. Estos corredores viales son:

- Av. Francisco Bolognesi y Prolongación
- Av. Grau
- Av. Santa Victoria con prolongación en Av. Los Incas
- Av. Salaverry
- Av. Chiclayo

VERSIÓN PRELIMINAR

- Av. Balta
- Av. Garcilaso de la Vega
- Av. Sáenz Peña
- Av. Panamericana / Evitamiento
- Av. Augusto B. Leguía

Estas vías no solo ordenan la movilidad, sino que también estructuran la morfología urbana y delimitan sectores con comportamientos diferenciados de viaje.

7.3.2.2 Consistencia con la estructura urbana y funcional

De manera complementaria, se analizó la correspondencia entre la zonificación y la estructura urbana y funcional del territorio, considerando:

- La delimitación de barrios, urbanizaciones y sectores urbanos con identidad funcional reconocible.
- La localización de centralidades urbanas, áreas de alta actividad comercial, institucional y de servicios.
- La diferenciación entre áreas urbanas consolidadas, sectores en proceso de densificación y zonas periféricas o de transición urbano–rural.

Este análisis permitió verificar que las ZAT agrupan áreas con comportamientos funcionales relativamente homogéneos, evitando, en la mayoría de los casos, la mezcla de sectores con roles urbanos claramente diferenciados (por ejemplo, áreas residenciales de baja densidad con polos intensivos de empleo). Esta condición es clave para asegurar que las variables de generación y atracción de viajes puedan interpretarse y calibrarse de forma consistente.

Dentro de las validaciones de consistencia se analizaron diferentes zonas del territorio en proceso de expansión como Vista Linda, San Juan de Dios, Las Acacias, entre otros sectores validando su consistencia con la zonificación planteada.

En general, las validaciones son adecuadas respecto a la estructura urbana y funcional del territorio observado una delimitación adecuada de la mancha urbana de las zonas periféricas y en procesos de expansión. A continuación, se muestran algunos ejemplos de la extensión de la zonificación en estos territorios mencionados.

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 6: Zonificación en zonas de expansión y borde territorial

Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

7.3.2.3 Consistencia socio-demográfica

Un componente central del proceso de validación correspondió a la evaluación de la zonificación frente a las variables socio-demográficas, las cuales constituyen la base explicativa de la generación de viajes en el modelo.

En este sentido, se revisó la coherencia de las ZAT respecto a:

- Densidades poblacionales, verificando que no existan zonas excesivamente extensas que integren sectores con contrastes extremos en ocupación.
- Distribución del empleo y de las actividades económicas, particularmente en sectores industriales, comerciales y de servicios.

- Presencia de equipamientos estructurantes, tales como centros educativos (principalmente grandes instituciones de educación básica secundaria y universidades), hospitales, Aeropuerto, nodos institucionales y áreas de concentración de empleo.

El análisis evidenció que la zonificación permite una representación razonablemente homogénea de estas variables al interior de cada ZAT, lo cual es fundamental para evitar que la agregación espacial diluya relaciones causales entre características socioeconómicas y producción o atracción de viajes.

Figura 7: Zonificación en sectores de servicios y Aeropuerto

Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PARA ELIMINAR

Algunos elementos del tejido urbano cuyo contraste en el sistema de actividades considerados en la zonificación propuesta como polos de atracción y zonas singulares fueron:

- Aeropuerto Internacional Capitán FAP José A. Quiñones Gonzales.
- Estadio Elías Aguirre.
- Centro Comercial Real Plaza y zonas comerciales aledañas
- Zona Universitaria (Universidad San Martín de Porres).
- Zona industrial y logística de Chiclayo ubicada al suroccidente de la Ciudad.
- Mercados principales: Modelo y Moshoqueque en conjunto con sus zonas de actividad aledañas.
- Complejo deportivo de La Victoria.
- Centro administrativo de José Leonardo Ortiz.
- Instituciones educativas relevantes como la I.E. San José.

Estas zonas concentran altos volúmenes de atracción y generan patrones diferenciados de movilidad.

7.3.2.4 Configuración metropolitana y relación intermunicipal

La zonificación reconoce que Chiclayo no opera como sistema aislado, sino que se posiciona como nodo estratégico de la economía del norte de Perú. Por esta razón se consideraron Municipalidades cercanas para su representación detallada y no perder en la agregación externa los viajes cotidianos que se desarrollan con la zona de estudio.

- La provincia de Lambayeque (156.801 habitantes; 74.893 en su núcleo urbano principal) mantiene interacción cotidiana significativa.
- Ferreñafe (55.448 habitantes urbanos) se conecta principalmente por el eje nororiental.
- Reque (16.305 habitantes) y Monsefú (33.629 habitantes) presentan vínculos funcionales directos.
- Pimentel, con fuerte componente turístico y residencial, fue desagregado en dos ZAT.
- Pomalca, con seis ZAT, refleja su peso poblacional y su integración progresiva al continuo urbano.
- Santa Rosa fue considerada como núcleo diferenciado por su dinámica costera.

Esta estructura permite capturar viajes laborales, educativos, comerciales y turísticos de carácter metropolitano.

7.3.2.5 Zonas externas y representación regional

Aunque el modelo es esencialmente urbano, se incorporaron zonas externas estratégicas para evitar la pérdida de viajes regionales y nacionales identificados en:

- Encuestas OD de carga y centros logísticos.
- Encuestas OD en terminales interprovinciales.
- Encuestas OD de interceptación en corredores de conexión Regional.
- Encuestas en Aeropuerto.

Las zonas externas cumplen funciones diferenciadas:

- ZAT 103 – Lambayeque: núcleo urbano de alta interacción con Chiclayo.

VERSIÓN PRELIMINAR

- ZAT 99 – Reque: doble propósito: núcleo municipal + representación de flujos hacia el suroriente (ej. Trujillo).
- ZAT 100: representación de Monsefú y Puerto Eten.
- ZAT 101: conexión oriental hacia Chongoyape y Cajamarca.
- ZAT 102: conectividad nororiental hacia Ferreñafe.
- ZAT 105: Ciudad de Dios y San José, integrando núcleo local y flujos regionales occidentales.

La construcción fue principalmente por cordones viales estratégicos, permitiendo capturar correctamente los movimientos interprovinciales.

Figura 8: Zonas externas y representación regional

Fuente: Elaboración propia

7.3.3 Centroides de las zonas y conectividad con la Red Vial

En un modelo de transporte basado en Zonas de Análisis de Tránsito (ZAT), la delimitación espacial constituye únicamente el primer paso del proceso de representación territorial. Para que la zonificación pueda interactuar con la red vial y el sistema de transporte, es indispensable definir un punto de carga que permita materializar la generación y atracción de viajes en términos operativos. Ese punto es el centroide.

El centroide no es un elemento cartográfico accesorio; es la traducción funcional de la ZAT dentro del modelo de transporte. A través de él se canalizan todos los viajes que se originan y se atraen en la zona, convirtiéndose en el nodo que conecta la estructura socioeconómica del territorio con la infraestructura de movilidad.

En consecuencia, una definición adecuada de centroides es tan relevante como la correcta delimitación de las ZAT, pues de ella depende la coherencia entre el territorio real y su representación modelada.

Es importante precisar que el centroide no necesariamente coincide con el centro geométrico de la zona. Su ubicación responde a criterios funcionales y no meramente geométricos.

Cada ZAT concentra dinámicas particulares de generación y atracción de viajes asociadas a:

- Densidad poblacional.

VERSIÓN PRELIMINAR

- Localización de equipamientos.
- Actividades económicas.
- Accesibilidad vial.
- Estructura urbana predominante.

Por esta razón, el centroide se ubica estratégicamente en el punto que mejor represente el núcleo de actividad de la zona.

En zonas predominantemente residenciales, el centroide se aproxima al área de mayor concentración habitacional. En zonas con equipamientos singulares (aeropuerto, mercados, universidades, zonas industriales), el centroide se posiciona en el entorno inmediato del equipamiento dominante, ya que allí se concentra la mayor interacción de viajes.

En áreas periurbanas o rurales incorporadas al modelo, el centroide suele ubicarse en el casco urbano principal del distrito o municipalidad, dado que es en ese núcleo donde se estructuran las principales actividades económicas, administrativas y comerciales, y desde donde se articula la conectividad hacia la red vial regional.

Esta decisión garantiza que el modelo represente adecuadamente:

- El volumen real de viajes.
- La dirección predominante de los desplazamientos.
- La lógica de acceso a los corredores principales.

7.3.3.1 Conectividad de los centroides hacia la red vial

Cada ZAT cuenta con un único centroide. Esta condición responde a la necesidad de que cada zona tenga un punto de referencia único donde confluyan:

- Los viajes generados.
- Los viajes atraídos.
- Las variables socioeconómicas asociadas.

El centroide concentra, de forma abstracta, las características demográficas y funcionales de la zona. En el modelo, todos los viajes de la matriz origen-destino tienen como punto de salida o llegada ese nodo.

Esta simplificación es necesaria para garantizar estabilidad funcional, claridad en la asignación y consistencia en la interpretación de resultados.

El centroide, por sí mismo, no forma parte de la red vial operativa. Para integrarlo al sistema de movilidad, se construyen arcos de conexión (conectores) que enlazan el centroide con uno o varios nodos reales de la red vial modelada.

Estos conectores cumplen una función importante: permiten que los viajes que se generan en la zona ingresen a la red de transporte y puedan ser asignados a los diferentes corredores viales o sistemas de transporte disponibles. La definición de estos arcos se realizó considerando:

- Proximidad del centroide a vías principales.
- Jerarquía funcional de la red (arteriales, colectoras).
- Accesibilidad peatonal real.
- Distribución espacial de la población dentro de la zona.

VERSIÓN PRELIMINAR

En zonas urbanas consolidadas, el centroide puede tener múltiples conectores hacia diferentes corredores viales. Esto permite representar la realidad cotidiana: los residentes de un barrio no acceden a un único eje vial, sino que eligen el corredor más cercano o el que optimiza su itinerario.

Si bien una zona puede tener más de un conector, se evita la proliferación excesiva de enlaces, ya que esto podría distorsionar la asignación de flujos o generar inestabilidad en el modelo. El objetivo es lograr un equilibrio entre:

- Representación realista de accesos.
- Simplicidad estructural.
- Eficiencia computacional.

7.3.3.2 Representación del acceso peatonal en el transporte público

En el caso del transporte público, los conectores representan conceptualmente el trayecto peatonal desde los hogares o actividades hasta la red de transporte, es decir:

- El viaje inicia en el centroide.
- A través del conector, el usuario "camina" hasta la vía donde opera el transporte público.
- Desde allí se incorpora a la red de rutas modeladas.

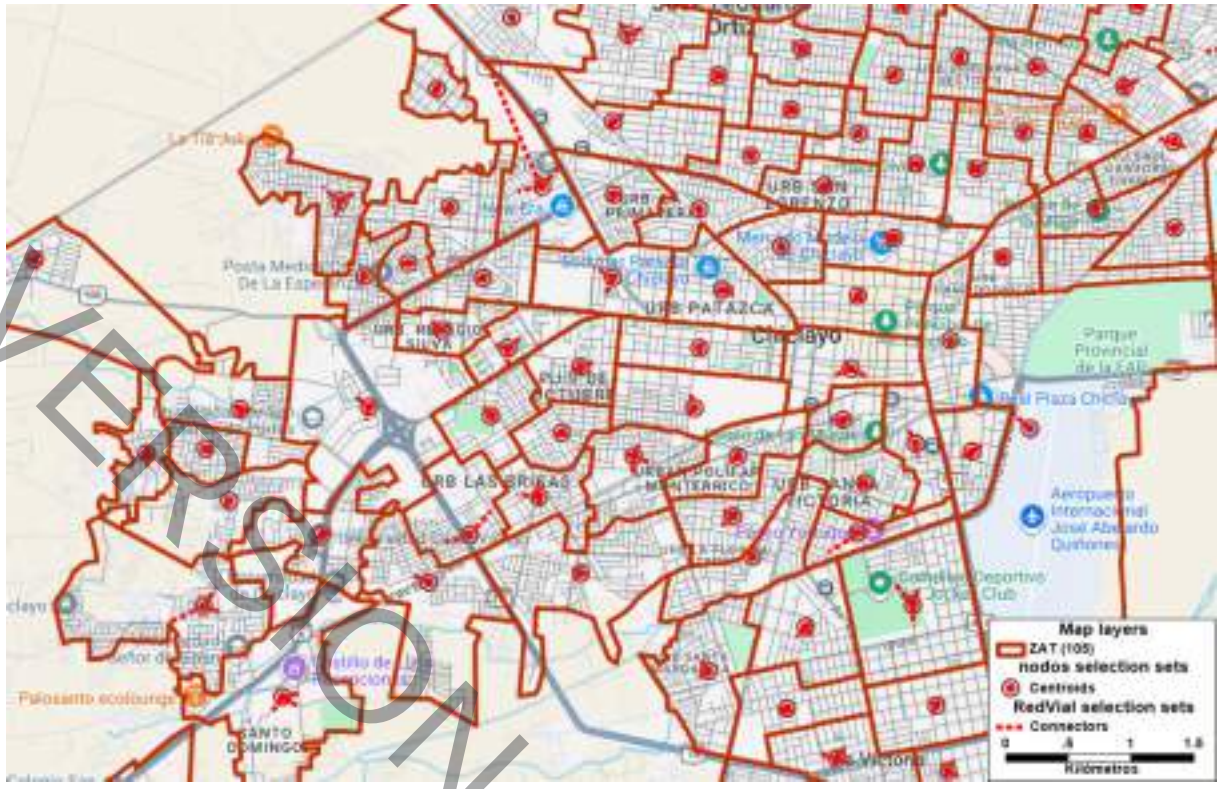
Por tanto, estos conectores no representan únicamente una conexión abstracta, sino la aproximación del acceso real que los usuarios realizan diariamente desde su vivienda o lugar de actividad hasta el corredor vial más próximo. En términos de modelación, esta representación es fundamental para:

- Calcular tiempos de acceso.
- Analizar cobertura del sistema.
- Estimar correctamente la distribución modal.

De esta manera, el modelo logró representar no solo la estructura física del territorio, sino también la lógica funcional con la que la población interactúa diariamente con la red de transporte.

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 9: Representación de Centroides en las ZAT



Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

7.3.4 Construcción de los conectores centroides

Centroides: Representan el punto central de una zona de tránsito. No es un punto físico real, sino una abstracción que concentra toda la demanda de transporte de esa zona.

- Función: Actúan como nodos origen o destino de los viajes.
- Ubicación: Se ubican típicamente dentro de cada zona (no necesariamente en el centro geométrico, sino donde tenga sentido desde el punto de vista del modelo).

Cada centroide fue ubicado en el punto central de la zona de tráfico, tomando en consideración el manzaneo de la ciudad e imágenes de Google Earth para visualizar la concentración de hogares dentro de las ZAT. En la siguiente figura se muestran algunas ubicaciones de dichos centroides.

Figura 10:Ubicación de los centroides

Conectores: Son los enlaces virtuales que conectan un centroide con uno o varios nodos de la red vial real (red de calles o carreteras).

- Función: Permiten transferir la demanda desde el modelo zonal (donde se genera y atrae la demanda) hacia la red de transporte (donde se asigna el tráfico).
    - Ayudan a distribuir los viajes de forma lógica según accesibilidad.

Características:
- No representan una vía física real.

VERSIÓN PRELIMINAR

- Su longitud, capacidad o penalización puede ser ajustada para reflejar más o menos facilidad de acceso a la red.

Figura 11: Construcción de los conectores y centroides

Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

8 Elección del tipo de Modelo

Para la estructuración del Modelo Estratégico de Transporte — MET, se adoptó metodológicamente un Modelo Secuencial de Cuatro Etapas con Retroalimentación (*Feedback Loop*), implementado en TransCAD.

Esta decisión técnica responde al alcance estratégico del PMUS y a la necesidad de contar con una herramienta capaz de evaluar escenarios prospectivos de corto, mediano y largo plazo, en los cuales pueden variar simultáneamente la población, la localización de actividades, la expansión urbana, la oferta vial, el sistema de transporte público, los costos generalizados y los niveles de congestión.

De acuerdo con la Guía Técnica para la Elaboración de Modelos de Transporte del MTC, la modelación de transporte permite analizar la relación entre el sistema de actividades, el sistema de transporte y el patrón de flujos resultante. Para reducir la incertidumbre asociada al desarrollo futuro de las ciudades, la guía recomienda trabajar mediante escenarios de desarrollo urbano y escenarios de transporte, a partir de los cuales se estiman flujos, niveles de servicio y condiciones de operación del sistema.

En ese sentido, el uso de un modelo con retroalimentación no constituye una sofisticación innecesaria, sino una decisión metodológica coherente con el propósito del PMUS: evaluar cómo los cambios futuros en la ciudad y en la oferta de transporte pueden modificar los patrones de viaje, la elección modal y la carga sobre la red.

8.1 Diferenciación Metodológica: Secuencial vs. Retroalimentado

La distinción fundamental entre una implementación secuencial simple y una retroalimentada radica en el tratamiento de las **impedancias de red**, entendidas como los tiempos, costos y condiciones de viaje que enfrentan los usuarios.

Modelo Secuencial Simple:

En este enfoque, las etapas se ejecutan de forma lineal: generación, distribución, partición modal y asignación. Su principal limitación es que las etapas de distribución y elección modal pueden utilizar tiempos o costos estimados inicialmente, sin actualizar plenamente el efecto de la congestión generada luego de cargar la demanda sobre la red. Por ello, puede resultar adecuado en ciudades o escenarios con baja congestión, pero limitado cuando los tiempos de viaje son sensibles a la saturación de la infraestructura.

Modelo Secuencial con Retroalimentación:

En este enfoque, los resultados de la etapa de asignación —principalmente tiempos de viaje, velocidades, niveles de saturación y costos generalizados— se reintroducen en las etapas previas de distribución y partición modal. El proceso se ejecuta de manera iterativa hasta alcanzar una condición de convergencia razonable, en la cual la demanda estimada sea consistente con el desempeño de la oferta vial y de transporte público.

La Guía Técnica del MTC señala que el modelo secuencial clásico puede presentar inconsistencias entre las etapas de distribución, partición modal y asignación, especialmente en redes congestionadas. Para resolver esta limitación, se plantea el uso de procesos de retroalimentación, que permiten obtener mayor consistencia entre los tiempos calculados, los flujos asignados y las decisiones de viaje de los usuarios.

VERSIÓN PRELIMINAR

8.2 Justificación Técnica para el MET

Sensibilidad al desempeño del sistema

Los viajes en el sistema urbano de Chiclayo no son invariantes. La congestión en corredores críticos y zonas de alta concentración de viajes, como los ejes de acceso al área central, las vías de conexión con José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel, Pomalca y otros sectores de expansión urbana, modifica los tiempos de viaje, la accesibilidad entre zonas y la competitividad relativa entre modos de transporte.

En este contexto, no resulta técnicamente adecuado estimar la distribución de viajes y la partición modal utilizando impedancias estáticas o condiciones de flujo libre, ya que estas no reflejan adecuadamente las demoras, saturación vial y variaciones operativas que se presentan en la red urbana.

Consistencia entre demanda y oferta

El modelo de transporte del PMUS Chiclayo requiere representar de manera articulada la interacción entre la demanda de viajes y la oferta de transporte. La retroalimentación permite que los costos generalizados utilizados en las etapas de distribución y elección modal reflejen condiciones actualizadas de operación, incorporando congestión, demoras, velocidades reales, tiempos de viaje, tiempos de espera, penalidades por transbordo y condiciones propias del transporte público.

De esta manera, los resultados de la asignación no quedan aislados del proceso de estimación de demanda, sino que retroalimentan las etapas previas del modelo, mejorando la consistencia entre los flujos estimados y el desempeño efectivo de la red.

Pertinencia para escenarios prospectivos del PMUS

El PMUS de Chiclayo no se limita al análisis de la situación actual, sino que evalúa escenarios futuros vinculados al crecimiento urbano, la consolidación de nuevas centralidades, los cambios en el uso del suelo, la reorganización del transporte público, la mejora de la infraestructura vial, la implementación de políticas de movilidad sostenible y la priorización de intervenciones estratégicas.

En dichos escenarios, las condiciones de accesibilidad y operación de la red pueden modificarse de manera significativa. Por ello, la retroalimentación permite evaluar no solo cuánto crecerá la demanda de viajes, sino también cómo dicha demanda podría redistribuirse espacial y modalmente frente a nuevas condiciones de congestión, conectividad, tiempos de viaje y costos generalizados.

Realismo ante restricciones de capacidad

La estructura urbana de Chiclayo presenta restricciones físicas y operativas relevantes, asociadas a la concentración de actividades en el área central, la presión vehicular sobre corredores principales, la interacción entre flujos urbanos e interurbanos, la presencia de vías con limitada capacidad efectiva y la dependencia de determinados ejes para la conexión entre distritos.

Estas condiciones generan cuellos de botella y hacen que los tiempos de viaje sean sensibles a la carga vehicular. En consecuencia, la retroalimentación permite que el modelo represente de mejor manera cómo los usuarios pueden modificar sus rutas, destinos o modos de transporte ante la saturación de determinados corredores o ante mejoras en la oferta de movilidad.

Coherencia con la Guía Técnica del MTC

La adopción de un modelo de cuatro etapas con retroalimentación se alinea con los criterios establecidos en la Guía Técnica para la Elaboración de Modelos de Transporte del MTC, la cual reconoce la necesidad de resolver la inconsistencia entre las etapas de distribución, partición modal y asignación cuando existen condiciones de congestión o cambios relevantes en la operación de la red.

VERSIÓN PRELIMINAR

Bajo esta lógica, la retroalimentación permite que los tiempos, costos y flujos resultantes de la asignación sean incorporados nuevamente al proceso de estimación de la demanda, fortaleciendo la consistencia técnica del modelo y su capacidad para evaluar escenarios de intervención.

En consecuencia, el modelo de transporte del PMUS Chiclayo adopta un enfoque secuencial de cuatro etapas con retroalimentación, debido a que permite evaluar de manera más realista y consistente los efectos integrados de las políticas, proyectos y escenarios de movilidad urbana sostenible. Este enfoque mejora la capacidad del modelo para representar la interacción entre crecimiento urbano, oferta de transporte, congestión, costos generalizados, elección modal y asignación de flujos sobre la red.

8.3 Limitaciones, supuestos y restricciones del modelo

El Modelo Estratégico de Transporte — MET, constituye una herramienta de planificación macroscópica orientada al diagnóstico del sistema de movilidad urbana y a la evaluación comparativa de escenarios del PMUS. En ese sentido, sus resultados deben interpretarse dentro del alcance, supuestos y restricciones propios de un modelo estratégico de cuatro etapas con retroalimentación.

El modelo ha sido construido para representar patrones agregados de movilidad, relaciones origen-destino, reparto modal, cargas sobre la red vial, cargas de transporte público, tiempos de viaje, velocidades, niveles de saturación y efectos generales de escenarios futuros. Por tanto, no tiene como finalidad reproducir el comportamiento individual de cada usuario, vehículo o intersección, ni reemplaza estudios operacionales de detalle, microsimulación, diseño semafórico, análisis geométrico puntual o diseño operacional de rutas.

Limitaciones del modelo

Las principales limitaciones del MET son las siguientes:

Aspecto	Limitación	Implicancia
Escala de análisis	El modelo es macroscópico y estratégico.	Sus resultados son adecuados para análisis de red, corredores y zonas, no para maniobras puntuales o intersecciones específicas.
Periodo de modelación	El modelo representa periodos definidos de análisis, principalmente asociados a condiciones representativas de movilidad.	No reproduce minuto a minuto la variabilidad diaria completa del sistema.
Informació n de campo	La calibración depende de la cobertura, calidad y temporalidad de encuestas, aforos, FOV y velocidades observadas.	Los resultados deben leerse como una representación razonable de la realidad observada, no como una reproducción exacta de todos los flujos.
Zonificación	La demanda se concentra en centroides de ZAT.	Los viajes intrazonales o desplazamientos muy cortos pueden quedar agregados o simplificados.
Red vial	La red representa la infraestructura relevante para la modelación estratégica.	Vías locales menores o accesos específicos pueden estar simplificados si no inciden significativamente en los flujos principales.
Transporte público	La oferta se representa mediante rutas, frecuencias, capacidades, tarifas y tiempos promedio.	No reproduce variaciones operativas minuto a minuto, incumplimientos de frecuencia o irregularidades particulares de cada unidad.

VERSIÓN PRELIMINAR

Aspecto	Limitación	Implicancia
Transporte de carga	La carga se modela de manera agregada por tipología vehicular.	No representa cadenas logísticas individuales ni decisiones específicas de operadores.
Escenarios futuros	Los escenarios dependen de supuestos de crecimiento urbano, población, motorización, oferta vial y transporte público.	Los resultados son comparativos y prospectivos, sujetos a la validez de los supuestos adoptados.

VERSIÓN PRELIMINAR

Supuestos principales

Para la construcción y aplicación del modelo se adoptaron los siguientes supuestos técnicos:

- La movilidad urbana puede representarse de manera agregada mediante Zonas de Análisis de Tránsito — ZAT.
- Las matrices origen-destino representan patrones promedio de viaje para el periodo de modelación.
- Los tiempos de viaje, costos generalizados y niveles de servicio influyen en la distribución de viajes, elección modal y asignación.
- La red vial codificada reproduce los corredores principales y la conectividad funcional del ámbito de estudio.
- Las velocidades, capacidades y funciones volumen-demora permiten representar razonablemente el efecto de la congestión sobre los tiempos de viaje.
- La oferta de transporte público se representa mediante rutas, frecuencias, capacidades, tarifas y atributos operacionales promedio.
- Los datos observados de campo constituyen la base empírica para calibrar y validar el escenario base.
- Los escenarios prospectivos se construyen a partir de hipótesis de crecimiento urbano, evolución de la demanda, cambios en la oferta de transporte y medidas del PMUS.

Restricciones de uso e interpretación

Los resultados del MET deben utilizarse principalmente para:

- Diagnóstico general del sistema de movilidad.
- Identificación de corredores críticos.
- Evaluación de niveles de congestión y saturación.
- Análisis de reparto modal.
- Evaluación comparativa de escenarios.
- Priorización de medidas y proyectos del PMUS.
- Estimación de impactos estratégicos sobre la red vial y el transporte público.

No obstante, el modelo no debe emplearse de manera aislada para decisiones que requieran análisis operacional detallado, tales como programación semafórica, diseño geométrico de intersecciones, dimensionamiento definitivo de flota, ubicación final de paraderos, evaluación de colas, maniobras de giro o simulación microscópica de tráfico. Para dichos fines, los resultados del MET deben ser utilizados como insumo de estudios complementarios de mayor detalle.

Alcance de la confiabilidad del modelo

La confiabilidad del MET se sustenta en la integración de información territorial, socioeconómica, redes de transporte, matrices de demanda y datos observados de campo, así como en el proceso de calibración y validación realizado. En consecuencia, el modelo permite reproducir razonablemente los patrones principales de movilidad y las condiciones generales de operación del sistema de transporte de Chiclayo.

Sin embargo, como toda herramienta de modelación, sus resultados deben interpretarse como estimaciones técnicas sujetas a los supuestos adoptados, la calidad de los datos disponibles y la naturaleza prospectiva de los escenarios evaluados. Por ello, el modelo debe entenderse como una herramienta de soporte a la toma de decisiones, y no como una representación exacta e invariable de la realidad.

VERSIÓN PRELIMINAR

9 Componentes del Modelo de Transporte

En este capítulo se describen los principales componentes que conforman el Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo (MET), así como la forma en que estos han sido estructurados, configurados e integrados dentro del entorno de modelación. El propósito de esta sección es exponer, de manera ordenada y técnica, la arquitectura general del modelo, los supuestos adoptados para su construcción y los elementos fundamentales que permiten representar el funcionamiento del sistema de movilidad urbana en el ámbito de estudio.

La configuración del modelo responde a una lógica sistémica en la que interactúan de manera consistente la oferta de transporte, la demanda de viajes y la estructura territorial sobre la cual ambas se articulan. En este sentido, los componentes del modelo no deben entenderse como elementos aislados, sino como partes de una misma estructura analítica, donde la zonificación, la red vial, la red de transporte público, las matrices origen-destino, los parámetros de costo y las funciones de desempeño operan de manera interdependiente para reproducir el comportamiento observado del sistema y sustentar la evaluación de escenarios.

Bajo esta lógica, el presente capítulo desarrolla los componentes esenciales del modelo, abordando la estructura territorial, la configuración del modelo de oferta, la construcción del modelo de demanda y el procesamiento de la información primaria y secundaria utilizada en la modelación. De este modo, se establece la base técnica sobre la cual se soporta la implementación del modelo secuencial de cuatro etapas con retroalimentación adoptado para el PMUS de Chiclayo.

9.1 Ámbito de estudio

El ámbito de estudio del Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo (MET) constituye la base territorial sobre la cual se estructura el modelo de oferta y, en consecuencia, el soporte espacial indispensable para la representación de la movilidad urbana y regional que interactúa con la ciudad. Su definición no responde únicamente a un criterio administrativo, sino a una lógica funcional orientada a captar de manera consistente los principales flujos de viaje, las relaciones de conectividad, los corredores de articulación y las dinámicas territoriales que inciden sobre la red vial y el sistema de transporte público. Bajo este enfoque, el ámbito de modelación fue delimitado de forma que permita representar no solo la movilidad interna del continuo urbano principal, sino también las relaciones de intercambio con sectores periurbanos, áreas de expansión y accesos externos relevantes.

En concordancia con los Términos de Referencia y con el análisis territorial desarrollado para el modelo, el ámbito de estudio toma como núcleo principal a los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca, incorporando adicionalmente aquellas áreas funcionalmente vinculadas cuya interacción cotidiana resulta necesaria para comprender la estructura real de la

movilidad urbana. Esta delimitación reconoce que el sistema urbano opera como una unidad funcional continua, donde los desplazamientos por trabajo, estudio, comercio, servicios y otras actividades trascienden los límites político-administrativos y requieren una representación integrada dentro del modelo.

Desde el punto de vista metodológico, la construcción del modelo de oferta dentro de este ámbito se sustentó en la integración de una base geográfica única en entorno GIS, desarrollada en TransCAD, a partir de la cual se articularon la red vial, la red de transporte público, la zonificación, los centroides, los conectores y las tablas de atributos asociadas. Esta base georreferenciada permitió asegurar la correspondencia espacial y funcional entre los distintos componentes del modelo, evitando inconsistencias entre capas y garantizando que la representación de la oferta responda a una misma estructura territorial. La metodología aplicada comprendió la revisión y consolidación de información cartográfica, la depuración topológica de redes, la vinculación de atributos operacionales y la verificación de conectividad entre zonas, nodos y corredores estructurantes.

Sobre esta base territorial se incorporaron los principales atributos requeridos para la modelación de la oferta, entre ellos la jerarquía vial, la longitud de enlaces, las velocidades de flujo libre, las capacidades, los sentidos de circulación, las penalidades operativas, la localización de nodos, conectores y centroides, así como los atributos propios de la red de transporte público, tales como rutas, itinerarios, paradas, frecuencias, tiempos de operación, accesos, egresos y criterios de transferencia. De manera complementaria, se incorporaron parámetros de modelación vinculados al costo generalizado de viaje, las funciones volumen-demora, los tiempos de caminata, los tiempos de espera, las restricciones de circulación y demás valores necesarios para representar el desempeño de la red bajo condiciones de carga. En este sentido, el ámbito de estudio no solo define el perímetro del modelo, sino también el espacio dentro del cual se calibran y aplican las funciones, parámetros y relaciones que estructuran el modelo de oferta.

La definición del ámbito también consideró las particularidades físicas y funcionales del territorio. En el caso de Chiclayo, la configuración del sistema urbano, la presencia de corredores viales estructurantes, las áreas de expansión periférica y las relaciones de intercambio con ámbitos metropolitanos y regionales condicionan la conectividad y la distribución de los flujos. Por ello, el ámbito de estudio fue delimitado con criterio predictivo y operativo, de manera que permita representar adecuadamente tanto la movilidad concentrada en el continuo urbano principal como las relaciones con zonas de borde, expansión y accesos externos. Esta decisión resulta fundamental para evitar que la construcción de la oferta subestime la influencia de corredores regionales, movimientos de intercambio y condicionantes espaciales que afectan el funcionamiento del sistema de transporte.

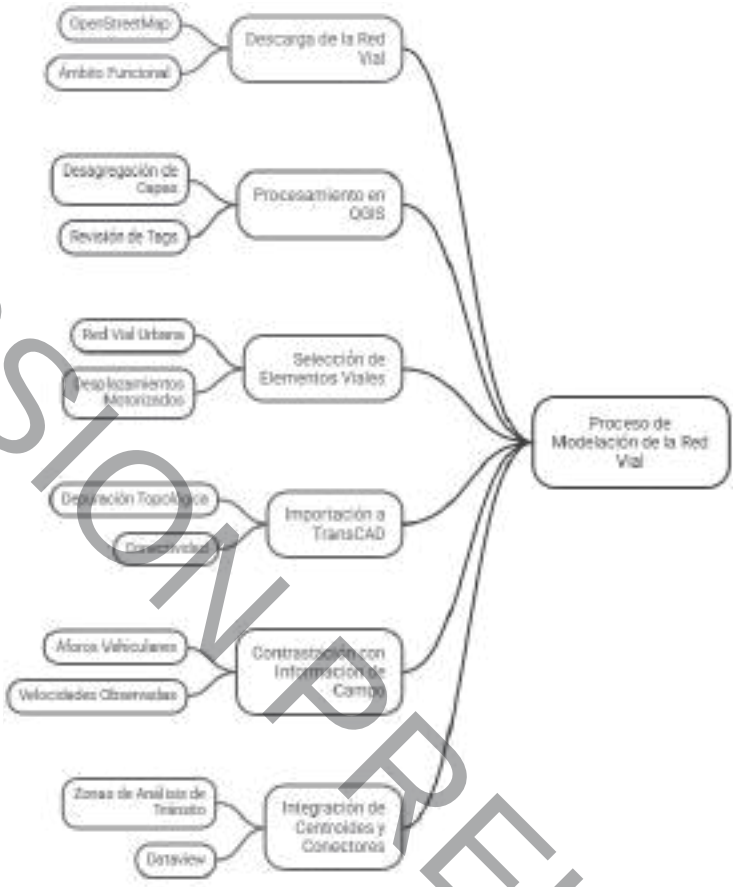
En consecuencia, el ámbito de estudio constituye el marco espacial a partir del cual se organizan los componentes físicos del modelo de oferta. Sobre esta estructura se desarrollan, en los numerales siguientes, la red vial, la red de rutas de transporte público y las Zonas de Análisis de Transporte, que conforman de manera integrada la representación operativa del sistema de movilidad de Chiclayo. De este modo, la delimitación territorial adoptada no solo cumple una función descriptiva, sino que se consolida como una decisión metodológica central para garantizar la consistencia interna del modelo y la validez de sus resultados tanto en la calibración del escenario base como en la evaluación de escenarios futuros.

9.1.1 Metodología de exportación OSM – Open Street Maps

La construcción de la red vial del MET se desarrolló mediante un proceso progresivo de obtención, depuración, transformación, validación y parametrización de información geoespacial. Como insumo inicial se utilizó la red vial disponible en OpenStreetMap — OSM, debido a su cobertura territorial, nivel de detalle geométrico y disponibilidad de atributos asociados a la vialidad urbana, tales como categoría vial, número de carriles, velocidad referencial, sentido de circulación y otros *tags* complementarios.

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 12: Proceso de Modelación de la Red Vial



Fuente: Elaboración propia

El uso de OSM permitió contar con una primera base cartográfica georreferenciada de la red vial existente. No obstante, esta información no fue incorporada directamente al modelo, sino que fue sometida a un proceso de revisión, depuración y validación, con el fin de convertirla en una red vial operativa apta para procesos de modelación y asignación en TransCAD 10.0.

Etapa	Procedimiento desarrollado	Producto obtenido
1. Descarga de red base OSM	Se descargó la información vial del ámbito funcional de Chiclayo desde OpenStreetMap.	Red vial preliminar georreferenciada.
2. Desagregación de capas	La información OSM fue procesada en QGIS, separando capas de líneas, puntos, vías, zonas y elementos auxiliares.	Capas geográficas diferenciadas.
3. Revisión de atributos OSM	Se revisaron los *tags* disponibles: categoría vial, carriles, velocidad, sentido de circulación y otros atributos.	Base preliminar de atributos viales.

VERSIÓN PRELIMINAR

Etapa	Procedimiento desarrollado	Producto obtenido
4. Selección de red modelable	Se filtraron los segmentos relevantes para la modelación vehicular, descartando elementos no aplicables.	Red vial seleccionada para modelación.
5. Conversión de formatos	Las capas seleccionadas fueron convertidas a formatos compatibles, como GeoJSON o shapefile.	Red preparada para su importación.
6. Importación a TransCAD	La red fue importada a TransCAD 10.0 para su estructuración como red de transporte.	Capa vial editable en TransCAD.
7. Depuración topológica	Se revisó conectividad, continuidad de enlaces, nodos, intersecciones, duplicidades, sentidos y links desconectados.	Red depurada y conectada.
8. Tratamiento de intersecciones y puentes	Se diferenciaron cruces reales, pasos a desnivel, puentes y discontinuidades físicas.	Red con intersecciones válidas para asignación.
9. Validación con información de campo	Se contrastó la red con aforos, velocidades observadas, imágenes satelitales, recorridos y revisión funcional de corredores.	Red ajustada a condiciones locales.
10. Integración con ZAT	Se incorporaron centroides y conectores para vincular las zonas de tránsito con la red vial.	Red compatible con matrices origen-destino.
11. Parametrización del Dataview	Se incorporaron atributos técnicos: longitud, jerarquía, carriles, velocidad, capacidad, sentido, VDF y penalidades.	Dataview operativo para modelación.
12. Verificación final	Se realizaron pruebas de conectividad, rutas mínimas, tiempos de viaje y consistencia de atributos.	Red vial final lista para asignación.

VERSIÓN PRELIMINAR

9.1.2 Red Vial

La red vial del Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo (MET) constituye el componente del modelo de oferta encargado de representar la estructura física y funcional del sistema de circulación sobre el cual se asignan los viajes en transporte privado, transporte público y transporte de carga. Su construcción se desarrolló en el entorno TransCAD a partir de la codificación de enlaces, nodos, sentidos de circulación, jerarquía funcional, número de carriles, velocidades de flujo libre, capacidades y parámetros de desempeño asociados a la operación vial.

Esta red permite modelar la conectividad del territorio, estimar impedancias de viaje, calcular costos generalizados y representar el efecto de la congestión sobre el funcionamiento del sistema.

La red contiene 19,442 registros de enlaces, los cuales conforman una red con una longitud total aproximada de 1,587.18 km. Considerando la operación efectiva por sentido de circulación, la red alcanza una longitud de 3,173.23 km-dirección, equivalente a 3,478.72 carril-km. Esta magnitud evidencia que el modelo dispone de una base vial suficientemente extensa y detallada para representar la movilidad urbana del ámbito de estudio, incluyendo tanto corredores estructurantes como la malla vial de soporte local.

Desde el punto de vista de la clasificación funcional, la red presenta un marcado predominio de vías de carácter local. La categoría residential concentra aproximadamente 72.1% de la longitud total de la red, lo que confirma una estructura urbana fuertemente apoyada en calles residenciales y vías de acceso local. Le siguen las vías terciarias con 13.9%, las vías trunk con 5.4%, las primary con 3.1% y las secondary con 2.0%. Esta distribución refleja una red predominantemente capilar, acompañada por un conjunto más reducido de corredores de mayor jerarquía que cumplen funciones estructurantes para la movilidad urbana y los flujos de articulación interzonal.

Desde la perspectiva de modelación, la red vial fue parametrizada mediante funciones de desempeño del tipo volumen-demora, incorporando valores de capacidad, velocidad de flujo libre y parámetros de fricción que permiten actualizar los tiempos de viaje en función de la carga asignada. En la base analizada predominan configuraciones VDF con alpha = 4 y beta = 3.35, aunque en corredores de mayor jerarquía se observan ajustes diferenciados, lo que indica un tratamiento funcionalmente coherente según tipo de vía. Esta parametrización resulta metodológicamente relevante, ya que permite representar el deterioro progresivo de las condiciones de circulación a medida que aumentan los volúmenes vehiculares, constituyendo así uno de los insumos centrales para la asignación del tráfico privado y la retroalimentación del modelo.

En consecuencia, la red vial del MET de Chiclayo no cumple únicamente una función cartográfica o descriptiva, sino que constituye uno de los componentes fundamentales para la representación del sistema de movilidad urbana. Su nivel de detalle, su parametrización operativa y su articulación con los demás componentes del modelo la convierten en la base técnica sobre la cual se sostiene la estimación de costos, la asignación de flujos y la evaluación de escenarios del PMUS.

La codificación de capacidades confirma esta configuración predominantemente urbana y de sección reducida. La capacidad varía desde los 900 veh/hora/carril hasta los 1900 veh/hora/carril, dependiendo de la funcionalidad y clasificación vial.

Tabla 2: Atributos principales de la red vial

Atributo	Tipo	Descripción
Length	Real	Longitud del arco en kilómetros
Tipo	Entero	Código de tipo de vía (1000-9000)
AB_Carril	Entero	Número de carriles dirección A-B
BA_Carril	Entero	Número de carriles dirección B-A
AB_Vel	Real	Velocidad de flujo libre A-B (km/h)
BA_Vel	Real	Velocidad de flujo libre B-A (km/h)
AB_Cap	Real	Capacidad por carril (veh/h)
BA_Cap	Real	Capacidad por carril (veh/h)
AB_Capac	Real	Capacidad total
BA_Capac	Real	Capacidad total
AB_Alpha	BA_Capac	Parámetros Alpha de la función flujo demora (VDF)
BA_Alpha	BA_Capac	
Ab_Beta	BA_Capac	Parámetros Beta de la función flujo demora (VDF)
BA_Beta	BA_Capac	

Para la clasificación vehicular se utilizó información del PDM y trabajos de campo de levantamiento de cantidad vehicular y velocidades, para la subdivisión de la clasificación y el cálculo de factores de relación entre velocidad privada y velocidad pública.

VERSIÓN PRELIMINAR

Las vías se clasifican según su función en el sistema vial mediante el campo grupo:

Tabla 3: Clasificación funcional de vías

Grupo	Tipo de via	a	b	Capacidad	Factor Vel. Priv-Pub
1	AutopistaRegional/Nacional/Via expresa	4.00	2.00	1900	0.88
2-3	Vía arterial	2.55-4.00	2.65-3.35	1400-1900	0.76
4	Vía colectora	1.38-2.5	3.00-3.20	900-1400	0.75
5-6	Vía local y accesos	3.00	2.5	800-1000	0.74
7	Conectores centroide				

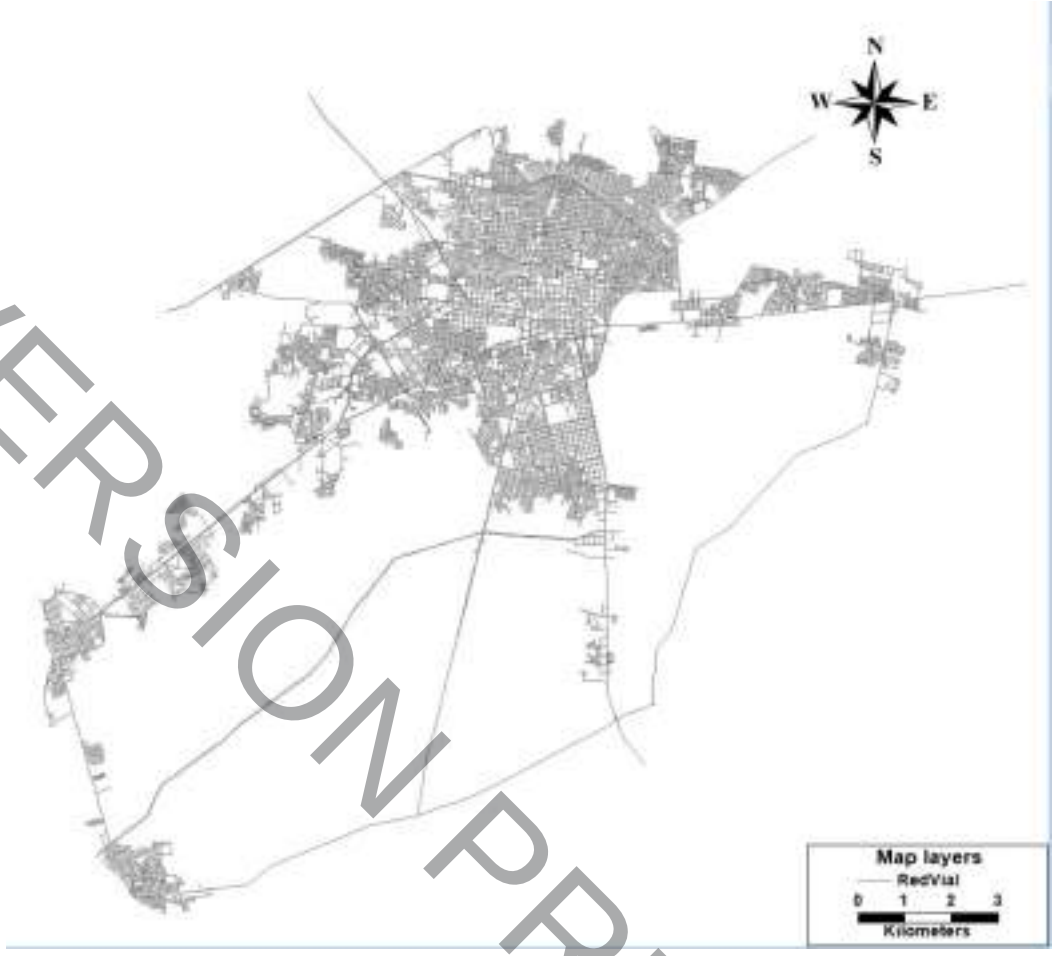
El cálculo del factor de relación Velocidad del transporte público / velocidad del transporte privado, se obtuvieron con los datos tomados de campo.

Tabla 4: Factor relación - velocidad del transporte público / velocidad del transporte privado

Tipo vía	Velocidad Pública	Velocidad Privada	Ratio
LOCAL	18.44	24.77	0.74
VÍA ARTERIAL	22.40	29.44	0.76
VÍA COLECTORA	20.34	26.96	0.75
VÍA EXPRESA NACIONAL	44.71	50.82	0.88
VÍA EXPRESA REGIONAL	29.66	33.55	0.88

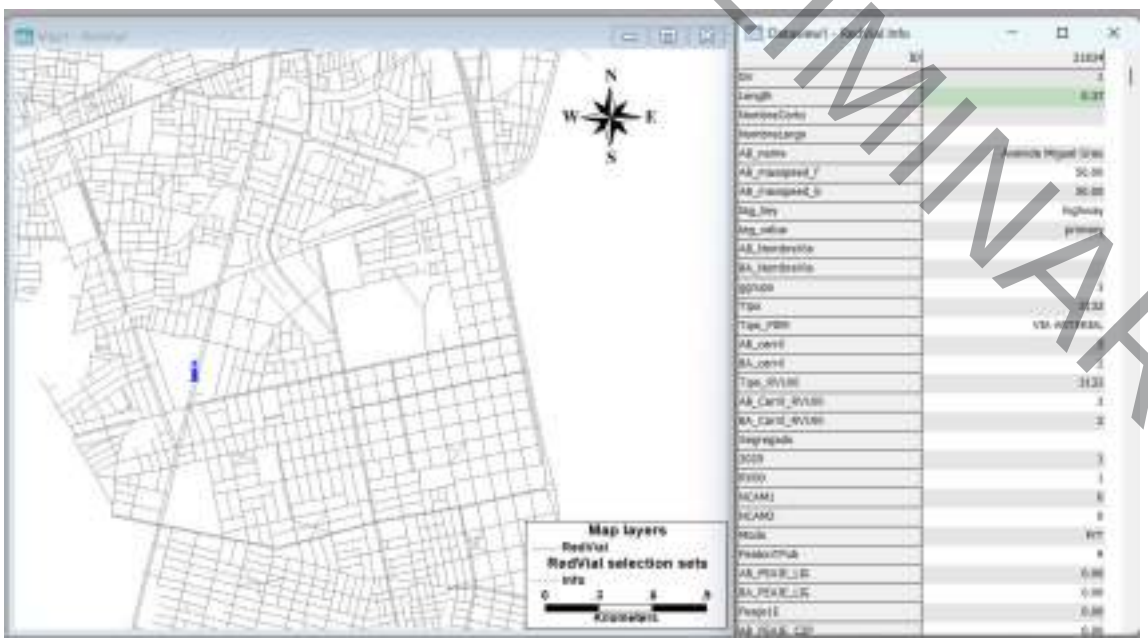
Figura 13: Red vial MET

VERSIÓN PRELIMINAR



Fuente: Elaboración propia

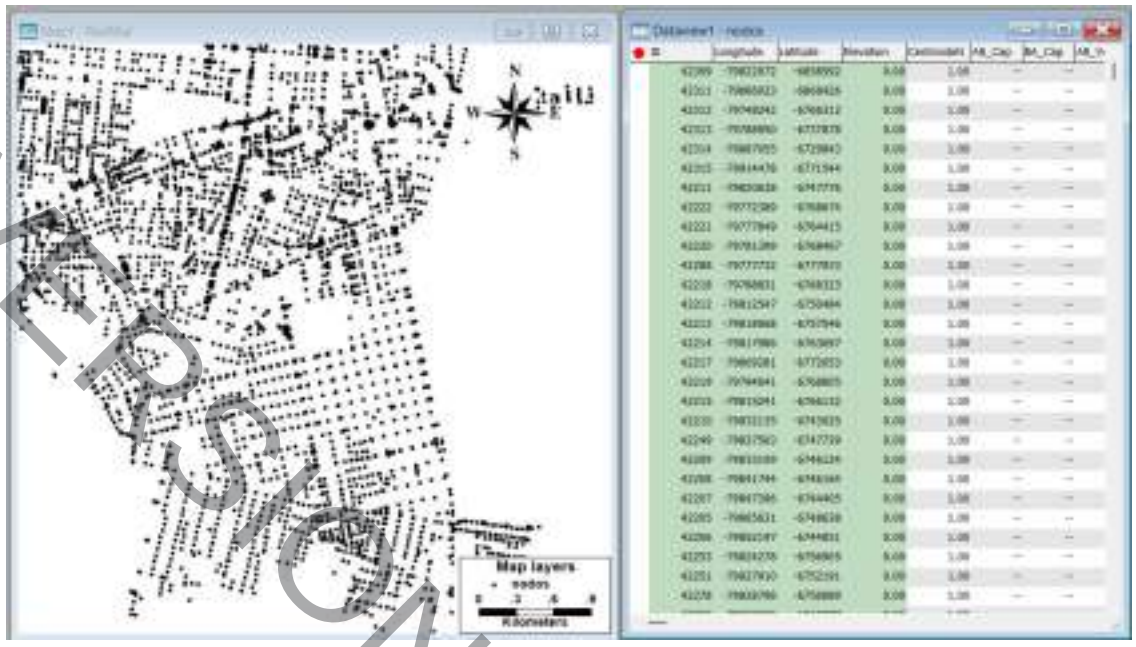
Figura 14: Red vial – Dataview MET



Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 15: Nodos asociados a la Red vial – Dataview MET



Fuente: Elaboración propia

Función de Volumen de Demora (VDF)

La función volumen-demora (VDF) se utiliza en el proceso de modelación del MET Chiclayo para representar el incremento del tiempo de viaje en los enlaces de la red vial a medida que aumenta la relación volumen/capacidad. Para ello, se adoptó una formulación tipo BPR, ampliamente utilizada en modelación macroscópica del transporte.

Se calcula mediante la función BPR:

$$t(v) = k_4 * t_0(1 + \alpha(v/c)^{\beta})$$

t(v) = tiempo de viaje del enlace congestionado.

t0 = tiempo de flujo libre del enlace.

α, β = parámetros de calibración de la función volumen-demora.

C = capacidad del enlace, expresada en unidades de vehículo equivalente por hora.

K_4= parámetro de calibración aplicado a la función volumen-demora (por defecto a 1.15).

Esta formulación es ampliamente utilizada en modelación macroscópica del transporte y resulta adecuada para representar de manera agregada el deterioro progresivo de las condiciones de circulación a medida que aumenta la relación volumen/capacidad. Su utilización en el modelo permitió incorporar al proceso de asignación el efecto de la congestión sobre la elección de rutas y, posteriormente, sobre las impedancias que retroalimentan las etapas de distribución y partición modal.

Tabla 5: Parámetros de la función flujo-demora

VERSIÓN PRELIMINAR

Grupo	Tipo de vía	a	b	Capacidad
1	Autopista regional / nacional / vía expresa	4.00	2.00	1900
2-3	Vía arterial	2.55-4.00	2.65-3.35	1400-1900
4	Vía colectora	1.38-2.5	3.00-3.20	900-1000
5-6	Vía local y accesos	3.00	2.5	900-1000
7	Conectores centroide			

Valor Subjetivo del tiempo (VOT)

El Valor Subjetivo del Tiempo (VOT) se utiliza para homogeneizar los distintos componentes del costo generalizado de viaje empleados en los algoritmos de asignación de TransCAD. Este parámetro permite convertir los costos monetarios del desplazamiento, como tarifas, peajes, estacionamiento o costos operativos, en unidades equivalentes de tiempo, facilitando la comparación entre modos y rutas.

Para el MET de Chiclayo, el VOT fue estimado a partir del procesamiento de las Encuestas de Preferencias Declaradas (EPD) aplicadas a usuarios de transporte público y transporte privado. A partir de estas encuestas se evaluó la sensibilidad de los viajeros frente a variaciones de tiempo y costo, obteniéndose valores diferenciados que fueron incorporados en las funciones de costo generalizado del modelo.

Tabla 6: Valor subjetivo del tiempo

Categoría	VOT (S/ /Min)
Autos	0.291
Transporte público	0.0455

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Estadísticos del VOT privado

Name	Value	Std err	t-test	p-val	Rob. std err	Rob. t-test	Rob. p-val
ASC_TPrv	-1.421	0.287	-4.95	0.000	0.291	-4.88	0.000
B_Cost	-1.833	0.214	-8.57	0.000	0.219	-8.37	0.000
B_Time	-0.568	0.091	-6.24	0.000	0.093	-6.11	0.000

Tabla 8: Estadísticos del VOT público

Utility parameters
****

Name	Value	Std err	t-test	p-val	Rob. std err	Rob. t-test	Rob. p-val
BetaC	-5.34	0.0635	-84.12	0.00	0.0489	-109.33	0.00
BetaT	-0.243	0.00581	-41.87	0.00	0.00566	-42.97	0.00

Ambos modelos presentan coeficientes estadísticamente aceptables y consistentes con el comportamiento esperado de los viajeros urbanos, ya que:

- los signos son correctos (negativos para tiempo y costo),

VERSIÓN PRELIMINAR

- los estadísticos t superan ampliamente los valores críticos (superior a ±1.96 para un nivel de confianza del 95%)
- y los p-valores son menores a 0.05.

Esto indica que los modelos logit calibrados poseen una adecuada capacidad explicativa para representar las decisiones de elección modal entre transporte privado y transporte público.

El VOT para el transporte pesado se obtuvo mediante el tratamiento de las encuestas O/D de interceptación, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 9: Valor del tiempo

TIPO	MEDIA (S/H)	MEDIANA (S/H)	STD	CV	VOT (S/ Min)
C2L	61.34	54.8	15.9	0.26	0.98
C2P	58.67	53.3	13.8	0.23	1.02

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos para los vehículos pesados tipo C2L y C2P presentan una distribución estadística estable y consistente, lo que permite considerar que los valores del tiempo de viaje (VOT) son razonables y adecuados para aplicaciones de modelación y asignación de tráfico.

Los coeficientes de variación obtenidos:

- C2L = 0.26
- C2P = 0.23

pueden considerarse buenos para estudios de VOT, debido a que se encuentran por debajo de 0.30, rango que normalmente indica baja dispersión relativa y alta confiabilidad estadística. Esto implica que los valores promedio calculados representan adecuadamente el comportamiento general de los vehículos pesados analizados.

Asimismo, los indicadores VOT:

- C2L = 0.98
- C2P = 1.02

mantienen coherencia técnica y económica, reflejando una mayor sensibilidad temporal para los vehículos C2P respecto a los C2L. La diferencia entre ambos grupos es razonable y consistente con las características operativas esperadas en transporte de carga.

Centroides y conectores

Como parte de la estructura operativa asociada a la red vial, el modelo incorpora centroides y conectores, elementos que no representan infraestructura física real, sino componentes funcionales necesarios para vincular la zonificación con la red de transporte. En la base vial se crearon 761 enlaces clasificados como conectores, los cuales constituyen los puntos de enlace entre las zonas de análisis y la red vial modelada.

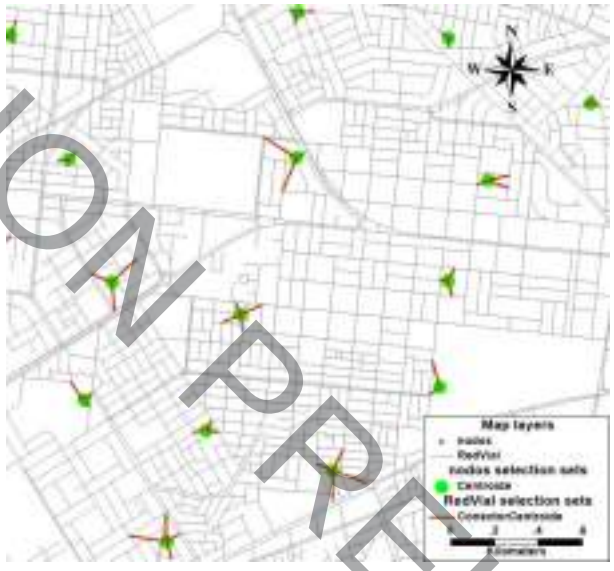
Por otro lado, en la capa de nodos se crearon 104 centroides, uno por cada ZAT del modelo. Estos representan de manera abstracta el punto de concentración de los viajes producidos y atraídos dentro de cada zona, mientras que los conectores corresponden a enlaces artificiales que permiten cargar y descargar dichos viajes desde el centroide hacia la red vial y viceversa.

VERSIÓN PRELIMINAR

Su función dentro del modelo es fundamental, ya que hacen posible la conexión operativa entre la demanda zonal y la oferta de transporte, permitiendo que los viajes generados en cada zona puedan distribuirse, elegir modo y asignarse sobre la red. En consecuencia, estos elementos no deben interpretarse como vías reales, sino como recursos de modelación indispensables para garantizar la conectividad del sistema y la correcta representación de los accesos a la red.

- **Centroide**: punto abstracto que representa, dentro del modelo, el origen y destino agregado de los viajes de una zona de análisis de transporte.
- **Conector:** enlace artificial que vincula el centroide de una zona con la red vial modelada, permitiendo cargar y descargar viajes hacia el sistema de transporte.

Figura 16: Representación de los conectores y Centroides en la red vial



Fuente: Elaboración propia

9.1.3 Red de Rutas del Transporte Público

La red de rutas de transporte público del Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo (MET) constituye el componente de oferta encargado de representar la estructura operativa del sistema de transporte colectivo dentro del ámbito de estudio. Su construcción se desarrolló en el entorno TransCAD a partir de la codificación de itinerarios, sentidos de circulación, tipología vehicular, frecuencias de operación, capacidades, indicadores de desempeño y atributos asociados a la explotación del servicio. Esta red permite modelar la accesibilidad del transporte público, estimar costos generalizados de viaje, construir hiperrutas y asignar la demanda sobre el sistema de transporte colectivo de manera consistente con las condiciones operativas observadas.

Metodología para la incorporación del sistema de rutas de transporte público al modelo de transporte

Para la representación del sistema de transporte público del escenario actual de Chiclayo, se desarrolló un proceso metodológico orientado a construir, validar y codificar las rutas de transporte público dentro del entorno **TransCAD**, de manera que estas puedan ser utilizadas posteriormente en los procesos de análisis de cobertura, estimación de tiempos de viaje, cálculo de costos generalizados y asignación de demanda de transporte público.

VERSIÓN PRELIMINAR

La metodología se sustentó en la información recolectada en campo, principalmente a partir del inventario de rutas, trazados GPS/KMZ, registros de recorridos, tiempos de viaje, puntos de embarque y desembarque, y observaciones operativas del servicio. Esta información permitió reconstruir los itinerarios reales de operación de las rutas, diferenciando los recorridos de ida y vuelta, así como sus principales características funcionales.

Figura 17: Metodología para la incorporación de rutas de transporte público al modelo de transporte

Fuente: Elaboración propia

a) Organización y depuración de la información de campo

En primer lugar, se procedió a organizar los archivos recolectados durante el levantamiento de campo, clasificándolos por código de ruta, sentido de circulación e información operativa asociada. Para cada ruta se revisaron los archivos de trazado disponibles, principalmente en formatos **GPX** y **KMZ**, verificando que correspondieran al recorrido observado en campo y que permitieran identificar de manera clara los tramos utilizados por las unidades de transporte público.

Asimismo, se revisaron los registros complementarios de tiempos de viaje, embarque y desembarque, puntos de control y observaciones levantadas durante el inventario. Esta etapa permitió consolidar una base ordenada de insumos para el posterior dibujo y codificación de rutas en el modelo.

b) Preparación de la red vial base

Previo al trazado de las rutas, se utilizó la red vial modelada en TransCAD como soporte espacial del sistema de transporte público. Esta red fue previamente georreferenciada, conectada y codificada con atributos funcionales, tales como tipo de vía, jerarquía vial, sentido de circulación, velocidad, capacidad y conectividad entre nodos.

La revisión de la red vial base permitió asegurar que los recorridos de transporte público fueran incorporados sobre una infraestructura vial consistente con el modelo de transporte. En los casos en que los trazados de campo identificaron recorridos por vías no representadas o con problemas de conectividad, se procedió a revisar y ajustar la red, garantizando que las rutas pudieran ser modeladas de manera continua.

VERSIÓN PRELIMINAR

c) Digitalización de rutas en TransCAD

Con la red vial preparada, se procedió al trazado de las rutas de transporte público mediante la herramienta **Route System** de TransCAD. Cada ruta fue digitalizada seleccionando secuencialmente los links de la red vial que forman parte del itinerario real observado en campo.

El trazado se realizó diferenciando los recorridos por sentido, es decir, ida y vuelta, debido a que en muchos casos las rutas presentan variaciones operativas asociadas a sentidos viales, giros permitidos, pares viales, retornos o recorridos diferenciados en zonas terminales. Esta diferenciación permite representar con mayor precisión la operación real del sistema y evita asumir recorridos simétricos que no necesariamente se verifican en campo.

Durante esta etapa, los archivos GPX/KMZ fueron utilizados como referencia espacial para guiar el dibujo de cada ruta sobre la red vial del modelo, procurando que el trazado final se apoye sobre los links efectivamente utilizados por el servicio.

d) Codificación de atributos operativos

Una vez digitalizadas las rutas, se procedió a la asignación de atributos básicos y operativos necesarios para su uso dentro del modelo de transporte. Entre los principales atributos considerados se incluyen:

- Código de ruta.
- Nombre o identificación del servicio.
- Empresa operadora, cuando la información estuvo disponible.
- Sentido del recorrido: ida o vuelta.
- Origen y destino operativo.
- Tipo de servicio.
- Longitud del recorrido.
- Tiempo de viaje observado o estimado.
- Velocidad comercial.
- Frecuencia o intervalo de paso.
- Capacidad vehicular referencial.
- Periodo de análisis asociado, principalmente Hora Punta de la Mañana.
- Fuente de información utilizada para el trazado.
- Estado de validación del recorrido.

Esta codificación permite que las rutas no sean únicamente una representación gráfica, sino una estructura funcional para alimentar el modelo de transporte público. En particular, variables como tiempo de viaje, frecuencia, intervalo y velocidad comercial son relevantes para la estimación del costo generalizado y para la asignación de viajes en transporte público.

e) Verificación topológica y funcional de los trazados

VERSIÓN PRELIMINAR

Luego del trazado y codificación de las rutas, se realizó una verificación de consistencia espacial y topológica. Esta revisión tuvo como finalidad asegurar que las rutas se encuentren correctamente conectadas a la red vial, sin saltos, discontinuidades, tramos inconexos o recorridos incompatibles con los sentidos de circulación definidos en la red.

La verificación incluyó la revisión de los siguientes aspectos:

- Continuidad del recorrido desde el punto de origen hasta el punto de destino.
- Correspondencia entre el trazado en TransCAD y el itinerario levantado en campo.
- Coherencia con los sentidos de circulación de la red vial.
- Identificación de posibles errores de georreferenciación de los archivos GPX/KMZ.
- Revisión de terminales, retornos y puntos de cambio de sentido.
- Comparación de longitudes entre el trazado observado y el trazado modelado.
- Revisión de superposición de rutas sobre corredores principales.

Esta etapa resulta fundamental para evitar errores en la posterior asignación de demanda, ya que una ruta mal conectada o incorrectamente codificada puede distorsionar los tiempos de viaje, la cobertura del sistema y la elección de caminos dentro del modelo.

f) Validación con información observada

La validación de los trazados se realizó mediante la comparación entre los recorridos incorporados en TransCAD y la información recolectada en campo. Para ello, se contrastaron los itinerarios digitalizados con los archivos KMZ/GPX, los registros de inventario de rutas, los tiempos de viaje observados y los puntos de embarque y desembarque identificados durante el levantamiento.

Esta validación permitió verificar que el sistema de rutas representado en el modelo reproduzca adecuadamente la operación actual del transporte público en Chiclayo, tanto en términos espaciales como funcionales. Asimismo, permitió identificar corredores con alta superposición de rutas, zonas de concentración de servicios y sectores donde la cobertura del transporte público presenta mayor intensidad.

g) Consolidación del sistema de rutas de transporte público

Una vez concluido el proceso de trazado, codificación y validación, las rutas fueron consolidadas en un **Route System** de TransCAD. Este sistema constituye la base operativa del transporte público dentro del modelo y permite integrar la oferta del servicio con la red vial, las zonas de análisis de transporte y las matrices de demanda.

El sistema de rutas consolidado permite desarrollar análisis de cobertura, accesibilidad, tiempos de viaje, conectividad entre zonas, concentración de servicios por corredor y asignación de viajes en transporte público. Asimismo, constituye una base técnica para la evaluación de escenarios futuros, dado que permite modificar, eliminar, reorganizar o incorporar rutas según las propuestas de intervención del PMUS.

h) Uso de la red de rutas en la asignación de transporte público

VERSIÓN PRELIMINAR

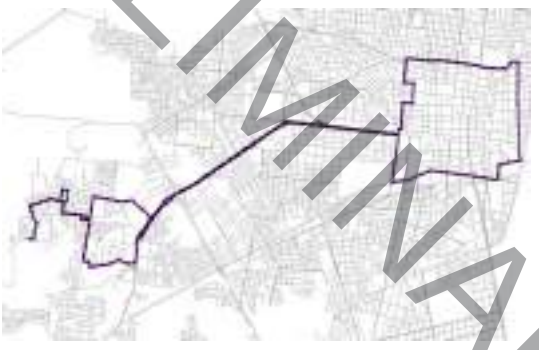
La red de rutas incorporada en TransCAD alimenta directamente el proceso de asignación de transporte público del modelo de demanda. A través de esta estructura, el modelo puede representar las alternativas disponibles para los usuarios, considerando los recorridos de las rutas, sus frecuencias, tiempos de viaje, velocidades comerciales, puntos de acceso y condiciones operativas.

De esta manera, el sistema de rutas permite estimar los caminos utilizados por los pasajeros, los niveles de carga por tramo, la demanda por servicio, los principales corredores de transporte público y los puntos de mayor concentración de viajes. En consecuencia, la correcta construcción y validación de esta red constituye un insumo esencial para representar el comportamiento actual del sistema y evaluar posteriormente los escenarios de mejora o reorganización del transporte público urbano.

Figura 18: Integración de las rutas de transporte público de pasajeros al modelo de transporte

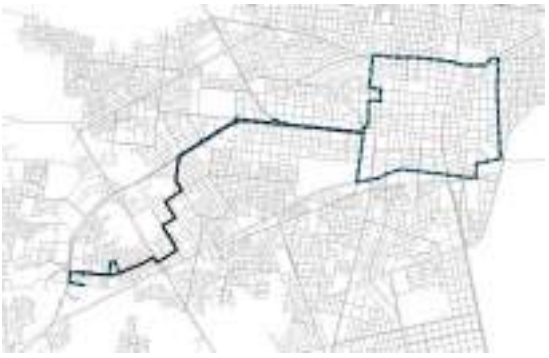
E.T. TUORS FERMI / Línea 16

EMTRASURCASA S.A / Línea 5 A

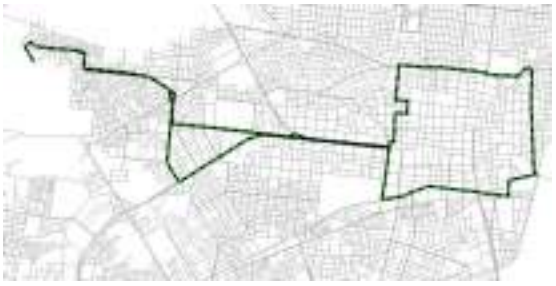


E.T. SERVICIOS / Línea 3 B

VERSIÓN PRELIMINAR



EL RALLY ./ Línea 4 B



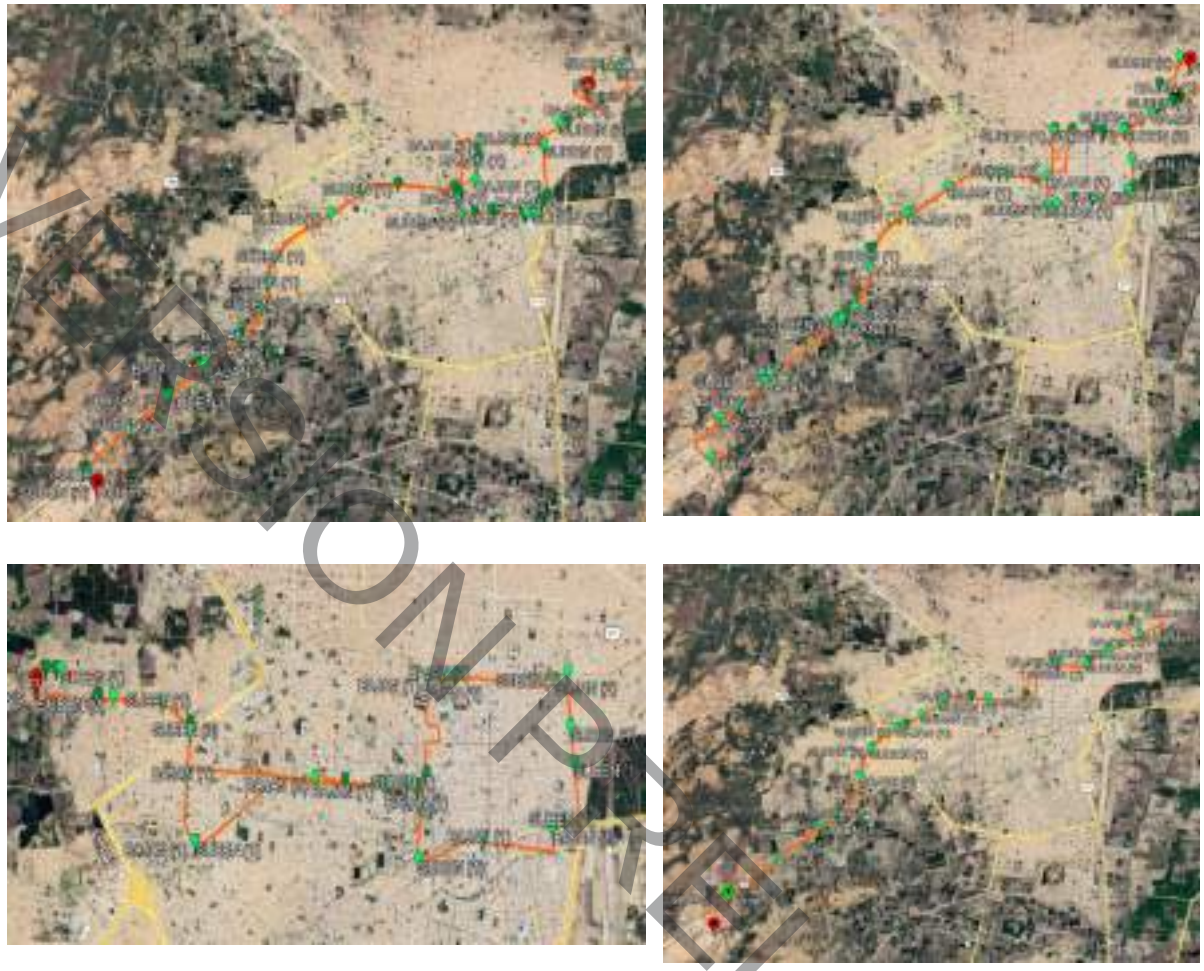
E.T. MULTISERVIC / Línea 9 - A

Fuente: Elaboración propia

Las ubicaciones de los paraderos de transporte público fueron definidas tomando como referencia la georreferenciación de los puntos de embarque y desembarque de pasajeros levantados en campo; posteriormente, esta información fue revisada, depurada y consolidada en la capa de stops del modelo de transporte, permitiendo asociar cada parada con su respectiva ruta, nodo de red y atributos operacionales necesarios para la representación del sistema de transporte público en TransCAD.

VERSIÓN PRELIMINAR

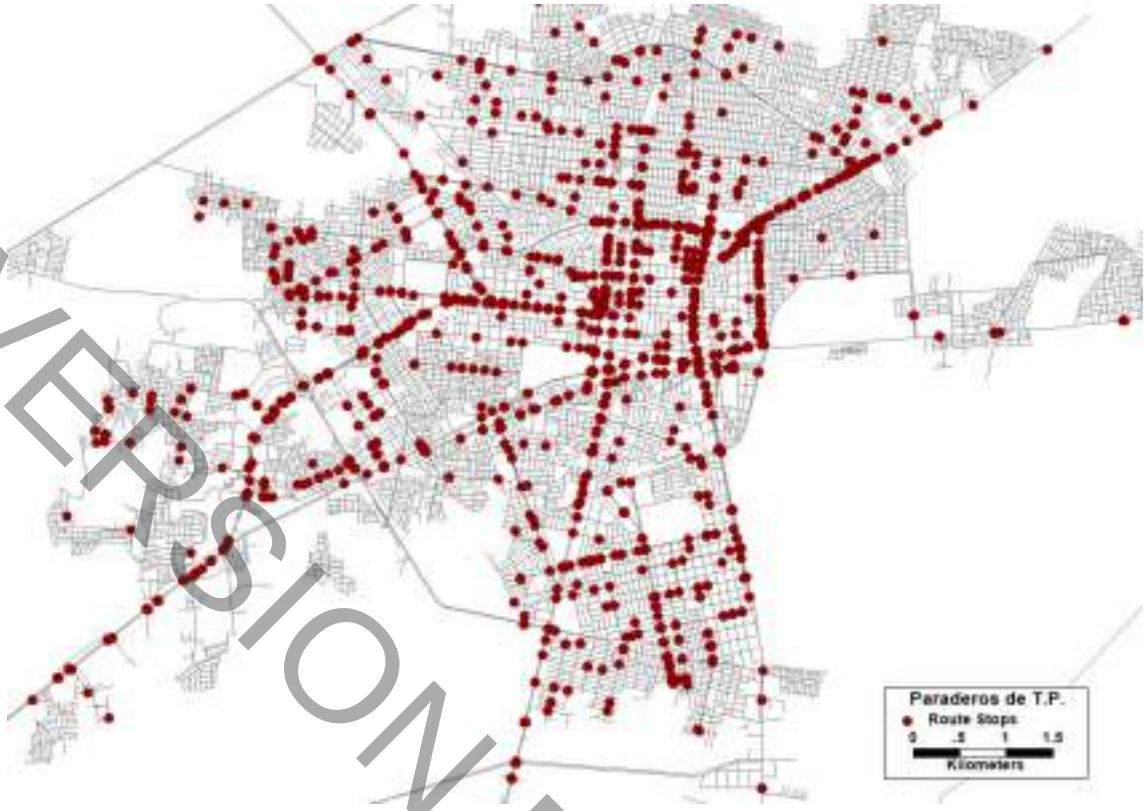
Figura 19: Localización de paraderos de transporte público - Campo



Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Localización de paraderos de transporte público - Campo

VERSIÓN PRELIMINAR



Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

Incorporación del sistema de rutas de transporte público al modelo de transporte

El dataview analizado contiene 100 registros de rutas direccionales, los cuales agrupan 30 empresas u operadores identificados. Esta estructura evidencia un sistema con presencia de múltiples prestadores y una oferta operativa distribuida entre distintas tipologías de servicio. Desde el punto de vista de la composición vehicular, la red está conformada por 58 rutas de auto colectivo, 41 rutas tipo CR y 1 ruta de minibús, lo que representa participaciones de 58.0%, 41.0% y 1.0%, respectivamente. En términos numéricos, ello muestra un predominio de los autos colectivos; sin embargo, el peso funcional del sistema no se explica únicamente por el número de rutas, sino también por su capacidad y demanda atendida.

La parametrización operativa del sistema muestra una diferenciación clara en términos de capacidad vehicular. Las rutas de auto colectivo presentan una capacidad unitaria de 5 pasajeros, las rutas CR una capacidad de 15 pasajeros, y la ruta de minibús una capacidad de 25 pasajeros. No obstante, el campo PCU ha sido homogeneizado en la base con un valor de 1.50 para todas las rutas, por lo que la diferenciación entre tipologías dentro del modelo se expresa principalmente a través de la capacidad vehicular, la frecuencia de operación y los indicadores de desempeño, más que por un tratamiento diferenciado del uso de espacio vial entre clases de vehículo. Metodológicamente, esta configuración permite representar de manera consistente la oferta del sistema, aunque con una simplificación en la equivalencia vehicular entre tipologías.

La operación de las rutas en hora punta de la mañana presenta una frecuencia promedio de 8.7 vehículos por hora, equivalente a un headway promedio de 8 minutos, con una mediana de 7 minutos. En términos generales, la oferta presenta una regularidad relativamente homogénea entre las principales tipologías: los autos colectivos registran una frecuencia media de 8.5 veh/h y un headway promedio de 8.2 min, mientras que las rutas CR muestran una frecuencia media de 8.7 veh/h y un headway de 8. min. La ruta de minibús, al corresponder a un solo registro, presenta una

frecuencia de 15 veh/h y un intervalo de 4 min, por lo que su interpretación debe entenderse como un caso puntual dentro del sistema y no como una pauta general de operación. Estos resultados sugieren que, en la base modelada, tanto los autos colectivos como los servicios CR operan con niveles de frecuencia relativamente similares, aunque con diferencias sustantivas en capacidad por vehículo.

Desde el punto de vista del desempeño operacional, la base registra una velocidad promedio de 15 km/h, valores consistentes con un sistema urbano de operación superficial que enfrenta fricción vial, interferencias operativas y tiempos de detención asociados al servicio. Por tipología, los autos colectivos presentan una velocidad media de 15.65 km/h, las rutas CR de 15.52 km/h y el minibús de 15.53 km/h. La reducida diferencia entre estos valores sugiere que, en el ámbito modelado, las distintas tipologías operan bajo condiciones viales relativamente similares, por lo que sus diferencias funcionales se explican más por capacidad, ocupación y productividad que por una velocidad claramente diferenciada.

Desde la perspectiva de la construcción del modelo, esta red de rutas fue configurada como una capa operativa que vincula itinerarios, frecuencias, capacidades e indicadores de desempeño con la red vial modelada. Ello permite que TransCAD construya los caminos factibles del transporte público y calcule matrices de skim asociadas a tiempo en vehículo, espera, acceso, egreso y transferencias. En consecuencia, la red no cumple únicamente una función descriptiva, sino que constituye uno de los insumos centrales para la estimación del costo generalizado del transporte público y para la asignación de pasajeros mediante el algoritmo Pathfinder.

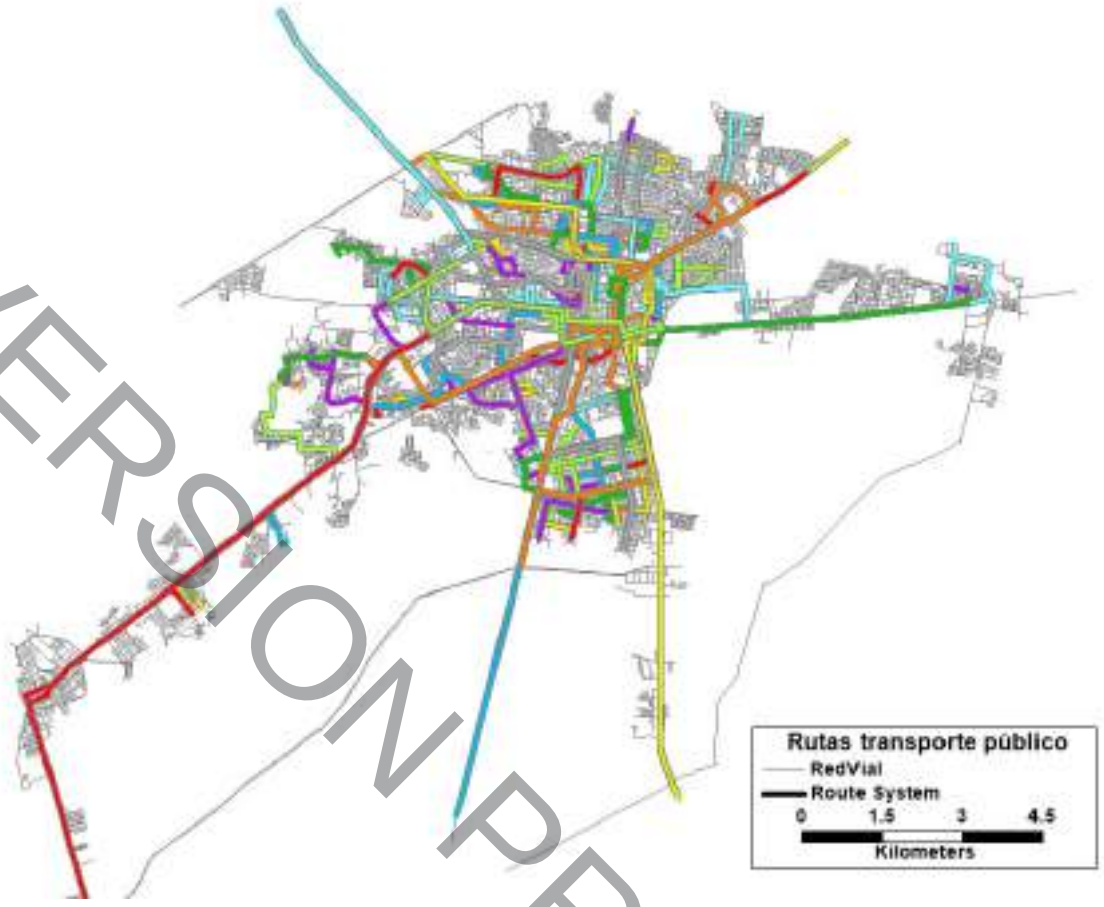
Principales atributos de la red de rutas de transporte público.

Tabla 10: Atributos de la red de transporte público

Atributo	Tipo	Descripción
Route Name	Caracter	Nombre de la ruta
Tipologia	Caracter	Cr, Micro bus, auto colectivo
FrecHPM	Real	Intervalo de paso
Capveh	Entero	Capacidad de pasajeros por vehículo
CapHPM	Entero	Capacidad de pasajeros por hora (60*capveh/FrecHPM)
PCU	Entero	Unidad de conversión patrón
ModoRuta	Entero	1= transporte público convencional y 2 = auto colectivo

Figura 21: Red de rutas de transporte público

VERSIÓN PRELIMINAR



Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 22: Dataview asociado a la red de rutas

Dataview1 - Route System

Route_ID	Route_Name	0500_2025	0800_2025	2025	PreciFPM	PCU	Capveh	Tipologia	CapFPM	Empresa
1	Linea16_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	E.T. TUORS FERMI
2	Linea15_RutaB	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	ETRAFAM EXPRESS
3	Linea15_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	ETRAFAM EXPRESS
5	Linea8_RutaB	1	1	1	10.00	1.50	15.00	CR	90.00	E.T. MULTIPLE SE
6	Linea8_RutaA	1	1	1	10.00	1.50	15.00	CR	90.00	E.T. MULTIPLE SE
7	LINEA7_RutaC	1	1	1	15.00	1.50	25.00	MINIBUS	100.00	E.T.LUGUEDA S.A.
8	LINEA7_RutaD	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	E.T.LUGUEDA S.A.
9	Linea6_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	E.T. MILAGRO DE
10	Linea5_RutaB	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRASURCASA S.A
11	LINEA5_RutaC	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRASURCASA S.A
12	Linea5_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRASURCASA S.A
13	Linea4_RutaB	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	EL RALLY
14	Linea3_RutaD	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	E.T. SERVICIOS
15	Linea3_RutaB	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	E.T. SERVICIOS
16	Linea3_RutaC	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	E.T. SERVICIOS
17	Linea1_RutaC	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRAFAM AVILA M
18	Linea1_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRAFAM AVILA M
19	Linea9_RutaA	1	1	1	6.00	1.50	15.00	CR	150.00	E.T. MULTISERVIC
20	CERROPON-RUTA A (#2)	1	1	1	7.00	1.50	15.00	CR	128.57	
21	CERROPON-RUTA B (#2)	1	1	1	7.00	1.50	15.00	CR	128.57	
22	CERROPON-RUTA C (#2)	1	1	1	7.00	1.50	15.00	CR	128.57	
23	CERROPON-RUTA D (#2)	1	1	1	8.00	1.50	15.00	CR	112.50	
24	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA A (#2)	1	1	1	8.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	37.50	
25	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA B (#2)	1	1	1	6.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00	
26	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA C (#2)	1	1	1	6.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00	
27	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA D (#2)	1	1	1	10.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	30.00	
28	EL MILAGRO DE SIPAN-RUTA A (#2)	1	1	1	10.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	30.00	
29	EL MILAGRO DE SIPAN-RUTA B (#2)	1	1	1	6.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00	
30	EL RALLY-RUTA A (#2)	1	1	1	6.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00	
31	EL RALLY-RUTA B (#2)	1	1	1	6.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00	
32	ELCHASQUE_A (#2)	1	1	1	9.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	33.33	
33	ELCHASQUE_B (#2)	1	1	1	9.00	1.00	5.00	AUTO COLECTIVO	33.33	

Fuente: Elaboración propia

Principales atributos de las paradas de transporte público.

Tabla 11: Atributos de las paradas de transporte público

Atributo	Tipo	Descripción
ID	Caracter	Código de la parada
Route ID	Caracter	Ruta asociada a la parada
Nodo	Real	Nodo asociado a la parada
Tarifa zonal	Entero	Tarifa zonal asociada a la parada

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 23: Nodos asociados a la Red de rutas – Dataview MET

Fuente: Elaboración propia

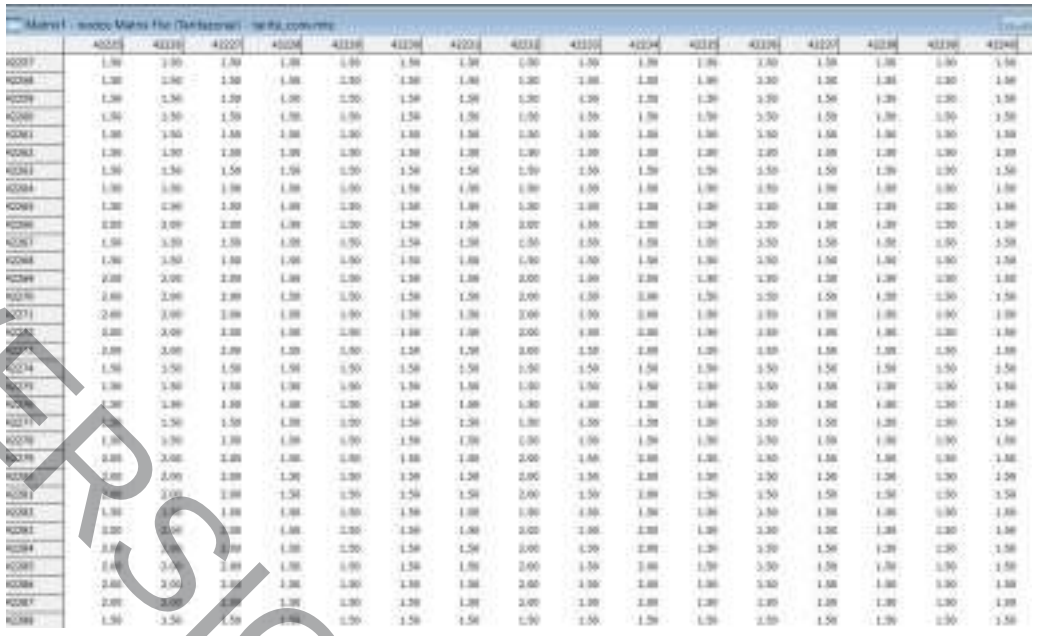
Tabla 12: Sistema de tarifas de transporte público - colectivo

Categoría	Servicio	Tarifa
Tarifas	Bus convencional	S/ 1.50 – S/ 2.00
Colectivo	Colectivo	S/ 2.50

A continuación, se presentan las matrices zonales de tarifa para las rutas de transporte público, el costo promedio y la distribución de los valores fueron obtenidos de los trabajos.

Figura 24: Tarifa zonal

VERSIÓN PRELIMINAR



9.1.4 ZAT

Las Zonas de Análisis de Tránsito (ZAT) constituyen el soporte territorial del Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo (MET), en la medida en que organizan espacialmente la representación de la demanda y permiten vincular, de manera consistente, la estructura urbana con la red vial, la red de transporte público y los procesos de asignación del modelo. Su función metodológica es desagregar el ámbito de estudio en unidades espaciales operativas suficientemente homogéneas para representar la generación, atracción, distribución y asignación de viajes. En términos del modelo, cada ZAT se asocia a un centroide y se conecta a la red vial mediante conectores, permitiendo que los viajes se carguen y descarguen sobre la red de oferta de forma coherente con la localización de la población y las actividades urbanas.

Se cuenta con 104 ZATs que corresponden a unidades zonales operativas con identificación válida. Dentro de este conjunto se distinguen 98 ZAT internas, que concentran la población y los hogares del ámbito urbano modelado, y 6 ZAT externas, identificadas explícitamente como zonas de intercambio. Esta configuración evidencia una capa de zonificación diseñada para representar tanto la movilidad interna del sistema urbano principal como los flujos de intercambio que ingresan o salen del área de estudio.

Desde el punto de vista de la estructura de datos, la base contiene 17 campos originales, entre los que destacan variables de identificación general y zonal, tales como ID, Name, ID_ZAT, MACRO_ZAT e ID:1; atributos geométricos como Área; y variables demográficas fundamentales como POBLACION y HOGARES. Se incorporan además algunos campos auxiliares de descripción y procedencia cartográfica, como Description, Nombre y KML Folder. Esta estructura muestra que la capa de ZAT fue concebida no solo como soporte geográfico de la modelación, sino también como contenedor de atributos esenciales para la construcción de vectores zonales y matrices de viaje. A diferencia de capas más detalladas de carácter censal o administrativo, este extracto presenta ya una configuración simplificada y orientada directamente al uso dentro del modelo.

En cuanto a los atributos demográficos, las 98 ZAT internas concentran 601,057 habitantes y 162,399 hogares, lo que equivale a una relación promedio ponderada de 3.70 habitantes por hogar. Esta consistencia interna resulta favorable para la modelación de la demanda, ya que permite construir de manera robusta los vectores de producción y atracción de viajes a nivel zonal. La distribución de la población no es homogénea entre zonas, sino que presenta una concentración significativa en

VERSIÓN PRELIMINAR

determinados sectores del sistema urbano. A escala zonal, la mayor población corresponde a la ZAT 3, con 19,302 habitantes, seguida por la ZAT 68, con 13,390 habitantes, y la ZAT 1, con 13,105 habitantes. En contraste, las zonas de menor tamaño poblacional presentan valores cercanos a los 1,000 habitantes, lo que refleja una heterogeneidad importante en la intensidad de ocupación del territorio.

Desde la perspectiva espacial, las 98 ZAT internas abarcan aproximadamente 71.18 km². Si se considera únicamente la superficie de las zonas internas, la densidad bruta resultante asciende a aproximadamente 8,444 habitantes por km², lo que confirma que la zonificación interna se concentra en el continuo urbano consolidado y sus áreas funcionalmente vinculadas. A nivel zonal, la superficie interna media es de 0.72 km², con una mediana de 0.48 km², lo que sugiere una desagregación relativamente fina en el núcleo urbano. En cambio, las zonas externas presentan superficies significativamente mayores, con un promedio de 4.71 km², coherente con su función de representar accesos, bordes e intercambios regionales más que tejido urbano detallado.

La configuración observada en la base confirma, por tanto, una diferenciación clara entre el sistema interno y las zonas externas de intercambio. Las ZAT internas concentran la información demográfica y constituyen el soporte principal para la estimación de la demanda urbana, mientras que las ZAT externas no registran población ni hogares en esta base y cumplen una función operativa distinta, orientada a representar los flujos de entrada y salida del sistema modelado. Esta separación es metodológicamente relevante, ya que permite distinguir entre la movilidad generada y atraída dentro del ámbito urbano y aquella asociada a relaciones de intercambio con corredores externos.

En conjunto, la capa de ZAT del MET de Chiclayo presenta una estructura territorial suficientemente robusta para sustentar la modelación estratégica de la movilidad. Su diseño permite representar con un adecuado nivel de desagregación el continuo urbano principal, incorporar zonas externas de intercambio y articular la información demográfica con la red de oferta del modelo. De este modo, las ZAT se consolidan como uno de los componentes estructurales centrales del MET, al servir de soporte para la integración entre territorio, oferta de transporte y demanda de viajes, tanto en la calibración del escenario base como en la evaluación de escenarios futuros.

Principales atributos de las zonas de tránsito.

Tabla 13: Atributos de las zonas de tránsito

Atributo	Tipo	Descripción
ID_ZAT	Entero	Código de las zonas de tránsito
Población	Entero	Cantidad poblacional
Centroides	Entero	ID Centroide asociado a la ZAT

La capa de zonas de tránsito está asociada a los datos demográficos, de hogares y de uso de suelo.

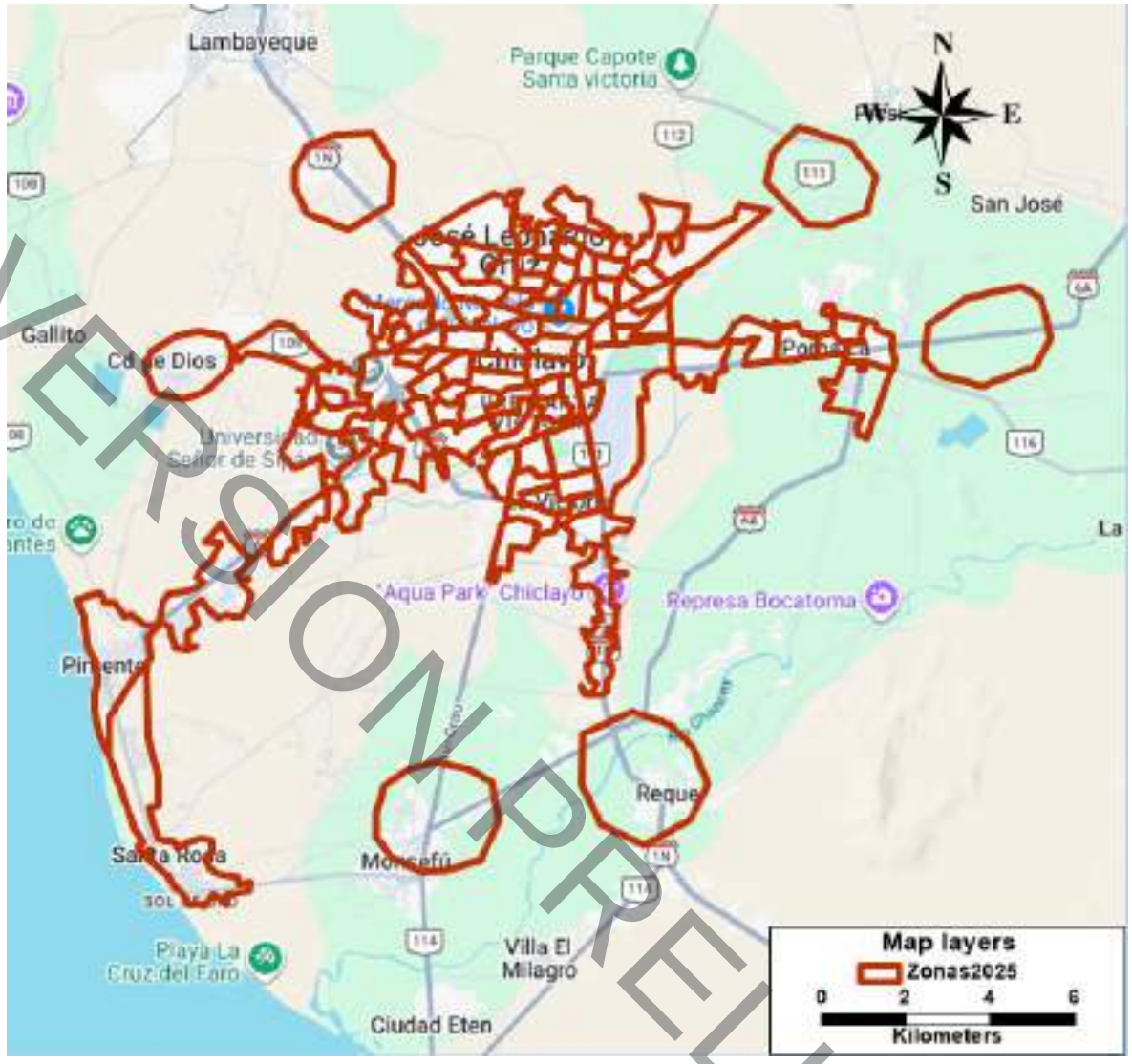
Tabla 14: Atributos de las zonas de tránsito asociados a las variables de hogares y uso de suelo

Atributo	Tipo	Descripción
ZAT	Real	Código del centroide
HH_(B0,M0,A0,B1,B1,M1 Y A1	Real	Cantidad de hogares por nivel socioeconómico y pertenencia de automóvil
US_(COME, EDUC, INDU, REC y SALUD)	Real	Área destinada al uso de suelo comercial, educacional, industrial recreacional y de salud)

VERSIÓN PRELIMINAR

VERSION PRELIMINAR

Figura 25: Zonas de tránsito MET



Fuente: Elaboración propia

9.2 Modelo de Demanda

El modelo de demanda del Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo (MET) tiene por finalidad estimar la magnitud, estructura y distribución espacial de los viajes que se realizan dentro del ámbito de estudio, diferenciando la movilidad en transporte público, transporte privado y transporte de carga.

Su construcción se desarrolló en el entorno TransCAD, bajo el enfoque secuencial de cuatro etapas con retroalimentación, de manera consistente con la estructura general del modelo, la zonificación definida y la configuración del sistema de oferta. En este marco, el modelo de demanda transforma la información territorial, sociodemográfica y operacional en matrices origen-destino por modo y por período de análisis, las cuales constituyen el insumo central para la asignación sobre las redes y para la evaluación del escenario base y de los escenarios futuros.

La base principal para la formulación de la demanda proviene de la Encuesta Origen-Destino a Hogares 2025, que comprendió 4,514 hogares encuestados y 21,784 viajes registrados, complementada con información de usos del suelo, aforos vehiculares, frecuencia y ocupación visual, tiempos de viaje, velocidades observadas y demás registros primarios y secundarios utilizados en la

VERSIÓN PRELIMINAR

calibración. A partir de esta información se estructuraron los vectores de producción y atracción, las matrices de impedancia y los parámetros requeridos para reproducir el comportamiento observado de la movilidad urbana. Esta combinación de fuentes permitió construir una base empírica suficientemente robusta para representar de manera consistente la demanda de viajes del sistema.

La construcción de las matrices se realizó de manera segmentada, con el fin de capturar diferencias relevantes en los patrones de viaje. Para ello, la demanda fue desagregada según disponibilidad de vehículo en el hogar, nivel socioeconómico y motivo de viaje, distinguiendo entre viajes principales vinculados a trabajo y estudio, y viajes secundarios asociados a compras, salud, recreación, acompañamiento y otros motivos. En el caso de la atracción, se incorporó además la estructura de usos del suelo, considerando categorías como uso comercial, industrial, educativo, de salud, recreativo, residencial y otros usos urbanos. Esta segmentación permitió representar con mayor precisión la heterogeneidad de la movilidad y fortalecer la capacidad explicativa del modelo.

La matriz de transporte público se obtuvo a partir de la demanda total distribuida y del proceso de partición modal, incorporando para su estimación los atributos que determinan la utilidad del viaje en este modo, como el tiempo en vehículo, el tiempo de espera, la caminata de acceso y egreso, las penalidades por transferencia y la tarifa. Por su parte, la matriz de transporte privado fue construida de forma consistente con la elección entre auto y taxi, utilizando impedancias derivadas de la red vial y del costo generalizado del viaje. En ambos casos, la formulación de las matrices responde a la lógica del modelo de elección discreta implementado, permitiendo que la demanda modal refleje la competitividad relativa de cada alternativa dentro del sistema.

La matriz de transporte de carga fue estructurada de manera diferenciada por tipo de vehículo, distinguiendo entre carga ligera y carga pesada, con el fin de representar adecuadamente la interacción entre la logística urbana y la operación general de la red vial. Esta diferenciación permite incorporar de manera más realista el efecto de los vehículos de mercancías sobre la capacidad vial, los costos de viaje y los procesos de asignación, reconociendo que su comportamiento operativo y su incidencia sobre la red difieren respecto del transporte de personas.

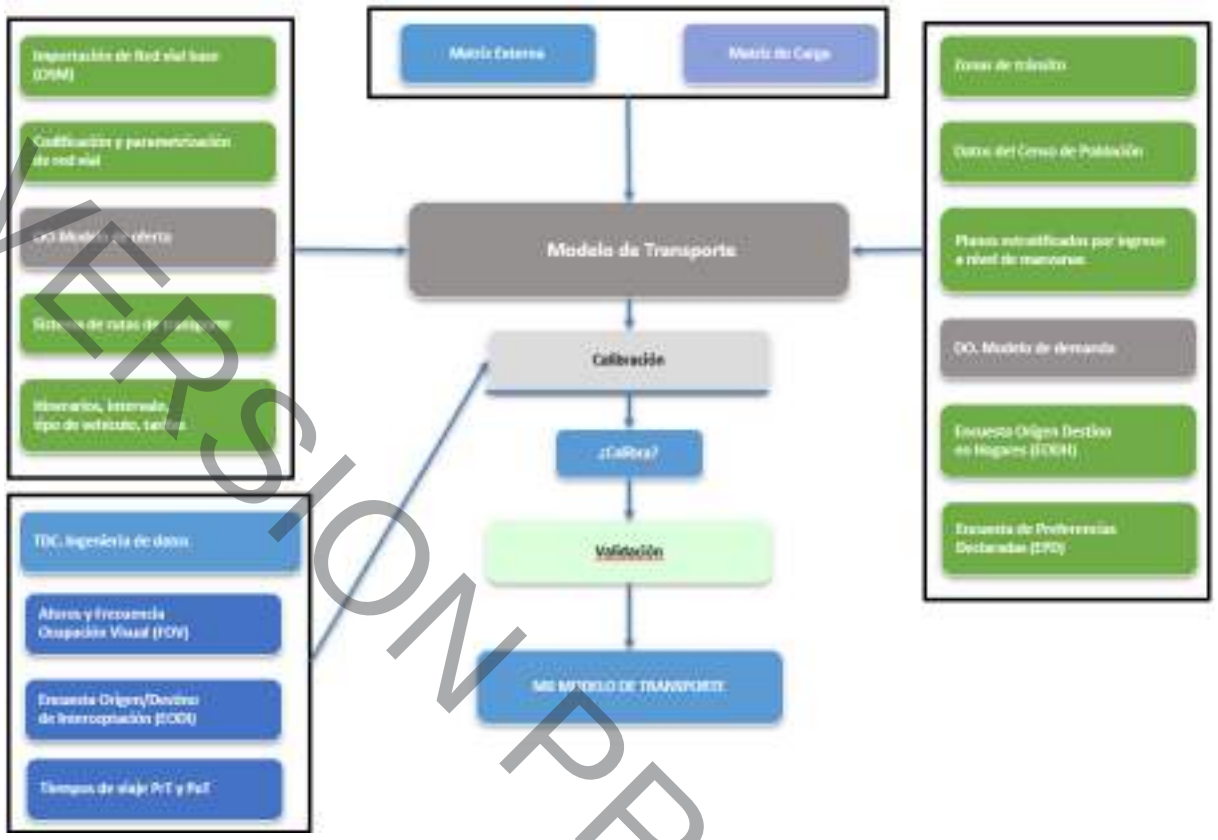
En términos analíticos, los valores dependientes del modelo corresponden principalmente a los viajes producidos y atraídos, las matrices origen-destino por modo, los viajes por período de análisis, el reparto modal resultante y los indicadores derivados del desempeño del sistema. Estos resultados dependen, a su vez, de un conjunto de valores independientes que explican el comportamiento de la demanda, entre ellos la población, los hogares, el nivel socioeconómico, la disponibilidad de automóvil, la estructura de usos del suelo, la localización de actividades, los costos de viaje, los tiempos de desplazamiento, las frecuencias, las velocidades, las capacidades y los demás atributos de la oferta de transporte.

9.3 Metodología de construcción y expansión de matrices origen-destino

La construcción de las matrices Origen–Destino (O-D) del modelo de transporte se desarrolló mediante la integración de información proveniente de encuestas domiciliarias, encuestas de interceptación y aforos vehiculares. El procedimiento tuvo como finalidad obtener matrices de viaje representativas de las condiciones de movilidad observadas durante la Hora Punta Mañana (HPM), diferenciadas por modo de transporte (Público, privado y carga).

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 26: Metodología general de la construcción de matrices



VERSIÓN PRELIMINAR

A) Matriz de viajes resultados del proceso de 4 etapas: Como primera etapa, se elaboró una matriz sintética de viajes a partir de la Encuesta Origen–Destino a Hogares (EODH). Para ello, se calcularon factores de expansión que permitieron extrapolar los viajes observados en la muestra al universo poblacional de la zona de estudio durante la Hora Punta Mañana.

Posteriormente, los hogares fueron segmentados según nivel socioeconómico (alto, medio y bajo) y disponibilidad de vehículo particular (hogares con auto y hogares sin auto), con el propósito de representar adecuadamente las diferencias en los patrones de movilidad de la población.

A partir de la información expandida se estimaron las tasas de generación y atracción de viajes para cada segmento poblacional, obteniéndose los vectores de producción y atracción por zona de análisis de transporte (ZAT).

Con estos insumos se desarrolló el proceso clásico de modelación de demanda de transporte de cuatro etapas:

- Generación y atracción de viajes.
- Distribución espacial de viajes mediante un modelo gravitacional calibrado.
- Reparto modal entre los diferentes modos de transporte considerados.
- Asignación preliminar de la demanda a la red de transporte.

Como resultado de este proceso se obtuvo una matriz sintética de viajes por motivo, nivel socioeconómico y modo de transporte, la cual constituye la base estructural del modelo de demanda.

B) Matriz de viajes de las encuestas de interceptación: Con la finalidad de complementar la información obtenida mediante la EODH y representar adecuadamente los viajes externos, de paso y de carga, se desarrollaron encuestas de interceptación en puntos estratégicos de ingreso, salida e intersección de la ciudad.

A partir de las secuencias de viaje registradas en campo se identificaron los patrones Origen–Destino observados para los modos de transporte público, transporte privado y transporte de carga.

Formulación:

FE={V}/{M}

donde:

- (FE): factor de expansión.
- (V): volumen total de viajes observado en el punto de control durante el periodo de análisis.
- (M): número de encuestas válidas obtenidas en dicho punto.

El factor de expansión permite extrapolar los viajes registrados en la muestra al universo de viajes observados en campo.

Una vez calculado el factor de expansión, cada registro de la encuesta es ponderado para representar el número de viajes equivalentes dentro del flujo total observado, mediante la siguiente expresión:

T_{exp}=T_{enc}\ FE

donde:

- T_{exp}: viajes expandidos.
- T_{enc}: viajes observados en la encuesta.
- FE: factor de expansión.

Finalmente, los viajes expandidos son agregados según sus zonas de origen y destino para la construcción de las matrices Origen–Destino correspondientes a cada modo de transporte analizado.

Tabla 15: Factores de expansión privado

Estación	Encuesta	Universo	Factor Expansión
	Privado	Privados/h	F.E
ODM1	115	462	4.0
ODM2	203	1,798	8.9
ODM3	98	671	6.8
ODM4	122	963	7.9
ODM5	154	631	4.1
ODM6	157	715	4.6
ODM7	110	740	6.7
ODM8	118	892	7.6
ODM9	118	1,537	13.0
ODE1	165	1,342	8.1
ODE2	102	688	6.7
ODE3	122	1,073	8.8

VERSIÓN PRELIMINAR

Estación	Encuesta	Universo	Factor Expansión
	Privado	Privados/h	F.E
ODE4	101	1,217	12.1
ODE5	175	613	3.5
ODE6	186	785	4.2
ODE7	107	938	8.8
ODE8	153	889	5.8
ODE9	163	1,585	9.7
ODE10	145	1,917	13.2
ODE11	142	1,960	13.8
ODE12	262	1,700	6.5
ODE14	116	1,036	8.9
ODE15	102	555	5.4
ODE16	153	832	5.4
ODE17	148	351	2.4
ODE18	104	387	3.7
ODE19	184	1,089	5.9
ODE20	117	1,521	13.0

Tabla 16: Factores de expansión pesados

Estación	Muestra	Universo	F.E
C1	94	97.5	1.0
C2	126	438	3.5
C3	103	324	3.1
C4	115	439.5	3.8
C5	110	108	1.0
C6	94	161	1.7
C7	74	15	1.0
C8	87	115	1.3
C9	88	140	1.6
C10	55	14.5	1.0

VERSIÓN PRELIMINAR

Nota: En los casos en que la relación universo/muestra resultó menor a la unidad, se adoptó un factor mínimo de expansión igual a 1.0, con el fin de evitar la contracción de los registros observados y preservar la representatividad mínima de la muestra levantada en campo.

VERSION PRELIMINAR

Figura 27: Resumen matriz interceptación de auto privado

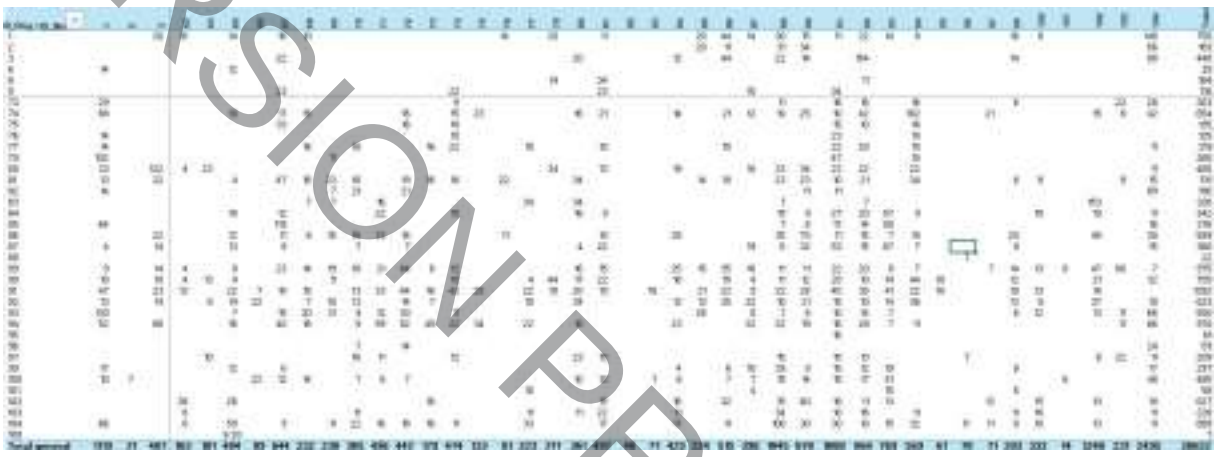


Figura 28: Resumen matriz interceptación de vehículos de carga (Ligeros)

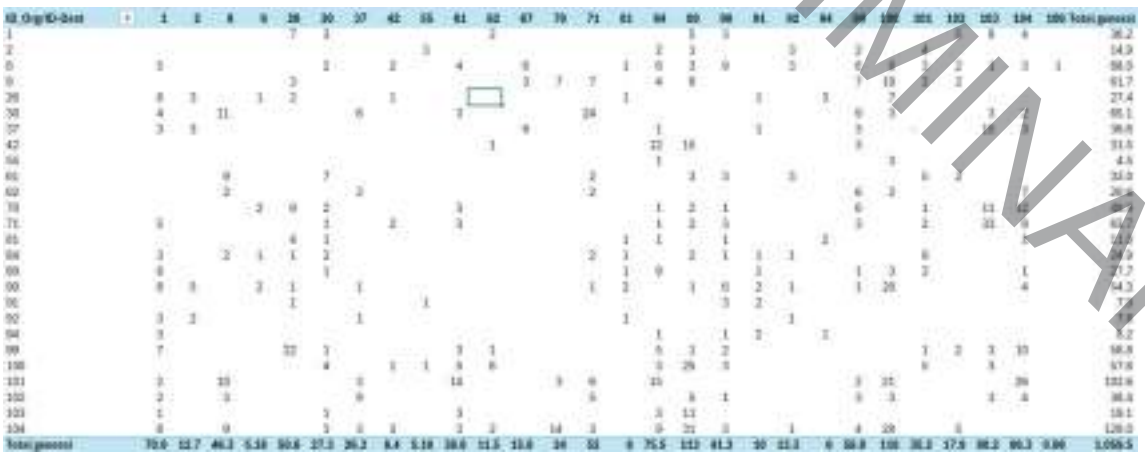


Figura 29: Resumen matriz interceptación de vehículos de carga (pesados)

ID_Org/ID-Dest	1	8	9	26	30	37	61	70	71	84	89	90	94	99	100	101	102	103	104	Total general
1		2												1				11		14
2																			2	2
8			3											3				5	10	23
9				5					3	13	6	3	1			2	8			43
30			3				5	6										29	3	47
37	3		3															3	3	14
61		2							3							5	2			12
70														3				6	3	13
71			3															16	1	21
84			1						2							2				4
89	2																			2
99	10	7	21		1													33	24	96
100			3		1							3								8
101		7					3	3		5				2	7				12	40
102	2					3		13						3				4	1	26
103	8									11				41						60
104	2	#			13	3			15	11				39		2	5			91
Total general	**27**	**17**	**39**	**5**	**15**	**6**	**9**	**22**	**24**	**42**	**6**	**7**	**1**	**93**	**7**	**11**	**15**	**108**	**61**	**515**

Estas matrices se generaron específicamente para el período pico de la mañana (7:30 a. m. – 8:30 a. m.). De acuerdo con lo indicado anteriormente, fueron calibradas al año base 2025.

Figura 30: Matrices de viajes MET

Fuente: Elaboración propia

Respecto al uso de **Big Data**, el modelo base se sustentó principalmente en información primaria y secundaria levantada específicamente para el estudio, por lo que la construcción de la demanda no dependió de fuentes masivas pasivas como telefonía móvil o datos de localización. No obstante, la arquitectura del MET permite incorporar este tipo de insumos en futuras actualizaciones, siempre que se disponga de bases validadas y metodológicamente compatibles con la estructura del modelo. En consecuencia, el modelo de demanda del MET de Chiclayo se consolida como un componente técnicamente robusto, capaz de representar de manera coherente la movilidad actual y de sustentar la proyección de escenarios futuros.

VERSIÓN PRELIMINAR

10 Procesamiento de la Base de Datos

10.1 Introducción y alcance

El presente capítulo tiene como propósito sintetizar el conjunto de estudios de campo ejecutados en el marco de la elaboración del Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) de la ciudad de Chiclayo. Esta síntesis constituye el punto de partida del documento de modelación, dado que los datos primarios recolectados durante la campaña de campo son la fuente empírica sobre la cual se construyen, calibran y validan los diferentes componentes del modelo de transporte.

A diferencia del Entregable 2.2 – Bases de Datos, que documenta de manera exhaustiva la estructura, el contenido y los hallazgos detallados de cada estudio, el presente capítulo adopta una perspectiva orientada a la modelación: se describe qué tipos de estudios se desarrollaron, con qué alcance cuantitativo se ejecutó cada uno, si la información recolectada alcanza los umbrales de validez estadística establecidos en los Términos de Referencia (TdR), y de qué manera los datos generados se convierten en insumos directos del modelo de transporte de cuatro etapas.

La campaña de levantamiento de información primaria se ejecutó entre el 8 de noviembre y el 18 de diciembre de 2024, cubriendo de manera integral la movilidad urbana, metropolitana e interprovincial del área funcional de Chiclayo, conformada por los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y Pomalca. El diseño de los estudios, validado previamente por el cliente, garantizó la representatividad estadística de la información y su compatibilidad directa con los requerimientos del modelo.

10.2 Tipos de estudios desarrollados y cobertura de la toma de información

La campaña de campo se estructuró en cuatro grandes grupos de estudios, articulados metodológicamente para garantizar la cobertura integral del sistema de movilidad en sus dimensiones de demanda, oferta, operación y carga:

10.2.1 Estudios de demanda y caracterización de viajes

Este grupo comprende las encuestas orientadas a capturar el comportamiento de viaje de la población y de los usuarios de los diferentes modos de transporte.

Encuesta de Movilidad en Hogares (EODH)

Constituye el principal estudio de demanda del proyecto. Se aplicaron 4.514 encuestas domiciliarias distribuidas en las 104 Zonas de Análisis de Tránsito (ZAT) del área funcional, superando la muestra mínima de 4.269 encuestas establecida en los TdR. El cuestionario estructurado en módulos temáticos (vivienda, hogar, viajes, socioeconómico, modos activos y preferencias declaradas) permitió registrar con detalle los patrones de desplazamiento de los integrantes de cada hogar durante un día típico de referencia (martes a jueves). La ejecución se realizó entre el 15 y el 19 de diciembre de 2024, con cobertura horaria de 06:00 a 22:00.

Encuestas OD de Interceptación a Usuarios del Transporte Público (EODA)

Se realizaron 2.602 encuestas efectivas en 30 estaciones de interceptación, coincidentes con los puntos del estudio de Frecuencia y Ocupación Visual (FOV). Este diseño integrado permite calcular

VERSIÓN PRELIMINAR

factores de expansión consistentes entre ambos estudios. Las encuestas se ejecutaron durante la Hora de Máxima Demanda (HMD: 06:30–09:30) entre el 10 y el 13 de diciembre de 2024.

Encuestas OD de Interceptación a Vehículo Privado (EODI)

Se aplicaron 3.792 encuestas en 29 estaciones coincidentes con los puntos de aforo vehicular longitudinal, asegurando coherencia entre el universo aforado y la muestra encuestada. La ejecución cubrió del 1 al 10 de diciembre de 2024 en la franja HMD.

Encuestas OD a Pasajeros Interprovinciales

Se recogieron 1.408 encuestas en tres nodos estratégicos de conexión regional: Terminal Terrestre Marañón, Terminal Terrestre Ormeño y Aeropuerto Internacional de Chiclayo. Estos tres puntos concentran la totalidad del movimiento interprovincial e interregional organizado del área de estudio. Las encuestas se ejecutaron entre el 10 y el 13 de diciembre de 2024.

10.2.2 Estudios de oferta y operación del sistema de transporte

Este grupo cubre los aforos y mediciones orientadas a cuantificar los volúmenes y el desempeño operativo del sistema.

Aforos Vehiculares Longitudinales (Estaciones Maestras y Específicas)

Se operaron 9 estaciones maestras con registro continuo durante 24 horas en días típicos (11 al 22 de noviembre de 2024), y 21 estaciones específicas con toma de información en la franja HMD durante 2 días hábiles y 1 día de fin de semana. En cada estación se registró el paso de vehículos por sentido de circulación, desagregados en 16 tipologías vehiculares. Las estaciones maestras permitieron identificar la Hora de Máxima Demanda del sistema, confirmada entre las 07:30 y las 08:30 horas, con un factor de expansión HMD/día de 15,1.

Aforos Vehiculares Direccionales en Intersecciones

Se levantaron 15 estaciones direccionales (D1 a D15) en intersecciones clave durante la franja HMD, registrando los movimientos de giro y los volúmenes por acceso. Esta información es esencial para la calibración de las intersecciones en el modelo de macrosimulación.

Estudio de Frecuencia y Ocupación Visual del Transporte Público (FOV)

Se realizaron observaciones directas en 9 estaciones maestras (18 horas continuas: 06:00–22:00) y 21 estaciones específicas (franja HMD), registrando por cada unidad de transporte público: tipología vehicular, empresa, código de ruta, sentido de circulación y nivel de ocupación visual. El estudio confirmó la HMD del sistema de transporte público entre las 07:30 y las 08:30 horas, con un factor de expansión HMD/día de 12,9.

Inventario de Rutas y Tiempos de Viaje en Transporte Público

Se realizó el seguimiento completo con GPS de la totalidad de rutas de transporte público (formales e informales) que operan en el área de estudio, registrando trazados, paradas, tiempos de recorrido y

VERSIÓN PRELIMINAR

velocidades operativas en la franja HMD. Complementariamente, se ejecutó un estudio de ascenso y descenso de pasajeros en 33 recorridos de rutas, con registro espacial mediante waypoints GPS.

Medición de Tiempos de Viaje y Velocidades en Corredores Viales

Se realizaron mediciones con GPS en al menos 23 ejes viales identificados como corredores estructurantes del área de estudio, tomando 3 muestras por sentido mediante la técnica de vehículo flotante durante la HMD.

Inventario Físico de Secciones Viales

Se levantaron las características físicas de las secciones viales sobre los ejes principales y una muestra representativa de vías locales para cada tipología urbana identificada. El inventario incluyó anchos de calzada, veredas, ciclovías, condición del pavimento, paraderos y usos de suelo adyacentes.

10.2.3 Estudios de transporte de carga

Encuestas Semiestructuradas a Operadores Logísticos

Se aplicaron encuestas cualitativas y cuantitativas a operadores logísticos y empresas comerciales ubicadas en el área de estudio, caracterizando el sistema de transporte de carga urbana: tipos de vehículo, rutas, horarios, frecuencias, zonas de carga y descarga, costos y problemáticas operativas.

Encuestas OD de Interceptación a Vehículos de Carga

Se realizaron encuestas de interceptación en 10 estaciones sobre corredores logísticos principales, coincidentes con los puntos de aforo vehicular longitudinal, permitiendo construir matrices origen-destino de viajes de carga y caracterizar los flujos de mercancías del área funcional.

Tabla 17: Resumen de estudios de campo ejecutados – PMUS Chiclayo

ESTUDIO DE CAMPO	ESTACIONES / UNIDADES	REGISTROS EFECTIVOS	PERÍODO DE EJECUCIÓN	COBERTURA HORARIA
Encuestas de Movilidad en Hogares (EODH)	104 ZAT	4.514 hogares	15–19 dic. 2024	06:00–22:00
Encuestas OD Interceptación Transporte Público (EODA)	30 estaciones	2.602 encuestas	10–13 dic. 2024	HMD (06:30–09:30)
Encuestas OD Interceptación Vehículo Privado (EODI)	29 estaciones	3.792 encuestas	01–10 dic. 2024	HMD (06:30–09:30)
Aforos vehiculares – Estaciones maestras	9 estaciones	9 pts × 24 h	11–22 nov. 2024	24 horas
Aforos vehiculares – Estaciones específicas	21 estaciones	21 pts × HMD + fin semana	11–22 nov. 2024	HMD + fin semana

VERSIÓN PRELIMINAR

ESTUDIO DE CAMPO	ESTACIONES / UNIDADES	REGISTROS EFECTIVOS	PERÍODO DE EJECUCIÓN	COBERTURA HORARIA
Aforos vehiculares – Estaciones direccionales	15 estaciones	14 intersecciones	26 nov.–12 dic. 2024	HMD (06:30–09:30)
Frecuencia y Ocupación Visual – Maestras (FOV)	9 estaciones	9 pts × 18 h	18–29 nov. 2024	06:00–22:00
Frecuencia y Ocupación Visual – Específicas (FOV)	21 estaciones	21 pts × HMD	18–29 nov. 2024	HMD (06:30–09:30)
Ascenso y Descenso en Rutas de TP	33 recorridos	33 rutas ida y vuelta	23 nov.–12 dic. 2024	HMD (06:30–09:30)
Encuestas OD Interceptación Vehículos de Carga	10 estaciones	Encuestas en corredor	11–13 dic. 2024	HMD (06:30–09:30)
Inventario de rutas y tiempos de viaje (TP)	Todas las rutas	100% rutas formales e informales	23 nov.–12 dic. 2024	HMD (06:30–09:30)
Medición tiempos y velocidades en corredores viales	23 ejes viales	3 muestras/sentido por eje	23 nov.–12 dic. 2024	HMD (06:30–09:30)
Inventario físico de secciones viales	Red principal	Ejes ppal. + muestras tipológicas	nov.–dic. 2024	Continuo

Fuente: Elaboración propia. HMD = Hora de Máxima Demanda (07:30–08:30). i/v = ida y vuelta.

10.3 Suficiencia de la toma de información para modelación y diagnóstico

El diseño muestral de cada estudio fue establecido en correspondencia con los Términos de Referencia del proyecto y con las mejores prácticas metodológicas para la elaboración de modelos de transporte de cuatro etapas. En todos los casos se definieron previamente los criterios de validez estadística y se establecieron mecanismos de seguimiento en campo para garantizar su cumplimiento.

El control de suficiencia se realizó en dos niveles: (i) cumplimiento del tamaño muestral mínimo exigido, y (ii) verificación del error muestral máximo admisible, calculado a partir de las relaciones entre el universo estimado y la muestra obtenida en cada punto de expansión.

10.3.1 Criterios de validez estadística

Para los estudios de encuestas, el criterio general adoptado fue un nivel de confianza del 95% y un error muestral máximo del 10%, conforme a los TdR. El cálculo del error muestral se realizó mediante la expresión estándar para poblaciones finitas, verificada individualmente para cada estación o punto de toma de información. En ningún caso se superó el umbral del 10%: el error promedio observado

VERSIÓN PRELIMINAR

en las encuestas de interceptación fue de 7,9%, con un máximo de 9,8%, y el 98% de los puntos de expansión registró errores inferiores al máximo permitido.

Para los estudios de aforo, el criterio de suficiencia se evaluó en términos de cobertura espacial y temporal: número mínimo de estaciones exigido por los TdR, cobertura de las tipologías vehiculares presentes en el sistema y representación de los diferentes periodos del día. En todos los estudios de aforo se cumplió o superó la cobertura mínima establecida.

Adicionalmente, la coherencia entre estudios fue verificada de manera cruzada: los volúmenes de pasajeros del FOV y los aforos vehiculares se utilizaron como universo de expansión para las encuestas OD de transporte público y privado respectivamente, y los resultados de ambas fuentes fueron contrastados para identificar inconsistencias. Esta triangulación de fuentes fortalece la confiabilidad del conjunto de bases de datos.

VERSIÓN PRELIMINAR

Tabla 18: Cumplimiento de la muestra objetivo por estudio – PMUS Chiclayo

ESTUDIO	CRITERIO TdR	RESULTADO OBTENIDO	ERROR MUESTRAL	SUFICIENCIA
Encuestas en Hogares (EODH)	Mín. 4.269 encuestas	4.514 encuestas	< 5% (95% confianza)	**CUMPLE**
OD Transporte Público (EODA)	Mín. 29 est., err. ≤ 10%	30 est., 2.602 enc.	Promedio 7,9% – Máx. 9,8%	**CUMPLE**
OD Vehículo Privado (EODI)	Mín. 29 est., err. ≤ 10%	29 est., 3.792 enc.	Promedio 7,9% – Máx. 9,8%	**CUMPLE**
Aforos maestros vehiculares	Mín. 8 puntos × 24 h	9 puntos × 24 h	Cobertura total	**CUMPLE**
Aforos específicos vehiculares	Mín. 21 puntos × HMD	21 pts (2 días + 1 fin)	Cobertura total	**CUMPLE**
Aforos direccionales	Mín. 15 puntos × HMD	15 intersecciones	Cobertura HMD	**CUMPLE**
Aforos Transporte No Motorizado	Mín. 10 puntos × 16 h	10 estaciones × 16 h	Cobertura total	**CUMPLE**
FOV (Frecuencia y Ocup. Visual)	8 maestras (18h) + 21 específicas	9 maestras + 21 específicas	Cobertura total TP	**CUMPLE**
Inventario rutas y tiempos viaje	100% rutas + mín. 23 ejes, 3 muestras/sentido	100% rutas + 23 ejes	N/A (inventario exhaustivo)	**CUMPLE**
Encuestas interceptación de carga	Mín. 10 est. en corredores logísticos	10 estaciones	Cobertura corredores	**CUMPLE**

Fuente: Elaboración propia. * Error calculado por estación de expansión. CUMPLE = el estudio superó el umbral mínimo exigido en los TdR.

10.3.2 Validez para el diagnóstico de la movilidad

Más allá de los criterios estadísticos formales, la suficiencia de la información para el diagnóstico fue evaluada considerando la complementariedad entre estudios y la capacidad de los datos para responder a los requerimientos analíticos del PMUS. En este sentido:

- Las encuestas de hogares permiten caracterizar de manera integral los patrones de movilidad de la población, con información desagregada por modo, motivo, género, grupo etario, condición socioeconómica y zona de análisis.
- Los aforos vehiculares y el FOV proporcionan evidencia empírica sobre la magnitud, composición y distribución temporal de los flujos de demanda, con cobertura espacial que cubre los principales corredores estructurantes del área metropolitana.
- Los estudios de ascenso y descenso y el inventario de rutas permiten analizar el sistema de transporte público con el nivel de detalle necesario para identificar desequilibrios entre oferta y demanda, niveles de cobertura y condiciones de operación.
- Las encuestas de carga ofrecen información suficiente para caracterizar los principales flujos logísticos y sus impactos sobre la movilidad urbana, aunque por su naturaleza mixta su aporte es principalmente diagnóstico.
- Los aforos de TNM documentan la movilidad peatonal y ciclista en los puntos de mayor concentración, aportando indicadores de base para el diagnóstico de accesibilidad y espacio público.

10.4 Insumos generados para el modelo de transporte

El modelo de transporte de cuatro etapas desarrollado para el PMUS de Chiclayo requiere un conjunto de insumos primarios que alimentan cada uno de sus componentes: generación de viajes, distribución, reparto modal y asignación a la red. La totalidad de estos insumos fue generada a partir de los estudios de campo descritos en los apartados anteriores, garantizando que el modelo tenga sustento empírico en bases de datos y no dependa de supuestos teóricos sin contraste con la realidad observada.

10.4.1 Generación de viajes

La Encuesta de Movilidad en Hogares (EODH) es la fuente primaria para estimar los parámetros de la etapa de generación. A partir de sus resultados se obtuvieron:

- Tasa de generación de viajes por persona: 1,84 – 1,93 viajes/persona/día (considerando la población total del hogar).
- Tasa de generación por hogar: promedio superior a 5,5 viajes/hogar/día (tamaño medio del hogar: 3,7 personas).
- Distribución temporal de los viajes (histograma horario), confirmando la HMD entre las 07:30 y las 08:30.
- Variables socioeconómicas de los hogares (ingresos, posesión vehicular) para la estimación de modelos de generación desagregados por estrato.

Estas tasas se combinaron con la información censal del INEI (distribución por manzana censal) para estimar la producción y atracción de viajes en cada una de las 104 ZAT del modelo.

VERSIÓN PRELIMINAR

10.4.2 Distribución de viajes

Las matrices origen-destino constituyen el principal insumo para la etapa de distribución. Se generaron matrices para cuatro segmentos modales a partir de la integración de las diferentes encuestas:

- Matriz total (todos los modos): ~876.416 viajes diarios (811.866 excluyendo intrazonales).
- Matriz transporte público: ~452.784 viajes diarios (77.537 en HMD, excluyendo intrazonales).
- Matriz vehículo particular: ~149.795 viajes diarios.
- Matriz taxi: ~77.362 viajes diarios.
- Matriz TNM: ~196.388 viajes diarios.

Las matrices de la EODH se complementaron con las matrices de las encuestas de interceptación (EODA y EODI) para reforzar pares OD subrepresentados en la encuesta domiciliaria. Las encuestas interprovinciales generaron matrices de viajes externos, incorporadas como centroides especiales en los nodos terminales del área de estudio.

10.4.3 Reparto modal

El módulo de preferencias declaradas de la EODH provee los datos para estimar las funciones de utilidad del modelo de elección discreta (Logit), incluyendo los parámetros del Valor Subjetivo del Tiempo (VOT) y las variables de nivel de servicio. La partición modal observada en la EODH sirve como referencia de calibración del modelo de reparto modal:

- Transporte público: 51,7% de los viajes diarios.
- Transporte no motorizado (TNM): 22,4%.
- Vehículo particular: 17,1%.
- Taxi individual: 8,8%.

10.4.4 Asignación a la red

Para la etapa de asignación, los estudios de campo proporcionaron los volúmenes de calibración que permiten contrastar los resultados del modelo con los flujos observados en la red:

- Volúmenes de calibración de transporte privado: generados a partir de los aforos vehiculares maestros, específicos y direccionales, expresados en vehículos/hora por tipología y sentido para cada arco de la red (par nodos i-j).
- Volúmenes de calibración de transporte público: generados a partir del FOV (PAX_HMD por sentido y link), con identificación del LINK_ID correspondiente en la red del modelo.
- Velocidades de la red: obtenidas del estudio de tiempos de viaje en corredores viales, utilizadas para la codificación de tiempos de recorrido en la red base de TransCAD.
- Codificación del sistema de rutas TP: trazados GPS, paradas, frecuencias (HPM, HPT, HV), tarifas y capacidades por tipología vehicular, provenientes del inventario de rutas.

La articulación entre los volúmenes de calibración y la red de modelación se realizó mediante la asignación de identificadores espaciales (nodos i-j y LINK_ID) a cada punto de aforo y estación FOV, lo que permite una correspondencia directa y sin ambigüedad entre los datos de campo y los arcos de la red codificada en TransCAD.

VERSIÓN PRELIMINAR

Tabla 19: Insumos generados por estudio para el modelo de transporte de cuatro etapas – PMUS Chiclayo

ESTUDIO	ETAPA DEL MODELO	INSUMO GENERADO
EODH – Encuestas de Hogares	Generación / Distribución / Reparto modal	Tasas de generación de viajes; matrices OD semilla por modo; parámetros de utilidad (VOT) desde preferencias declaradas; histograma de viajes por hora
EODA – OD Transporte Público	Distribución / Calibración TP	Matriz OD de pasajeros en TP expandida (HMD); factores de expansión; tiempos de espera, tarifa y percepción del servicio
EODI – OD Vehículo Privado	Distribución / Calibración VP	Matriz OD de vehículos privados sin dobles conteos (HMD); factor de ocupación 1,7 pax/veh; conversión a matriz de pasajeros
Aforos vehiculares (maestras, específicas, direccionales)	Calibración / Validación – Asignación VP	Volúmenes de calibración por sentido y tipología vehicular en HMD (nodos i-j para cada arco de la red); factor expansión HMD/día = 15,1
FOV – Frecuencia y Ocupación Visual	Calibración TP – Asignación	Volúmenes de pasajeros TP en HMD por sentido y link (PAX_HMD, LINK_ID, nodos i-j); HMD confirmada 07:30–08:30; factor expansión HMD/día = 12,9
Tiempos de viaje en corredores viales	Calibración velocidades / Validación	Velocidades observadas por corredor y tipología; mapa de velocidades en HMD para codificación de la red en TransCAD
Inventario de rutas de TP	Codificación de la red TP	Trazados GPS de todas las rutas; itinerarios, paradas, frecuencias (HPM/HPT/HV), tarifas y capacidades por tipología vehicular
Encuestas e interceptación de carga	Calibración transporte de carga	Matrices OD de vehículos de carga; caracterización logística: tipos de vehículo, horarios, orígenes-destinos y zonas de carga/descarga

Fuente: Elaboración propia. TP = Transporte Público; VP = Vehículo Privado; HMD = Hora de Máxima Demanda; OD = Origen-Destino; ZAT = Zona de Análisis de Transito; VOT = Valor Subjetivo del Tiempo.

VERSIÓN PRELIMINAR

10.5 Factores clave derivados de los trabajos de campo

El análisis preliminar de la información recolectada permite identificar un conjunto de factores estructurales que condicionan el comportamiento del sistema de movilidad de Chiclayo y que son relevantes para las decisiones de modelación:

Hora de Máxima Demanda confirmada: 07:30–08:30

Validada de manera independiente por los aforos vehiculares y el FOV, la HMD concentra el 15,1% del tráfico vehicular diario y el 12,9% de los pasajeros del transporte público. Esta franja constituye el período de modelación para la calibración y el análisis de escenarios.

Alta dependencia del transporte público de baja capacidad

El 51,7% de los viajes se realizan en transporte público, con predominio de mototaxis (~22%), combis y colectivos. El bus convencional representa menos del 1% de los vehículos del sistema, evidenciando una estructura de oferta atomizada con alta ocupación del espacio vial y baja eficiencia por pasajero transportado.

Estructura radial-convergente del sistema vial

Los aforos vehiculares confirman un patrón de convergencia de flujos desde las municipalidades periféricas (Pimentel, Pomalca, Lambayeque) hacia el centro ampliado de Chiclayo a través de un número reducido de corredores estructurantes (Av. Bolognesi, Av. Leguía). La ausencia de vías alternativas de bypass genera alta vulnerabilidad operativa del sistema.

Baja ocupación media del transporte público

El FOV revela niveles de ocupación media inferiores al 75% en la mayoría de tipologías, con valores particularmente bajos en taxis (25%) y mototaxis (49%). Esta sobreoferta relativa contribuye a la congestión y reduce la eficiencia económica del sistema.

Dominancia del vehículo privado en accesos metropolitanos

Las encuestas OD de interceptación vehicular y los aforos en las estaciones periféricas confirman que los flujos de acceso desde distritos colindantes están dominados por automóviles y taxis, con una ocupación media de 1,7 pasajeros por vehículo, inferior al promedio latinoamericano (2,0–2,2).

Chiclayo como nodo articulador regional

Las encuestas interprovinciales confirman que Chiclayo concentra aproximadamente el 34% de los viajes generados y atraídos del sistema regional, con conectividad estructural hacia Lima y hacia las regiones de Cajamarca, Amazonas y San Martín. Los terminales terrestres y el aeropuerto generan presión adicional sobre la red vial urbana

11 Modelo de Transporte de Cuatro Etapas

En este capítulo se describe la metodología adoptada para la construcción del Modelo Estratégico de Transporte (MET), estructurado bajo el enfoque secuencial de cuatro etapas con retroalimentación. Este enfoque constituye una de las metodologías más consolidadas en la planificación del transporte, al permitir representar de manera integrada cómo se generan los viajes, cómo se distribuyen espacialmente entre orígenes y destinos, cómo se reparte la demanda entre los distintos modos de transporte y, finalmente, cómo dichos viajes se asignan sobre las redes de transporte disponibles.

En el caso de Chiclayo, la aplicación de esta metodología responde a la necesidad de contar con un instrumento analítico capaz de reproducir, de manera consistente, la interacción entre la demanda de viajes y el desempeño de la oferta de transporte, tanto vial como de transporte público. El modelo no se limita a estimar desplazamientos a partir de relaciones estáticas, sino que incorpora un proceso iterativo mediante el cual los tiempos y costos resultantes de la asignación retroalimentan las etapas previas, especialmente la distribución y la elección modal. De esta forma, el modelo alcanza un estado de equilibrio razonable entre la localización de los viajes, la competitividad modal y las condiciones reales de operación de la red.

VERSIÓN PRELIMINAR

Bajo esta lógica, el MET fue implementado en TransCAD como un modelo multimodal, orientado a representar la movilidad de transporte privado, transporte público y transporte de carga dentro del ámbito funcional de estudio. La secuencia metodológica comprende: i) generación y atracción de viajes, ii) distribución de viajes entre pares origen-destino, iii) partición modal y iv) asignación sobre la red. Cada una de estas etapas se alimenta de información territorial, socioeconómica, operacional y de campo, y su articulación permite obtener matrices y flujos consistentes con la realidad observada y adecuados para la evaluación del escenario base y de los escenarios futuros.

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 31: Esquema general del modelo de Chiclayo

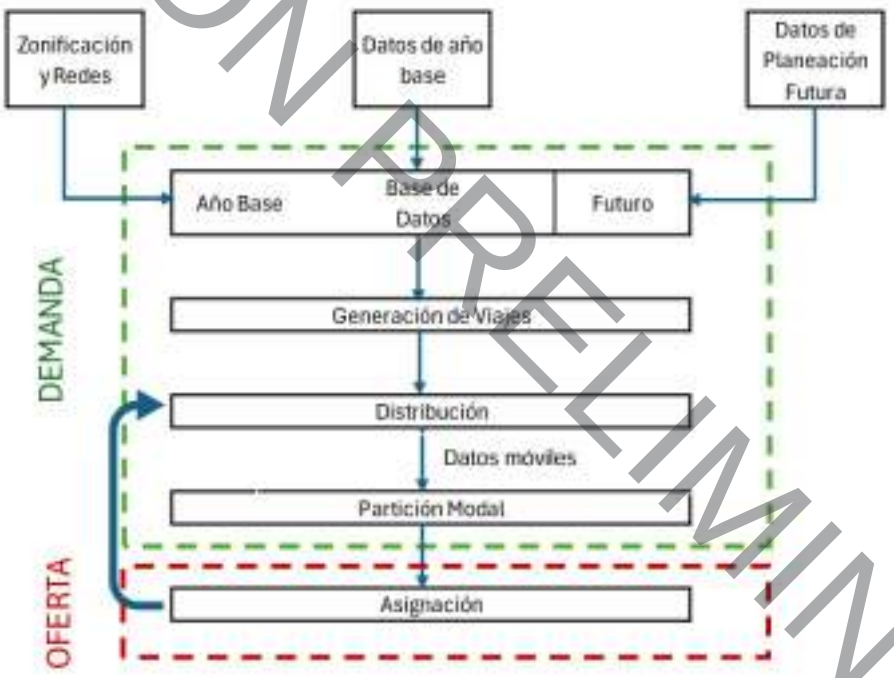


Figura 32: Esquema general del modelo de 4 etapas desarrollado en TransCAD

11.1 Inicialización

La lógica de esta etapa se sustenta en la preparación ordenada de tres componentes fundamentales: i) la base territorial y de oferta, ii) la base de demanda y variables explicativas, y iii) la configuración operativa del escenario base. Solo una vez validados estos componentes se habilita la ejecución secuencial del modelo, asegurando que la interacción entre matrices, redes, centroides, conectores, parámetros de costo e indicadores de desempeño responda a una misma estructura metodológica.

11.1.1 Preparación de la estructura base del modelo

El proceso de inicialización partió de la organización del modelo en un entorno único de trabajo dentro de TransCAD, en el cual se integraron las capas geográficas, las tablas de atributos, las matrices origen-destino, los vectores zonales y los procedimientos de cálculo requeridos para cada etapa. Esta estructura base permitió asegurar que el modelo no opere como una suma de archivos independientes, sino como un sistema relacional donde cada componente alimenta a los demás bajo una lógica de consistencia interna.

En esta fase se habilitó la base cartográfica del modelo, conformada por las Zonas de Análisis de Tránsito (ZAT), sus centroides, conectores, nodos, enlaces de la red vial y la red de rutas de transporte público. Asimismo, se verificó la correspondencia entre identificadores geográficos, claves zonales y relaciones topológicas, de forma que cada zona quede correctamente enlazada con la red modelada y con sus respectivos atributos demográficos y funcionales. Este control es indispensable, ya que cualquier inconsistencia entre la zonificación, la red y las matrices genera errores acumulativos en la estimación y asignación de viajes.

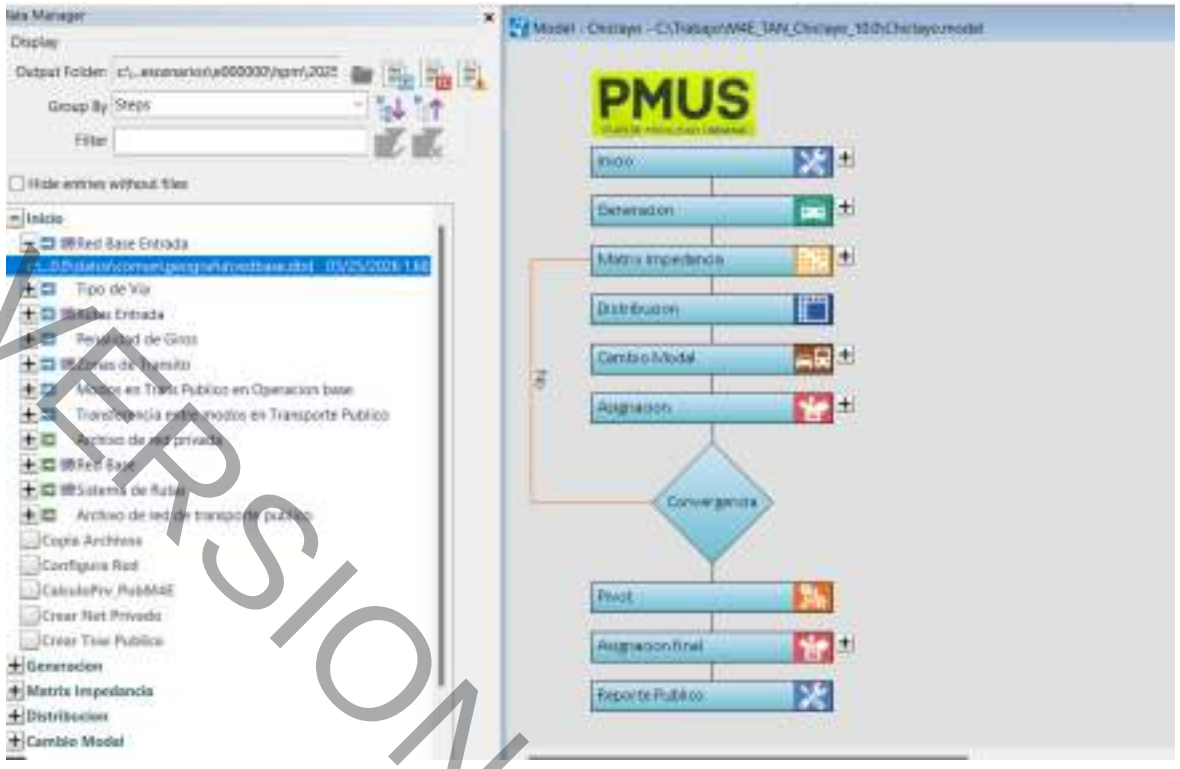
VERSIÓN PRELIMINAR

De manera complementaria, se organizó la estructura de carpetas, bases de datos y archivos nativos del modelo, diferenciando los insumos del escenario base, los archivos de procesamiento, las matrices intermedias, los resultados de asignación y los productos de salida. Esta organización operativa resulta particularmente importante para asegurar trazabilidad, facilitar revisiones posteriores y permitir la replicabilidad del modelo por parte del equipo técnico y de las entidades receptoras.

En la siguiente imagen se muestra el entorno del modelo de transporte. El módulo de inicio contiene las principales capas del modelo, tales como la red vial, red de rutas, matriz de viajes, zonas de tránsito, ficheros de modos, entre otros; luego se tienen los módulos clásicos de 4 etapas.

VERSION PRELIMINAR

Figura 33: Entorno del modelo de transporte



11.1.2 Inputs utilizados para la inicialización del modelo

La ejecución del modelo de cuatro etapas requirió la incorporación y validación previa de un conjunto de insumos, organizados según su función dentro del sistema de modelación.

En primer lugar, se utilizaron insumos geoespaciales. Estos incluyeron las ZAT, la localización de centroides, la codificación de conectores, la red vial jerarquizada y la red de transporte público con sus respectivos itinerarios, paradas y atributos operacionales. Esta base permitió definir la estructura física del modelo y establecer los soportes espaciales para la representación de la movilidad.

En segundo lugar, se incorporaron insumos sociodemográficos y funcionales por zona. Entre ellos destacan población, hogares, empleos, variables de uso del suelo y demás atributos requeridos para explicar la producción y atracción de viajes. Estas variables fueron asociadas a las ZAT mediante tablas de atributos, permitiendo construir los vectores zonales que alimentan las primeras etapas del modelo.

En tercer lugar, se cargaron insumos provenientes de información primaria levantada en campo y de fuentes secundarias consolidadas. En esta categoría se incluyen las encuestas de movilidad, encuestas origen-destino, aforos vehiculares, frecuencia y ocupación visual, velocidades observadas, así como registros operacionales del sistema de transporte público. Estos datos cumplieron una doble función: por un lado, sirvieron para estructurar las matrices y parámetros iniciales del modelo; por otro, constituyeron la base de contraste para la calibración posterior.

En cuarto lugar, se incorporaron los inputs matriciales y operacionales requeridos por el proceso de modelación. Aquí se incluyen matrices semilla o matrices base, vectores de producción y atracción, matrices de impedancia inicial, tablas tarifarias, penalidades por transbordo, parámetros de caminata, tiempos de espera, factores de ocupación vehicular, equivalencias en unidades de vehículo de pasajeros y demás parámetros necesarios para estimar costos generalizados y asignar flujos.

VERSIÓN PRELIMINAR

Tabla 20: Parámetros iniciales de la red vial

Atributos principales de la red vial

Atributo	Tipo	Descripción
Length	Real	Longitud del arco en kilómetros
Tipo	Entero	Código de tipo de vía (1000-9000)
AB_Carril	Entero	Número de carriles dirección A-B
BA_Carril	Entero	Número de carriles dirección B-A
AB_Vel	Real	Velocidad de flujo libre A-B (km/h)
BA_Vel	Real	Velocidad de flujo libre B-A (km/h)
AB_Cap	Real	Capacidad por carril (veh/h)
BA_Cap	Real	Capacidad por carril (veh/h)
AB_Capac	Real	Capacidad total
BA_Capac	Real	Capacidad total
AB_Alpha	BA_Capac	Parámetros Alpha de la función flujo demora (VDF)
BA_Alpha	BA_Capac	
Ab_Beta	BA_Capac	Parámetros Beta de la función flujo demora (VDF)
BA_Beta	BA_Capac	

Clasificación funcional de vías

Grupo	Tipo de vía	a	b	Capacidad	Factor Vel. Priv-Pub
1	AutopistaRegional/Nacional/Via expresa	4.00	2.00	1900	0.88
2-3	Vía arterial	2.55-4.00	2.65-3.35	1400-1900	0.76
4	Vía colectora	1.38-2.5	3.00-3.20	900-1400	0.75
5-6	Vía local y accesos	3.00	2.5	800-1000	0.74
7	Conectores centroide				

VERSION PRELIMINAR

Dataview1 - RedVial

AB_Cap	BA_Cap	AB_Vel	BA_Vel	AB_Alpha	BA_Alpha	AB_Beta	BA_Beta	AB_Capac	BA_Capac	AB_TmpPrv	BA_TmpPrv	AB_PrecargaPubHPM	BA_PrecargaPubHPM
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.46	0.46	–	–
1900	1900	75.00	75.00	4.00	4.00	2.00	2.00	3000.00	3000.00	0.07	0.07	31.50	31.50
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.58	0.58	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.58	0.58	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.58	0.58	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.58	0.58	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.16	0.16	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.13	0.13	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.32	0.32	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.24	0.24	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.36	0.36	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.39	0.39	–	–
1500	1500	50.00	50.00	4.00	4.00	2.00	2.00	3000.00	3000.00	0.50	0.50	108.25	–
1500	1500	50.00	50.00	4.00	4.00	2.00	2.00	3000.00	3000.00	0.20	0.20	108.25	–
900	900	24.00	24.00	3.00	3.00	2.50	2.50	900.00	900.00	1.76	1.76	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.47	0.47	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.18	0.18	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.18	0.18	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.39	0.39	–	–
1000	1000	22.00	22.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.23	0.23	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.29	0.29	–	–
1000	1000	22.00	22.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.20	0.20	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.29	0.29	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.17	0.17	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.42	0.42	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.27	0.27	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.23	0.23	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.29	0.29	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.23	0.23	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.29	0.29	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.18	0.18	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.18	0.18	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.17	0.17	–	–
1000	1000	18.00	18.00	3.00	3.00	2.50	2.50	1000.00	1000.00	0.32	0.32	–	–

Tabla 21: Parámetros iniciales de las ZAT

Variables socio económicas: Cantidad de hogares por NSE con y sin auto / Uso de suelo

VERSIÓN PRELIMINAR

ZAT	HH_B0	HH_M0	HH_A0	HH_B1	HH_M1	HH_A1
42191	312.33	1249.33	749.60	187.40	124.93	0.00
42192	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42193	130.08	156.09	104.06	26.02	104.06	130.08
42194	26.58	33.22	46.51	19.93	19.93	13.29
42195	23.03	138.17	161.20	230.28	276.34	184.22
42196	16.34	40.84	49.01	16.34	57.18	16.34
42197	103.72	103.72	103.72	34.57	17.29	51.86
42198	154.28	493.69	277.70	61.71	123.42	30.86
42199	36.40	36.40	291.23	254.83	364.04	291.23
42200	251.29	362.97	223.37	139.61	195.45	83.76
42201	193.64	266.25	217.84	72.61	48.41	193.64
42202	101.33	405.32	135.11	202.66	337.77	303.99
42203	157.91	236.87	197.39	236.87	394.79	394.79
42204	84.73	220.29	118.62	33.89	152.51	135.56
42205	235.90	306.66	212.31	70.77	117.95	94.36
42206	356.21	237.47	237.47	0.00	158.32	118.74
42207	231.66	154.44	154.44	77.22	38.61	115.83
42208	364.73	351.01	226.56	88.39	69.08	57.91
42209	65.75	230.12	65.75	32.87	164.37	131.50
42210	154.04	308.09	154.04	123.23	123.23	184.85
42211	119.49	334.56	95.59	71.69	215.07	119.49
42212	315.41	567.73	441.57	126.16	378.49	820.06
42213	277.61	872.50	356.93	396.59	1031.13	436.25
42214	336.71	288.61	192.41	625.32	1635.45	577.22
42215	152.71	152.71	203.61	814.44	1068.95	916.24
42216	416.54	1071.09	297.53	535.55	1071.09	535.55
42217	0.00	0.00	73.80	172.19	614.96	295.18
42218	80.65	181.47	221.80	181.47	161.31	221.80
42219	20.81	104.06	124.87	395.42	541.10	603.53
42220	83.13	221.67	138.55	193.96	304.80	471.06
42221	27.69	138.46	110.77	470.77	775.38	415.38
42222	104.58	69.72	69.72	557.74	766.89	627.45

VERSION PRELIMINAR

ZAT	US_COME	US_EDUC	US_INDU	US_RECR	US_SALU
6865	16764.56	27153.74	0.00	65099.57	3094.69
6869	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6873	0.00	189457.78	0.00	60593.13	0.00
6877	0.00	0.00	0.00	4849.01	0.00
6881	0.00	340.08	8703.68	0.00	0.00
6885	0.00	0.00	0.00	60345.34	0.00
6889	0.00	86.56	0.00	0.00	0.00
6893	0.00	1382.00	0.00	11949.42	0.00
6897	8974.47	279267.45	274054.06	9428.61	0.00
6901	0.00	0.00	0.00	10100.55	821.46
6905	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6909	0.00	0.00	0.00	25386.63	0.00
6913	338034.72	55459.35	0.00	7204.35	48455.24
6917	0.00	0.00	0.00	14341.57	0.00
6921	44434.08	0.00	0.00	0.00	0.00
6925	30500.18	0.00	172300.38	0.00	0.00
6929	0.00	0.00	0.00	6552.40	347.14
6933	0.00	2739.22	0.00	15132.22	0.00
6937	0.00	6503.86	0.00	9243.34	0.00
6941	0.00	23752.83	0.00	0.00	0.00
6945	0.00	0.00	0.00	41754.96	0.00
6949	0.00	32923.42	47779.65	8989.00	0.00
6953	12652.37	1139.96	0.00	11874.68	0.00
6955	0.00	6800.16	0.00	8190.24	324.50
6959	0.00	0.00	0.00	14987.71	0.00
6963	12314.01	36077.57	0.00	15206.68	155285.81
6967	0.00	1121.77	0.00	2619.84	0.00
6971	0.00	113472.57	0.00	4696.23	0.00
6975	0.00	8700.00	0.00	3600.00	0.00
6979	0.00	0.00	0.00	7467.92	0.00
6983	0.00	0.00	0.00	1888.48	0.00
6987	1825.42	32021.84	125318.50	8478.22	5127.40
6991	18253.69	0.00	0.00	17364.08	0.00
6995	50783.79	0.00	15937.88	0.00	1111.85

Tabla 22: Parámetros iniciales operacionales de las rutas

Características operacionales de las rutas de transporte público

Atributo	Tipo	Descripción
Route_ID	Integer (4 bytes)	Identificador único de cada ruta dentro de la red de rutas del modelo TRANSCAD. Permite relacionar la ruta con tablas, recorridos y resultados asociados.
Route_Name	Character	Nombre o código descriptivo de la ruta. Se utiliza para reconocerla fácilmente en mapas, reportes y procesos de edición.

VERSIÓN PRELIMINAR

BS00_2025	Integer (4 bytes)	Campo de escenario o clasificación asociado al año 2025. Se emplea para identificar la pertenencia de la ruta al escenario base o a una codificación específica del modelo.
Tipologia	Character	Clasificación cualitativa de la ruta según su tipo de servicio (Auto colectivo, CR, minibus)
2025	Integer (4 bytes)	Indicador numérico del año o escenario de modelación 2025 asociado a la ruta.
FrecHPM	Real (8 bytes)	Frecuencia de operación de la ruta en la hora pico de la mañana.
PCU	Real (8 bytes)	Unidad de vehículo equivalente o factor de conversión a vehículos equivalentes. Sirve para representar el efecto de la ruta sobre la capacidad o la congestión de la red.
Capveh	Real (8 bytes)	Capacidad vehicular asociada a la ruta o al servicio, expresada como número de vehículos disponibles o capacidad equivalente según la definición del modelo.
CapHPM	Real (8 bytes)	Capacidad de la ruta durante la hora pico de la mañana. Se usa para estimar la oferta disponible frente a la demanda de viajes.
Empresa	Character	Nombre, código o identificador de la empresa u operador responsable de la ruta.
ModoRutaHPM	Real (8 bytes)	Código o valor del modo de transporte de la ruta en la hora pico de la mañana. Permite diferenciar servicios como bus, metro, alimentador u otros modos definidos en TRANSCAD.
Length	Real (8 bytes)	Longitud total de la ruta dentro de la red, generalmente expresada en kilómetros o en la unidad espacial configurada en el modelo.

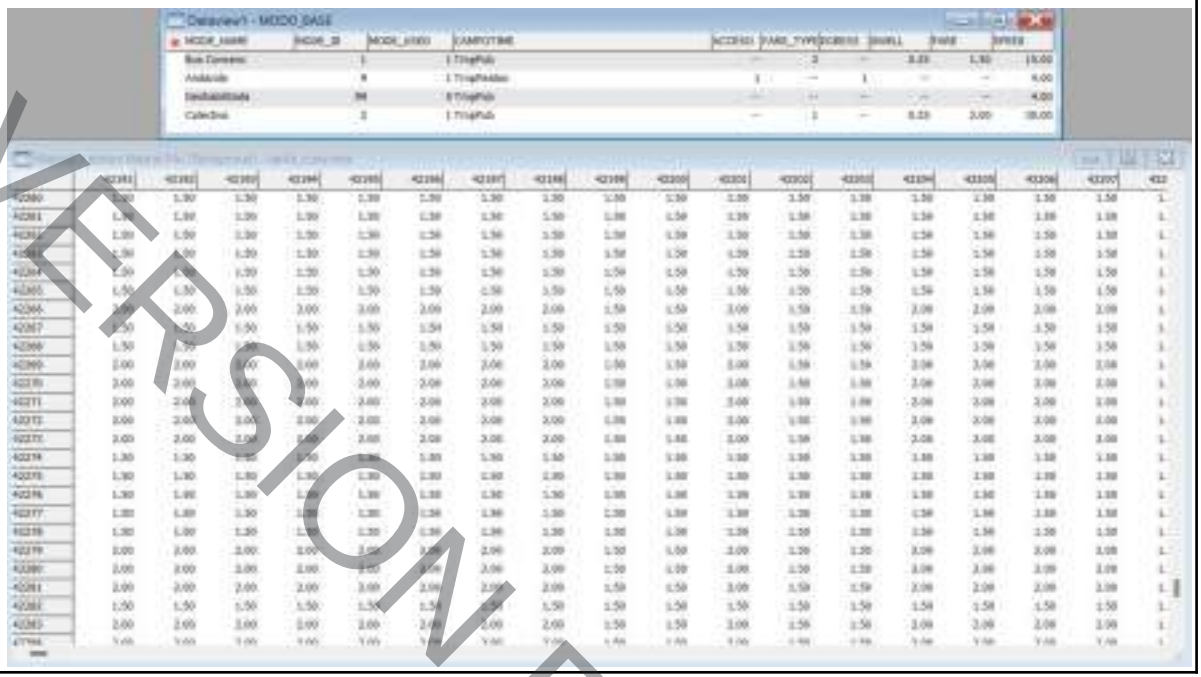
VERSIÓN PRELIMINAR

Route_ID	Route_Name	BS00_2025	FrecHPM	Tipologia	PCU	Capveh	CapHPM	BS00_2035	ModoRutaHPM
1	Linea16_RutaA	1	12.00	CR	1.50	15.00	75.00	1	1.00
2	Linea15_RutaB	1	12.00	CR	1.50	15.00	75.00	1	1.00
3	Linea15_RutaA	1	12.00	CR	1.50	15.00	75.00	1	1.00
5	Linea8_RutaB	1	10.00	CR	1.50	15.00	90.00	1	1.00
6	Linea8_RutaA	1	10.00	CR	1.50	15.00	90.00	1	1.00
7	LINEA7_RutaC	1	15.00	MINIBUS	1.50	25.00	100.00	1	1.00
8	LINEA7_RutaD	1	15.00	CR	1.50	15.00	60.00	1	1.00
9	Linea6_RutaA	1	12.00	CR	1.50	15.00	75.00	1	1.00
10	Linea5_RutaB	1	12.00	CR	1.50	15.00	75.00	1	1.00
11	LINEA5_RutaC	1	12.00	CR	1.50	15.00	75.00	1	1.00
12	Linea5_RutaA	1	12.00	CR	1.50	15.00	75.00	1	1.00
13	Linea4_RutaB	1	15.00	CR	1.50	15.00	60.00	1	1.00
14	Linea3_RutaD	1	15.00	CR	1.50	15.00	60.00	1	1.00
15	Linea3_RutaB	1	15.00	CR	1.50	15.00	60.00	1	1.00
16	Linea3_RutaC	1	15.00	CR	1.50	15.00	60.00	1	1.00
17	Linea1_RutaB	1	12.00	CR	1.50	15.00	75.00	1	1.00
18	Linea1_RutaA	1	12.00	CR	1.50	15.00	75.00	1	1.00
19	Linea9_RutaA	1	6.00	CR	1.50	15.00	150.00	1	1.00
20	CERROPON-RUTA A (#2)	1	7.00	CR	1.50	15.00	128.57	1	1.00
21	CERROPON-RUTA B (#2)	1	7.00	CR	1.50	15.00	128.57	1	1.00
22	CERROPON-RUTA C (#2)	1	7.00	CR	1.50	15.00	128.57	1	1.00
23	CERROPON-RUTA D (#2)	1	8.00	CR	1.50	15.00	112.50	1	1.00
24	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA A (#2)	1	8.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	37.50	1	2.00
25	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA B (#2)	1	6.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	50.00	1	2.00
26	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA C (#2)	1	6.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	50.00	1	2.00
27	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA D (#2)	1	10.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	30.00	1	2.00
28	EL MILAGRO DE SIPAN-RUTA A (#2)	1	10.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	30.00	1	2.00
29	EL MILAGRO DE SIPAN-RUTA B (#2)	1	6.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	50.00	1	2.00
30	EL RALLY-RUTA A (#2)	1	6.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	50.00	1	2.00
31	EL RALLY-RUTA B (#2)	1	6.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	50.00	1	2.00
32	ELCHASQUI_A (#2)	1	9.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	33.33	1	2.00
33	ELCHASQUI_B (#2)	1	8.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	37.50	1	2.00
34	ELCHASQUI_C (#2)	1	6.00	AUTO COLECTIVO	1.00	5.00	50.00	1	2.00
35	ELCHASQUI_E (#2)	1	10.00	CR	1.50	15.00	90.00	1	1.00
36	ELCHASQUI_D (#2)	1	10.00	CR	1.50	15.00	90.00	1	1.00
37	EMTRAMV_B (#2)	1	6.00	CR	1.50	15.00	150.00	1	1.00

VERSION PRELIMINAR

Tabla 23: Parámetros iniciales de costo de tarifa

Tarifa por modo y zona



11.1.3 Configuración inicial del escenario base

Una vez integrados los insumos, se procedió a la configuración operativa del escenario base del modelo. Esta etapa implicó la definición del año base, el periodo de análisis y la activación de las redes y matrices correspondientes a dicho escenario. En la práctica, ello significó establecer una versión inicial del sistema de movilidad de Chiclayo con atributos coherentes entre red vial, red de transporte público, estructura zonal y demanda observada.

La configuración del escenario base comprendió también la definición de las condiciones de operación de la red. Para la red vial se activaron atributos como longitud, jerarquía funcional, capacidad, velocidad de flujo libre, sentido de circulación, penalidades de giro y demás variables requeridas por la asignación. Para la red de transporte público se definieron rutas, secuencia de paradas, tiempos operativos, frecuencia de servicio, tarifa, tiempo de acceso, tiempo de espera y criterios de transferencia.

De forma paralela, se activaron los archivos de demanda inicial y las matrices asociadas a cada componente del modelo, diferenciando según modo y período cuando correspondía. Esto permitió contar con una estructura mínima de funcionamiento para ejecutar la secuencia metodológica del modelo y, posteriormente, ajustar los resultados a través del proceso de retroalimentación.

VERSION PRELIMINAR

Figura 34: Definición del escenario

```
Scenario "E000000\\HPM\\2025"

    Anual = "2025"
    Periodo = "HPM"
    [Scenario Folder] = "%Base Folder%\\Datos\\Escenarios\\E000000\\HPM\\2025"
    MTX_PRV = "%Comun Folder%\\Matricesbase\\MATPrvHPM2025.mtx"
    MTX_PUB = "%Comun Folder%\\Matricesbase\\MATPUBHPM2025.mtx"
    MTX_MG4E_PrT_Base = "%Comun Folder%\\Matricesbase\\MG4EPrTHPM2025Base.mtx"
    MTX_MG4E_PuT_Base = "%Comun Folder%\\Matricesbase\\MG4EPuTHPM2025Base.mtx"
    Zonas_HH_P = "%Comun Folder%\\Demografia\\HH2025.bin"
    Zonas_US_P = "%Comun Folder%\\Demografia\\US2025.bin"
    [Disable Macros] = null
    FeedbackConvergenceRMSE = 5
    MaxIterations = 5
    IteraPrv = 60
    IteraPubRC = 5
    ConvergenciaPrv = 0.001
    FADJ_PUT = 1
    M_SRuta = "BS00"
    M_RVial = "RV00"
    P_RVial = "RV100"
EndScenario
```

11.1.4 Parámetros iniciales de modelación

La inicialización del MET requirió definir un conjunto de parámetros que gobiernan el funcionamiento del modelo y que condicionan tanto la construcción de impedancias como la asignación de flujos. Estos parámetros no deben entenderse como valores aislados, sino como parte de una estructura de modelación que articula la representación de la oferta y la demanda.

Entre los principales parámetros definidos en esta etapa se encuentran los asociados a la red vial, tales como velocidades iniciales, capacidades por tipo de vía, parámetros de las funciones volumen-demora, restricciones de circulación y factores de equivalencia vehicular. Estos elementos permiten estimar los tiempos de viaje iniciales y actualizar posteriormente las condiciones de operación de la red en función de la carga asignada.

Asimismo, se configuraron parámetros vinculados al transporte público, entre ellos velocidad comercial, frecuencia, tiempo medio de espera, penalidades por transferencia, velocidad de caminata, tiempos de acceso y egreso, y estructura tarifaria. Estos componentes son fundamentales para construir el costo generalizado de viaje del transporte público y para representar adecuadamente su competitividad frente al transporte privado.

A ello se suman los parámetros de comportamiento asociados a la demanda, como los factores de fricción o impedancia utilizados en la distribución de viajes, los parámetros del modelo de elección modal y los criterios de balance entre producciones y atracciones. También forman parte de esta categoría los parámetros de convergencia del modelo, utilizados para controlar la estabilidad de los resultados entre iteraciones sucesivas del proceso de retroalimentación.

VERSIÓN PRELIMINAR

Tabla 24: Principales parámetros del modelo

Factores relacionados a la velocidad y tiempo de viaje

```
Section = "Parametros|Factores"

    Args.Min_Tmp_Viaje_Motor = {
        "Type":"double",
        "Caption":"Mínimo tiempo viajes motorizados en
        "Value":0.01
    }
    Args.[Walk Speed] = {
        "Type":"double",
        "Caption":"Velocidad de Caminata (kmh)",
        "Value":4
    }
    Args.[MinPub Speed] = {
        "Type":"double",
        "Caption":"Vel. Min. para penalizar Rutas de TP
        "Value":10
    }
    Args.[MaxPub Speed] = {
        "Type":"double",
        "Caption":"Vel. Max. para penalizar Rutas de TP (kmh)",
        "Value":30
    }
    Args.FPP_EXP = {
        "Type":"double",
        "Caption":"Factor Vel. Privado-Publico Via Expresa",
        "Description":"Factor Vel. Privado-Publico Via Expresa Nacional-Regional",
        "Value":0.882
    }
    Args.FPP_LOC = {
        "Type":"double",
        "Caption":"Factor Vel. Privado-Publico Via Local",
        "Description":"Factor Vel. Privado-Publico Via Local",
        "Value":0.344
    }
    Args.FPP_ART = {
        "Type":"double",
        "Caption":"Factor Vel. Privado-Publico Via Arterial",
        "Description":"Factor Vel. Privado-Publico Via Arterial",
        "Value":0.761
    }
    Args.FPP_COL = {
        "Type":"double",
        "Caption":"Factor Vel. Privado-Publico Via Colectora",
        "Description":"Factor Vel. Privado-Publico Via Colectora",
        "Value":0.754
```

Factores relacionados a la ocupación de pasajeros y PCU

VERSIÓN PRELIMINAR

```
Section = "Parametros|Conversion"

        Args.Pax_Privado = {
            "Type":"double",
            "Caption":"Ocupacion promedop de Auto (Pax/Auto
            "Description":"Pasajeros/Auto",
            "Value":1.82
        }
        Args.Pax_Taxi = {
            "Type":"double",
            "Caption":"Ocupacion promedio de Taxi (Pax/Taxi
            "Description":"Pasajeros/Taxi",
            "Value":1.64
        }
        Args.PCU_Privado = {
            "Type":"double",
            "Caption":"Auto Privado en PCU",
            "Value":1
        }
        Args.PCU_CR = {
            "Type":"double",
            "Caption":"CR y PCU Equivalente",
            "Value":1.25
        }
        Args.PCU_MIcrobus = {
            "Type":"double",
            "Caption":"MIcrobus en PCU Equivalente",
            "Value":2.5
        }
        Args.PCU_MInibus = {
            "Type":"double",
            "Caption":"MInibus en PCU Equivalente",
            "Value":2.5
        }
        Args.PCU_Omnibus = {
            "Type":"double",
            "Caption":"Omnibus en PCU Equivalente",
            "Value":3
        }
        Args.PCU_C2L = {
            "Type":"double",
            "Caption":"Camion Ligero en PCU Equivlante",
            "Value":1.8
        }
        Args.PCU_C2P = {
            "Type":"double",
            "Caption":"Camion 2E Pesados en PCU Equivalente",
            "Value":2.5
```

Factores relacionados al VOT

```
Section = "Parametros|VOT_Costos"

        Args.VOT_PrT_LIG = {
            "Type":"double",
            "Caption":"VOT Vehiculos Ligeros Auto,Taxi (S/./min) 2025",
            "Description":"VOT Autos",
            "Value":0.201
        }
        Args.VOT_PrT_C2L = {
            "Type":"double",
            "Caption":"VOT Vehiculos C2L (S/./min) 2025-Encuestas D/O Cami
            "Description":"VOT Camiones ligeros",
            "Value":0.08
        }
        Args.VOT_PrT_C2P = {
            "Type":"double",
            "Caption":"VOT Vehiculos C2P (S/./min) 2025-Encuestas D/O Cami
            "Description":"VOT Camiones pesados",
            "Value":1.02
        }
        Args.COSTO_TR_TM = {
            "Type":"double",
            "Caption":"Tarifa mínimo en servicio de Taxi 2025",
            "Description":"Tarifa base de Taxi",
            "Value":3.5
        }
        Args.COSTO_TR_KM = {
            "Type":"double",
            "Caption":"Tarifa de (S/./km) en servicio de Taxi",
            "Description":"Tarifa /km de Servicio de Taxi",
            "Value":0.72
        }
        Args.COSTO_TR_CR = {
            "Type":"double",
            "Caption":"Penalidad por congestion de tarifa variable servicio de Taxi",
            "Description":"Factor por Congestion de Servicio de Taxi",
            "Value":1.25
        }
        Args.VOT_PuB = {
            "Type":"double",
            "Caption":"VOT Viajeros de Transporte Publico S/./min 2025",
            "Description":"VOT de PuB antes 0.0455",
            "Value":0.0455
```

Factores relacionados al nivel de convergencia e iteraciones

VERSION PRELIMINAR

```
Section = "Parametros|Iteracion"

    Args.Iteration = {
        "Type":"int",
        "Caption":"Inicio Iteracion Feedback",
        "Description":"Iteration number. Use it to run this model multiple times
        "Value":1
    }
    Args.RMSE = {
        "Type":"hidden",
        "Caption":"variable de RMSE de convergencia del MSA en X",
        "Value":1
    }
    Args.PasaCero = {
        "Type":"hidden",
        "Caption":"Variable igual 0",
        "Description":"Variable igual 0 para inicializar variables en cada escen
        "Value":0
    }
    Args.FeedbackConvergencieRMSE = {
        "Type":"double",
        "Caption":"FeedbackConvergencia maximo del MSA RMSE en X",
        "Description":"RMSE value 1",
        "Value":5
    }
    Args.MaxIterations = {
        "Type":"int",
        "Caption":"Maxima Iteracion Feedback",
        "Description":"Maximum number of iterations that this model can run (Feedback
        "Value":5
    }
    Args.IteraPrv = {
        "Type":"int",
        "Caption":"Max Iteracion de Asignacion Privado en PUE",
        "Description":"Maximo iteracion en Asignacion Privado en PUE 60",
        "Value":60
    }
    Args.ConvergenciaPrv = {
        "Type":"double",
        "Caption":"Max Convergencia (gap) de Asignacion Privado",
        "Description":"Maximo iteracion en Asignacion Privado 0.0001",
        "Value":0.0001
    }
    Args.IteraPubRC = {
        "Type":"int",
        "Caption":"Max Iteracion TP con Restriccion de Capacidad",
        "Description":"Max Iteracion TP con Restriccion de Capacidad 5",
        "Value":5
```

Factores relacionados con las tasas generación/atracción - distribución

```
Section = "Generacion|Tasa_Viajes"

    Args.Tasas_Viajes_Hogar = {
        "Type":"array",
        "Caption":"Tasas de viajes por Hogar (1 Hora)",
        "Style":"THHStyle",
        "Value":{
            {"Hogar1_Bajo_0","THH1_B0",0.217506,0.217506},
            {"Hogar1_Medio_0","THH1_M0",0.517242,0.517242},
            {"Hogar1_Alto_0","THH1_A0",0.343424,0.343424},
            {"Hogar1_Bajo_1","THH1_B1",0.241017,0.241017},
            {"Hogar1_Medio_1","THH1_M1",0.430220,0.430220},
            {"Hogar1_Alto_1","THH1_A1",0.363920,0.363920},
            {"Hogar2_Bajo_0","THH2_B0",0.140140,0.140140},
            {"Hogar2_Medio_0","THH2_M0",0.201274,0.201274},
            {"Hogar2_Alto_0","THH2_A0",0.151809,0.151809},
            {"Hogar2_Bajo_1","THH2_B1",0.118657,0.118657},
            {"Hogar2_Medio_1","THH2_M1",0.266741,0.266741},
            {"Hogar2_Alto_1","THH2_A1",0.158172,0.158172}}
    Args.Tasas_Viajes_Uso_Suelo = {
        "Type":"array",
        "Caption":"Tasas de viajes por Uso de Suelos (m2) (1 hora)",
        "Style":"FDStyle",
        "Value":{
            {"Comercio","T_Come",0.01674,0.01674},
            {"Industrial","T_Indu",0.001149,0.001149},
            {"Educacion","T_Educ",0.004763,0.004763},
            {"Recreacion","D_Recr",0.00386,0.00386},
            {"Salud","D_Salu",0.016371,0.016371}}
    }

Section = "Distribucion|Gamma"

    Args.GammaFunction = {
        "Type":"array",
        "Caption":"Parametros de funcion Gamma",
        "Style":"FDStyle",
        "Value":{
            {"HPM","BHI (Trabajo y Estudio)","Bajo","BHI_TE",1,-1.694946,0.897518},
            {"HPM","BHI (Trabajo y Estudio)","Medio","BHI_TE",1,-1.999024,0.113435},
            {"HPM","BHI (Trabajo y Estudio)","Alto","BHI_TE",1,-2.33168,0.128126},
            {"HPM","OM (Otros Motivos)","Bajo","OM",1,-1.893803,0.129771},
            {"HPM","OM (Otros Motivos)","Medio","OM",1,-2.233172,0.141433},
            {"HPM","OM (Otros Motivos)","Alto","OM",1,-1.340697,0.086949},
```

VERSION PRELIMINAR

11.1.5 Algoritmos y secuencia de ejecución

Desde el punto de vista computacional, la inicialización implicó preparar la secuencia lógica de ejecución del modelo dentro de TransCAD. Esta secuencia fue estructurada de modo que cada etapa tome como input los resultados de la etapa anterior y, a su vez, produzca salidas que puedan ser reingresadas al sistema en el ciclo de retroalimentación.

El flujo general de ejecución se estructuró del siguiente modo: primero, lectura de la base zonal y de los vectores de producción y atracción; segundo, carga de matrices de impedancia inicial; tercero, ejecución del procedimiento de distribución para construir matrices OD preliminares; cuarto, aplicación del modelo de elección modal para segmentar la demanda por modo; y quinto, asignación de los flujos resultantes sobre la red vial y sobre la red de transporte público. A partir de esta primera corrida, los tiempos y costos obtenidos en la asignación alimentan una nueva iteración de distribución y partición modal, repitiéndose el ciclo hasta alcanzar estabilidad en los resultados.

En términos funcionales, esta lógica permite que el modelo no dependa exclusivamente de impedancias iniciales teóricas, sino que ajuste progresivamente la interacción entre oferta y demanda conforme a las condiciones efectivas de operación del sistema. De este modo, la inicialización no solo habilita la primera corrida del modelo, sino que establece el punto de partida del mecanismo de equilibrio entre demanda estimada y desempeño de red.

Tabla 25: Principales algoritmos de asignación

Pathfinder Equilibrium - PFE

`obj.Method = "PFE"`
`obj.Alpha = 2`
`obj.Beta = 4`
`obj.WalkAlpha = 0`
`obj.WalkBeta = 1`
`obj.Iterations = Iteraciones`
`obj.Convergence = 0.01`
`obj.RouteFields({Capacity: "Capacidade"})`
`obj.ODLayerType = "Node"`
`obj.FlowTable = Pub_Flw`
`obj.WalkFlowTable = Pub_WFl`
`obj.OnOffTable = Pub_Ono`
`obj.ForceThreads = Args.NumeroDeHilos`
`obj.TransitLinkFlowTable = Pub_Agg`
`obj.ReportLoadedSkims({SkimVariables: {`
`"Generalized Cost",`
`"Fare",`
`"In-Vehicle Time",`
`"Initial Wait Time",`
`"Transfer Wait Time",`
`"Transfer Penalty Time",`
`"Transfer Walk Time",`
`"Access Walk Time",`
`"Egress Walk Time",`
`"Access Drive Time",`
`"Dwelling Time",`
`"Total Time",`
`"Number of Transfers",`
`"In-Vehicle Distance"},`
`OutputSkimMatrix: {MatrixFile: Pub_Skim, Matrix: "Skim Publico", Compression: true, ColumnMajor: false}})`
`ok = obj.Run()`
`results = obj.GetResults()`

Path User Equilibrium - PUE

VERSIÓN PRELIMINAR

```
obj = CreateObject("Network.Assignment")
obj.ResetClasses()
obj.LayerDB = RedVial
obj.ForceThreads = Args.NumeroDeHilos
obj.LoadNetwork(PrTNet)
obj.Method= "PLE"
obj.Iterations = PrT_Itera
obj.Convergence = 1e-4
obj.DelayFunction = (Function:  "Sig_VDF.vdf",
                     Fields: ["TmpPrv","Capac","Alpha", "Beta", "PrecargaTotal"],
                     Defaults: [, , , , , , 0, 0.15, 0, 0],
obj.DemandMatrix([MatrixFile: P_PrT, Matrix: "Privado"]) // RowIndex: "Origen", ColumnIndex: "Destino"
obj.DemandMatrix([MatrixFile: P_PrT, Matrix: "C2L"])
obj.DemandMatrix([MatrixFile: P_PrT, Matrix: "C2P"])
obj.Proportionality([Iterations: 20, Convergence: 0.001])
//Filter = "Modo = null"
obj.AddClass([Demand: "Privado", PCE: 1.0, VOI: VOT_PrT, LinkTollField: "PEAJE_LIE", TurnAttributes: "Penalty", ExclusionFilter: "Modo = null"])
obj.AddClass([Demand: "C2L", PCE: PCU_C2L, VOI: VOT_C2L, LinkTollField: "PEAJE_LIE", TurnAttributes: "Penalty", ExclusionFilter: "NCAM1=1 and Modo='PrT'"])
obj.AddClass([Demand: "C2P", PCE: PCU_C2P, VOI: VOT_C2P, LinkTollField: "PEAJE_C2P", TurnAttributes: "Penalty", ExclusionFilter: "NCAM2=1 and Modo='PrT'"])
obj.FlowTable = Pre_Flujo
obj.PathFile = PathFile_
obj.IterationLog = PrT_Iteracion
```

Formulaciones para el cálculo de tiempos y velocidades

```
// Vías regionales (ggrupo=1)
    obj.ClearFilter()
    obj.ClearOperations()
    obj.ApplyFilter("ggrupo=1")
    obj.Operation({FieldName: "AB_VelPub"=Per, Formula: "If AB_VelPrvAsg"+Per+"<="+String(VelPublPen)+" then AB_VelPrvAsg"=Per+" else AB_VelPrvAsg"+Per+"*"+Stris
    obj.Operation({FieldName: "BA_VelPub"=Per, Formula: "If BA_VelPrvAsg"+Per+"<="+String(VelPublPen)+" then BA_VelPrvAsg"=Per+" else BA_VelPrvAsg"+Per+"*"+Stris
    obj.Calculate()

//Vías arteriales ggrupo=2 y 3
    obj.ClearFilter()
    obj.ClearOperations()
    obj.ApplyFilter("(ggrupo=2 and ggrupo<=3)")
    obj.Operation({FieldName: "AB_VelPub"=Per, Formula: "If AB_VelPrvAsg"+Per+"<="+String(VelPublPen)+" then AB_VelPrvAsg"=Per+" else AB_VelPrvAsg"+Per+"*"+Stris
    obj.Operation({FieldName: "BA_VelPub"=Per, Formula: "If BA_VelPrvAsg"+Per+"<="+String(VelPublPen)+" then BA_VelPrvAsg"=Per+" else BA_VelPrvAsg"+Per+"*"+Stris
    obj.Calculate()

//Vías colectoras (ggrupo=4)
    obj.ClearFilter()
    obj.ClearOperations()
    obj.ApplyFilter("ggrupo=4")
    obj.Operation({FieldName: "AB_VelPub"=Per, Formula: "If AB_VelPrvAsg"+Per+"<="+String(VelPublPen)+" then AB_VelPrvAsg"=Per+" else AB_VelPrvAsg"+Per+"*"+Stris
    obj.Operation({FieldName: "BA_VelPub"=Per, Formula: "If BA_VelPrvAsg"+Per+"<="+String(VelPublPen)+" then BA_VelPrvAsg"=Per+" else BA_VelPrvAsg"+Per+"*"+Stris
    obj.Calculate()

//Vías locales y accesos (ggrupo 5 y 6)
    obj.ClearFilter()
    obj.ClearOperations()
    obj.ApplyFilter("(ggrupo=5 and ggrupo<=6)")
    obj.Operation({FieldName: "AB_VelPub"=Per, Formula: "If AB_VelPrvAsg"+Per+"<="+String(VelPublPen)+" then AB_VelPrvAsg"=Per+" else AB_VelPrvAsg"+Per+"*"+Stris
    obj.Operation({FieldName: "BA_VelPub"=Per, Formula: "If BA_VelPrvAsg"+Per+"<="+String(VelPublPen)+" then BA_VelPrvAsg"=Per+" else BA_VelPrvAsg"+Per+"*"+Stris
    obj.Calculate()

////Velocidad en publico final
    obj.ClearFilter()
    obj.ClearOperations()
//  obj.ApplyFilter()
    obj.Operation({FieldName: "AB_VelPub"=Per, Formula: "min("<String(VelPublMax)+",AB_VelPub"+Per+")"})
    obj.Operation({FieldName: "BA_VelPub"=Per, Formula: "min("<String(VelPublMax)+",BA_VelPub"+Per+")"})
    obj.Calculate()
```

11.1.6 Controles e indicadores de verificación inicial

Como parte de la inicialización se implementaron controles de consistencia orientados a verificar que los insumos y estructuras del modelo se encontraran correctamente cargados antes de iniciar las

VERSIÓN PRELIMINAR

corridas de estimación. Estos controles constituyen una etapa crítica, ya que permiten identificar errores de conexión, duplicidades, omisiones de atributos, discontinuidades de red o inconsistencias en matrices antes de que afecten las etapas de calibración.

Entre los principales indicadores de verificación inicial se consideraron la conectividad topológica de la red, la correcta vinculación entre centroides y conectores, la integridad de los identificadores zonales, la correspondencia entre tablas de atributos y capas espaciales, el balance preliminar entre producciones y atracciones, y la revisión de valores atípicos o nulos en variables fundamentales de red y demanda.

Adicionalmente, se verificó la consistencia de los tiempos de viaje iniciales, la continuidad de rutas de transporte público, la integridad de las matrices semilla y la coherencia general entre el tamaño del sistema modelado y los volúmenes observados en campo. Estos indicadores no constituyen aún la calibración del modelo, pero sí representan una validación operativa indispensable para garantizar que la ejecución del modelo de cuatro etapas se realice sobre una base técnicamente sólida.

11.2 Modelo de Generación

La etapa de generación de viajes tiene por objetivo estimar la cantidad de desplazamientos producidos y atraídos por cada Zona de Análisis de Tránsito (ZAT), a partir de las características sociodemográficas de los hogares y de la localización de actividades urbanas. En el Modelo Estratégico de Transporte (MET) de Chiclayo, esta etapa constituye la base para la posterior construcción de las matrices origen-destino, ya que define cuántos viajes se originan y cuántos son atraídos por cada zona antes de su distribución espacial, partición modal y asignación sobre la red.

Metodológicamente, se adoptó un enfoque de clasificación cruzada basado en tasas para la estimación de las producciones, y un enfoque de tasas de atracción por uso de suelo para la estimación de las atracciones. Esta combinación permite representar, por un lado, el comportamiento de viaje de los hogares según sus atributos y, por otro, la capacidad de las distintas zonas para atraer desplazamientos en función de la intensidad y naturaleza de las actividades que albergan.

Con el fin de capturar de manera más precisa los patrones diferenciados de movilidad observados en la ciudad, la generación fue segmentada según disponibilidad de vehículo en el hogar, nivel socioeconómico y motivo de viaje. Adicionalmente, para el componente de atracción se incorporó la estructura de usos del suelo, permitiendo vincular la demanda de viajes con la organización funcional del territorio.

Específicamente, los hogares han sido clasificados según:

- Disponibilidad de vehículo:
  - Hogares con automóvil
  - Hogares sin automóvil
- Nivel socioeconómico (NSE):
  - Alto
  - Medio
  - Bajo
- Motivo de viaje:
  - Motivo principal: Trabajo y estudio
  - Motivos secundarios: Salud, recreación, compras, acompañamiento y otros
- Uso de suelo:

VERSIÓN PRELIMINAR

- Uso comercial
- Uso industrial
- Uso educativo
- Uso de salud
- Uso recreativo
- Uso residencial
- Otros usos urbanos

Esta segmentación permite representar adecuadamente las diferencias en la generación de viajes asociadas a:

- el acceso a medios de transporte,
- la localización de oportunidades (empleo, educación, servicios),
- y las restricciones económicas de los hogares.

Asimismo, la desagregación por motivo de viaje distingue entre desplazamientos obligados (trabajo/estudio) y no obligados (otros motivos), los cuales presentan comportamientos significativamente distintos en términos de frecuencia, distancia y sensibilidad al costo de viaje.

El principal insumo para la generación de viajes ha sido la Encuesta Origen Destino a Hogares (EODH 2025), levantamiento de 4,514 hogares y 21,784 viajes.

11.2.1 Producción de viajes

La producción de viajes representa el número de desplazamientos generados por los hogares localizados en cada zona de análisis.

Para la producción de viajes se ha utilizado un modelo de "Análisis por categoría Simple (ACM)", esta consiste en estimar los viajes basados en los hogares de acuerdo con segmentaciones de nivel socioeconómico (bajo, medio y alto) y, posesión de vehículo en el hogar (si tiene o no auto).

Segmentación de la demanda: Con el objetivo de capturar adecuadamente las diferencias en el comportamiento de viaje, la población ha sido segmentada según:

- Disponibilidad de vehículo:
  - Hogares con automóvil
  - Hogares sin automóvil
- Nivel socioeconómico (NSE):
  - Nivel A (alto)
  - Nivel B (medio)
  - Nivel C (bajo)
- Motivo de viaje:
  - Motivo principal: Trabajo y estudio
  - Motivos secundarios: Salud, recreación, compras, acompañamiento y otros.

VERSIÓN PRELIMINAR

Esta segmentación permite representar diferencias significativas en la generación de viajes asociadas al ingreso, acceso a transporte y necesidades de movilidad.

La estimación de la producción de viajes se desarrolló a partir de un enfoque basado en tasas, utilizando como insumo principal la información proveniente de la encuesta domiciliaria de movilidad. Este enfoque permitió calcular razones promedio de viajes por hogar para distintos segmentos de demanda, y posteriormente expandir dichas tasas a nivel zonal según la estructura de hogares de cada ZAT.

Los viajes basados en el hogar, para el propósito (*p*) y la categoría de hogar (*n*), se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$P_{ipn} = H_{in} \text{ x } T_{pn}$$

Donde:

P_{ipn} = número de viajes producidos en la zona *i*, para el propósito p y la categoría de hogar *n*.
H_{in} = número de hogares en la zona *i*, correspondientes a la categoría de hogar *n*.
T_{pn} = tasa de viajes por propósito p y categoría de hogar *n*.

La tasa de viajes se estimó mediante la siguiente formulación

Ts = Vs / Hs

Donde:

- Ts: tasa de generación de viajes del segmento s
- Vs: número total de viajes observados en el segmento s
- Hs: número total de hogares del segmento s

A partir del procesamiento de la información de encuestas, se calcularon tasas de generación de viajes (ratio de viajes por hogar) diferenciadas por cada segmento definido.

Las tasas obtenidas se presentan a continuación:

Tabla 26: Tasas de generación de viajes hogares sin auto

NSE	Motivo Principal	Motivo Secundario
Nivel A	0.363	0.158
Nivel B	0.438	0.266
Nivel C	0.241	0.118

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Tasas de generación de viajes hogares con auto

VERSIÓN PRELIMINAR

NSE	Motivo Principal	Motivo Secundario
Nivel A	**0.343**	**0.151**
Nivel B	**0.517**	**0.281**
Nivel C	0.217	0.140

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Cantidad de hogares por nivel socioeconómico y disponibilidad de autos

VERSION PRELIMINAR

ZAT	HH_B0	HH_M0	HH_A0	HH_B1	HH_M1	HH_A1
1	312	1,249	750	187	125	-
2	130	156	104	26	104	130
3	27	33	47	20	20	13
4	23	138	161	230	276	184
5	16	41	49	16	57	16
6	104	104	104	35	17	52
7	154	494	278	62	123	31
8	36	36	291	255	364	291
9	251	363	223	140	195	84
10	194	266	218	73	48	194
11	101	405	135	203	338	304
12	158	237	197	237	395	395
13	85	220	119	34	153	136
14	236	307	212	71	118	94
15	356	237	237	-	158	119
16	232	154	154	77	39	116
17	365	351	227	88	69	58
18	66	230	66	33	164	131
19	154	308	154	123	123	185
20	119	335	96	72	215	119
21	315	568	442	126	378	820
22	278	872	357	397	1,031	436
23	337	289	192	625	1,635	577
24	153	153	204	814	1,069	916
25	417	1,071	298	536	1,071	536
26	-	-	74	172	615	295
27	81	181	222	181	161	222
28	21	104	125	395	541	604
29	83	222	139	194	305	471
30	28	138	111	471	775	415
31	105	70	70	558	767	627
32	185	415	185	185	692	46
33	301	328	109	27	191	55
34	274	377	137	172	103	34
35	242	909	606	61	364	364
36	115	253	161	46	253	184
37	52	235	235	183	339	104
38	557	1,022	1,161	-	-	
39	51	171	85	51	427	51
40	106	169	63	106	169	190
41	60	142	15	30	45	30
42	58	175	58	136	175	234
43	25	42	42	25	59	8
44	167	476	309	71	48	24
45	280	520	400	400	400	400
46	383	574	813	335	287	239
47	57	114	143	114	114	114

VERSIÓN PRELIMINAR

ZAT	HH_B0	HH_M0	HH_A0	HH_B1	HH_M1	HH_A1
48	125	209	209	501	794	836
49	45	182	182	91	272	182
50	192	329	219	164	110	137
51	372	418	325	418	836	836
52	206	979	258	515	825	670
53	110	-	37	329	513	439
54	171	513	171	-	128	-
55	338	760	211	84	296	-
56	498	548	299	100	100	-
57	869	511	307	153	153	51
58	542	428	283	98	206	241
59	215	345	259	43	259	431
60	154	154	77	154	538	653
61	100	201	100	75	352	301
62	266	133	266	266	532	355
63	279	372	279	-	46	-
64	237	1,064	1,064	118	1,360	237
65	312	580	357	268	178	223
66	642	1,331	780	-	-	-
67	358	1,343	627	179	448	269
68	620	1,612	620	310	682	496
69	880	954	293	147	367	367
70	183	1,223	306	306	306	367
71	573	1,289	644	-	215	430
72	240	720	347	80	507	240
73	409	558	893	37	112	149
74	465	1,302	837	279	883	697
75	54	108	162	703	865	541
76	149	782	261	261	596	149
77	226	407	407	407	859	633
78	134	538	314	403	627	762
79	741	1,090	959	-		-
80	116	233	145	29	262	87
81	404	1,413	555	-	807	-
82	131	44	131	435	653	523
83	370	74	148	-	-	37
84	280	521	160	80	-	40
85	544	786	363	242	181	363
86	250	417	209	459	334	334
87	342	147	195	391	488	342
88	91	274	46	457	549	640
89	-	181	45	91	1,088	453
90	69	139	208	104	312	208
91	719	2,158	916	523	1,145	916
92	108	614	72	217	469	289
93	383	1,405	255	43	213	213
94	314	494	763	90	180	45
95	175	1,169	584	117	1,169	467
96	234	983	281	47	140	-
97	26	13	26	155	194	168

VERSIÓN PRELIMINAR

Las tasas estimadas reflejan diferencias importantes en los patrones de movilidad:

- Los hogares con automóvil presentan, en general, mayores tasas de viajes por motivo principal, especialmente en el nivel socioeconómico medio, lo que sugiere una mayor participación en actividades laborales y educativas.
- En los hogares sin automóvil, si bien las tasas son menores para viajes principales, se observa una proporción significativa de viajes secundarios, lo que evidencia la necesidad de desplazamientos para actividades cotidianas, aun con restricciones de acceso al transporte privado.
- El nivel socioeconómico bajo (Nivel C) muestra una mayor proporción relativa de viajes por motivos secundarios, lo que puede estar asociado a una menor accesibilidad a servicios cercanos y mayor necesidad de desplazamientos para cubrir actividades básicas.

Figura 35: Aplicación de las tasas de generación - TransCAD

```
Args.Tasas_Viajes_Hogar = {
    "Type":"array",
    "Caption":"Tasas de viajes por Hogar (1
    "Style":"THHStyle",
    "Value":{
        {"Hogar1_Bajo_0","THH1_B0",0.217506,
        {"Hogar1_Medio_0","THH1_M0",0.517242
        {"Hogar1_Alto_0","THH1_A0",0.343424,
        {"Hogar1_Bajo_1","THH1_B1",0.241017,
        {"Hogar1_Medio_1","THH1_M1",0.438228
        {"Hogar1_Alto_1","THH1_A1",0.363920,
        {"Hogar2_Bajo_0","THH2_B0",0.140140,
        {"Hogar2_Medio_0","THH2_M0",0.281274
        {"Hogar2_Alto_0","THH2_A0",0.151809,
        {"Hogar2_Bajo_1","THH2_B1",0.118657,
        {"Hogar2_Medio_1","THH2_M1",0.266741
        {"Hogar2_Alto_1","THH2_A1",0.158172,
```

Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

Tabla 29: Resultados de los viajes producidos por ZAT

ZAT	V1HH_B0	V1HH_M0	V1HH_A0	V1HH_B1	V1HH_M1	V1HH_A1	V2HH_B0	V2HH_M0	V2HH_A0	V2HH_B1	V2HH_M1	V2HH_A1
42191	67.93	646.21	257.43	45.17	54.75	0.00	43.77	351.40	113.80	22.24	33.32	0.00
42192	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42193	28.29	80.74	35.74	6.27	45.60	47.34	18.23	43.90	15.80	3.09	27.76	20.57
42194	5.78	17.18	15.97	4.80	8.74	4.84	3.72	9.34	7.06	2.37	5.32	2.10
42195	5.01	71.47	55.36	55.50	121.10	67.04	3.23	38.86	24.47	27.32	73.71	29.14
42196	3.55	21.13	16.83	3.94	25.06	5.95	2.29	11.49	7.44	1.94	15.25	2.58
42197	22.56	53.65	35.62	8.33	7.58	18.87	14.53	29.17	15.75	4.10	4.61	8.20
42198	33.58	255.36	95.37	14.87	54.09	11.23	21.62	138.86	42.16	7.32	32.92	4.88
42199	7.92	18.83	100.02	61.42	159.53	105.98	5.10	10.24	44.21	30.24	97.10	46.06
42200	54.66	187.75	76.71	33.65	85.65	30.48	35.22	102.10	33.91	16.57	52.13	13.25
42201	42.13	137.72	74.81	17.50	21.21	70.47	27.14	74.89	33.07	8.62	12.91	38.63
42202	22.04	209.65	46.40	48.84	148.02	110.63	14.20	114.01	20.51	24.05	90.10	48.08
42203	34.35	122.52	67.79	57.09	173.01	143.67	22.13	66.63	29.97	28.11	105.31	62.44
42204	18.43	113.94	40.74	8.17	66.83	49.33	11.87	61.96	18.01	4.02	40.68	21.44
42205	51.31	158.62	72.91	17.06	51.69	34.34	33.06	86.26	32.23	8.40	31.46	14.92
42206	77.48	122.83	61.55	0.00	69.38	43.21	49.92	66.79	36.05	0.00	42.23	18.78
42207	50.39	79.88	53.04	18.61	16.92	42.15	32.46	43.44	23.45	9.16	10.30	18.32
42208	79.33	181.55	77.81	21.30	30.27	21.08	51.11	98.73	34.39	10.49	18.43	9.16
42209	14.30	119.03	22.58	17.92	72.03	47.85	9.21	64.73	9.98	3.90	43.84	20.80
42210	33.51	159.36	52.90	29.70	54.01	67.27	21.59	86.66	23.39	14.62	32.87	29.24
42211	25.99	173.05	32.83	17.74	94.25	43.48	16.74	94.10	14.51	8.51	57.37	18.90
42212	68.60	293.66	151.65	30.41	185.86	298.44	44.20	159.69	67.03	14.87	100.96	129.71
42213	60.38	451.29	122.58	95.58	451.87	158.76	38.90	245.41	54.19	47.06	275.05	69.00
42214	73.24	149.28	66.08	150.71	716.70	210.06	47.19	81.18	29.21	74.20	436.24	91.30
42215	33.21	78.99	69.92	196.29	468.44	333.44	21.40	42.95	30.91	96.64	285.13	144.92
42216	90.60	554.01	102.18	129.08	469.38	184.90	58.37	301.27	45.17	63.55	285.70	84.71
42217	0.00	0.00	25.34	41.50	269.49	107.42	0.00	0.00	11.20	20.43	164.03	46.69
42218	17.34	93.86	76.17	43.74	70.69	80.72	11.30	51.04	33.67	21.53	43.03	35.08
42219	4.53	53.82	42.88	95.30	237.12	219.64	2.92	29.27	18.98	46.92	144.33	95.46
42220	18.08	114.66	47.58	46.75	133.57	171.43	11.65	62.35	21.03	23.02	81.30	74.51
42221	6.02	71.62	38.04	113.46	339.79	151.67	3.88	38.95	16.82	55.86	206.83	65.70
42222	22.75	36.06	23.94	134.42	336.07	228.34	14.66	19.61	10.58	66.18	204.56	99.25
42223	40.14	214.77	63.38	44.48	383.27	16.79	25.86	116.79	28.02	21.90	184.60	7.30

VERSIÓN PRELIMINAR

ZAT	V1HH_B0	V1HH_M0	V1HH_A0	V1HH_B1	V1HH_M1	V1HH_A1	V2HH_B0	V2HH_M0	V2HH_A0	V2HH_B1	V2HH_M1	V2HH_A1
42224	65.43	169.74	37.57	6.59	83.89	19.90	42.16	92.30	16.61	3.24	51.06	8.65
42225	59.69	195.18	47.12	41.34	45.10	12.48	38.46	106.14	20.83	20.35	27.45	5.43
42226	52.74	470.34	208.19	14.61	159.40	132.37	33.98	255.77	92.03	7.19	97.02	57.53
42227	24.99	130.72	55.23	11.07	110.75	66.89	16.10	71.08	24.41	5.45	67.41	29.07
42228	11.34	121.39	80.60	43.99	148.55	37.96	7.31	66.01	35.63	21.66	90.42	16.50
42229	121.20	528.42	396.69	0.00	0.00	0.00	78.09	287.35	176.24	0.00	0.00	0.00
42230	11.14	88.27	29.30	12.34	186.96	18.63	7.17	48.00	12.95	6.07	113.80	8.10
42231	22.99	87.46	21.78	25.47	74.10	69.23	14.81	47.56	9.63	12.54	45.10	30.09
42232	12.98	73.32	5.12	7.19	19.62	19.86	8.36	39.87	2.27	3.54	11.94	4.72
42233	12.70	90.61	20.05	32.84	76.77	85.01	8.18	49.28	8.86	16.17	46.73	36.95
42234	5.46	21.64	14.37	6.05	25.67	3.05	3.52	11.77	6.35	2.98	15.62	1.32
42235	36.24	246.24	106.27	17.21	20.86	8.66	23.35	133.91	46.98	8.47	12.70	3.77
42236	60.88	268.88	137.32	96.37	175.23	145.52	39.23	146.21	60.70	47.45	108.66	63.25
42237	83.22	296.86	279.23	80.69	125.76	87.03	53.62	161.43	123.43	39.73	76.55	37.82
42238	12.43	59.11	49.06	27.54	50.08	41.59	8.01	32.14	21.69	13.56	30.48	18.08
42239	27.23	108.05	71.74	120.83	347.86	304.08	17.56	58.76	31.71	59.49	211.73	132.16
42240	9.87	93.93	62.37	21.88	119.38	68.09	6.36	51.08	27.57	10.77	72.66	28.72
42241	41.70	169.08	75.24	39.60	48.01	49.83	26.87	92.44	33.26	19.50	29.22	21.66
42242	80.85	216.30	111.70	100.79	366.51	304.36	52.09	117.62	49.38	49.62	223.09	132.29
42243	44.84	386.49	88.50	124.21	361.36	243.82	28.89	275.43	39.12	61.15	219.95	105.97
42244	23.89	0.00	12.57	79.41	224.61	159.88	15.39	0.00	5.56	39.10	136.72	69.49
42245	37.22	265.54	58.77	0.00	56.24	0.00	21.98	144.40	25.98	0.00	34.23	0.00
42246	73.47	393.14	72.51	20.05	129.53	0.00	47.34	213.79	32.05	10.02	78.84	0.00
42247	108.27	283.23	107.57	24.00	43.63	0.00	69.76	154.02	45.34	11.81	26.56	0.00
42248	188.93	264.29	105.29	36.95	67.18	18.59	121.73	143.72	46.54	18.19	40.89	8.08
42249	117.90	221.29	97.04	73.67	89.23	87.70	75.96	120.24	42.89	11.65	54.92	38.12
42250	46.86	178.30	88.78	10.38	113.29	156.81	30.19	96.96	39.25	5.11	68.96	68.15
42251	33.42	79.47	26.38	37.09	235.65	237.62	21.53	43.21	11.66	18.23	143.43	103.28
42252	21.86	103.95	34.51	18.16	154.12	100.70	14.08	56.53	15.25	8.94	93.81	47.68
42253	57.84	68.77	91.32	64.09	233.00	129.03	37.26	37.40	40.37	31.55	141.86	56.08
42254	60.67	192.37	95.80	0.00	20.37	0.00	39.09	104.61	42.35	0.00	12.40	0.00
42255	51.43	550.53	365.53	28.50	595.99	36.08	31.15	299.38	161.58	14.03	362.77	37.41
42256	67.91	299.93	122.55	64.50	78.19	81.16	43.76	163.10	54.17	31.76	47.59	35.28

VERSIÓN PRELIMINAR

ZAT	V1HH_B0	V1HH_M0	V1HH_A0	V1HH_B1	V1HH_M1	V1HH_A1	V2HH_B0	V2HH_M0	V2HH_A0	V2HH_B1	V2HH_M1	V2HH_A1
42257	139.72	688.23	267.87	0.00	0.00	0.00	90.02	374.26	118.41	0.00	0.00	0.00
42258	77.87	694.44	215.17	43.14	196.12	97.72	50.17	377.63	95.11	21.24	119.37	42.47
42259	134.82	833.59	212.87	74.70	298.80	180.46	86.87	453.31	94.10	36.77	181.87	78.43
42260	191.50	493.34	100.79	35.37	160.76	133.50	123.38	268.28	44.55	17.41	97.85	58.02
42261	39.89	632.38	104.97	73.67	133.94	133.48	25.70	343.88	46.40	36.27	81.53	58.01
42262	124.56	666.47	221.25	0.00	94.11	156.31	80.25	362.43	97.80	0.00	57.28	67.94
42263	52.20	372.38	119.04	19.28	222.02	87.33	33.63	202.50	52.62	9.49	135.14	37.96
42264	88.99	288.56	306.55	8.96	48.90	54.14	57.33	156.92	135.51	4.41	29.76	23.53
42265	101.13	673.41	287.43	67.24	387.15	253.82	65.16	366.20	127.06	33.10	235.65	110.32
42266	11.76	55.94	55.71	169.42	379.12	196.77	7.58	30.42	24.63	83.41	230.77	85.52
42267	32.39	404.35	89.49	62.80	261.01	54.19	20.87	219.88	39.56	30.92	158.87	23.55
42268	49.15	210.38	139.69	98.03	376.30	230.26	31.67	114.41	61.75	48.26	229.05	100.08
42269	29.24	278.11	107.71	97.19	274.89	277.20	18.84	151.23	47.61	47.85	167.32	120.48
42270	161.25	563.92	329.48	0.00	0.00	0.00	103.89	306.66	145.65	0.00	0.00	0.00
42271	25.39	120.35	49.94	7.01	114.71	31.75	16.30	65.44	22.08	3.45	69.82	13.80
42272	87.70	710.72	190.60	0.00	353.77	0.00	56.57	397.36	84.25	0.00	215.33	0.00
42273	28.42	22.53	44.87	104.96	286.27	190.18	18.31	12.25	19.83	51.67	174.25	82.66
42274	80.45	38.78	50.81	0.00	0.00	13.46	51.83	20.81	22.46	0.00	0.00	5.85
42275	68.97	269.28	55.81	19.30	0.00	14.57	39.29	146.43	24.32	9.50	0.00	6.33
42276	118.42	496.77	124.75	58.32	79.53	132.09	76.30	221.20	55.10	28.71	48.41	57.41
42277	54.47	215.89	71.63	110.65	146.33	121.51	35.09	117.40	31.68	54.48	88.07	52.81
42278	74.37	75.79	67.10	94.18	214.05	124.43	47.91	41.22	29.66	46.36	130.29	54.08
42279	19.89	141.87	15.70	119.18	240.40	232.91	12.81	77.15	6.94	54.24	146.33	101.23
42280	0.00	93.77	15.56	21.83	476.66	164.93	0.00	50.99	6.88	10.76	290.13	71.68
42281	15.07	71.68	71.39	25.05	136.64	75.65	9.71	38.98	31.56	12.33	83.17	32.88
42282	156.48	1116.33	314.44	326.10	331.56	333.21	100.82	607.05	139.00	62.08	305.29	144.82
42283	23.56	317.46	24.80	52.21	205.68	105.11	15.18	172.63	10.96	25.70	125.19	45.68
42284	83.35	726.80	87.74	10.25	93.30	77.48	53.70	395.23	38.78	5.05	56.79	33.67
42285	68.34	255.39	262.06	21.64	78.88	16.04	44.03	138.88	115.84	10.65	47.89	7.10
42286	38.13	604.51	200.68	28.17	542.16	170.13	24.57	328.73	88.71	13.87	311.74	73.94
42287	50.93	508.69	96.30	11.29	61.57	0.00	32.81	276.62	42.66	5.56	37.48	0.00
42288	5.63	6.69	8.88	37.41	85.03	61.20	3.63	3.64	3.93	18.42	51.76	26.60

Tabla 30. Resumen de viajes producidos

Segmento Demanda		Viajes
Hogares Sin autos	V1HH_B0	5,027
	V2HH_B0	3,239
	V1HH_M0	24,464
	V2HH_M0	13,304
	V1HH_A0	9,626
	V2HH_A0	4,255
Hogares con autos	V1HH_B1	4,425
	V2HH_B1	2,179
	V1HH_M1	16,329
	V2HH_M1	9,939

VERSIÓN PRELIMINAR

	V1HH_A1	9,630
	V2HH_A1	4,186

Estos resultados evidencian que el mayor volumen de viajes producidos se concentra en los segmentos medios, lo que resulta consistente con las tasas previamente estimadas y con la estructura demográfica y funcional del área urbana de Chiclayo.

11.2.2 Modelo de atracción de viajes

La atracción de viajes corresponde al número de desplazamientos que tienen como destino cada zona de análisis. A diferencia de la producción, que está asociada principalmente a las características de los hogares residentes, la atracción depende de la intensidad y naturaleza de las actividades localizadas en cada ZAT.

En el MET de Chiclayo, la atracción fue estimada considerando el uso del suelo como variable explicativa principal, bajo el supuesto de que la capacidad de una zona para atraer viajes está estrechamente vinculada a la presencia de actividades comerciales, educativas, sanitarias, recreativas, industriales y de servicios. Para este fin, se utilizó la superficie construida por tipo de uso de suelo, medida en metros cuadrados, como aproximación de la intensidad funcional de cada zona.

Metodología aplicada

Para la atracción de viajes se utilizó regresiones lineales múltiples, utilizando variables de uso de suelo en el destino, siguiendo la siguiente formulación.

$$D^p_j = \theta_k + \sum_k \theta_{jk} X_{jk} + \varepsilon_j$$

Donde:

D^p_j = Número de viajes con propósito p, atraídos por la zona j.

θ_k = Parámetro de calibración.

X_{jk} = Variables explicativas (promedios zonales).

ε_j = Error de la estimación para la zona j.

Donde:

p = Número de viajes con propósito p, atraídos por la zona j.

k = Parámetro de calibración.

X jk = Variables explicativas (promedios zonales).

j = Error de la estimación para la zona j.

VERSIÓN PRELIMINAR

Las tasas estimadas para la ciudad de Chiclayo fueron las siguientes:

Tabla 31. Tasas de atracción de viajes

Uso suelo	Tasa 1 hora (Viajes m2)	T Estadístico
COMERCIO	0.01674	8.92500353
EDUCACION	0.00474	1.96659401
INDUSTRIA	0.00115	1.32348747
RECREACION	0.00346	2.75174537
SALUD	0.01637	3.52231251

Figura 36: Aplicación de las tasas de atracción - TransCAD

```
Args.Tasas_Viajes_Uso_Suelo = {
    "Type":"array",
    "Caption":"Tasas de viajes por Uso de Suelos (m2) (1 hora)"
    "Style":"TUSStyle",
    "Value":{
        {"Comercio","T_Come",0.017886,0.017886},
        {"Industrial","T_Indu",0.001205,0.001205},
        {"Educacion","T_Educ",0.005872,0.005872},
        {"Recreacion","O_Recr",0.001239,0.001239},
        {"Salud","O_Salu",0.016438,0.016438}}
```

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que comercio y salud presentan las mayores tasas de atracción, lo que refleja la fuerte centralidad de actividades económicas y de servicios en la estructura urbana de Chiclayo. Educación presenta también una capacidad importante de atracción, aunque más estructurada y concentrada en determinados horarios. En contraste, industria, recreación y otros usos presentan niveles menores, ya sea por su localización más periférica, por un uso extensivo del suelo o por la menor intensidad horaria de los viajes que generan.

Resultados de atracción por segmento

La aplicación de estas tasas a la base de usos del suelo permitió obtener los vectores zonales de atracción por segmento de demanda:

Tabla 32. Viajes atraídos por segmento de demanda

Segmento Demanda	Viajes

VERSIÓN PRELIMINAR

V1US_B0	5,027
V2US_B0	3,239
V1US_M0	24,464
V2US_M0	13,304
V1US_A0	9,626
V2US_A0	4,255
V1US_B1	4,425
V2US_B1	2,179
V1US_M1	16,329
V2US_M1	9,939
V1US_A1	9,630
V2US_A1	4,186

Fuente: Elaboración propia

VERSION PRELIMINAR

11.2.3 Balance de viajes

El balance de viajes constituye una etapa esencial dentro del modelo de generación, ya que garantiza la consistencia entre el total de viajes producidos y el total de viajes atraídos para cada segmento de demanda. Dado que ambos vectores fueron estimados mediante metodologías diferentes —tasas por hogar para las producciones y tasas por uso de suelo para las atracciones—, es natural que inicialmente no coincidan exactamente.

Por ello, fue necesario aplicar un procedimiento de balanceo que ajusta uno de los vectores para cumplir la condición de equilibrio:

$$\sum_i P_i = \sum_j A_j$$

donde Pi representa los viajes producidos en la zona i y Aj los viajes atraídos en la zona j.

En el MET de Chiclayo, este procedimiento fue implementado mediante una macro automatizada en TransCAD utilizando el objeto **Generation.Balance**. El balanceo se ejecutó de forma segmentada por nivel socioeconómico, condición de motorización y tipo de viaje. Para el periodo HPM se adoptó el criterio de mantener constantes las producciones y ajustar las atracciones, bajo el supuesto de que en dicho periodo la mayor parte de los desplazamientos se origina en el hogar.

La expresión aplicada fue la siguiente:

$$A_j^* = A_j \times \left(\frac{\sum_i P_i}{\sum_j A_j} \right)$$

Donde Aj∗ corresponde a la atracción ajustada de la zona j.

El balanceo fue realizado mediante una macro automatizada en TransCAD, utilizando el objeto:

Generation.Balance

El procedimiento se ejecuta de manera segmentada según:

- Nivel socioeconómico (Bajo, Medio, Alto)
- Condición de motorización (Auto / No auto)
- Tipo de viaje (Producción–Atracción según periodo)

Lógica del modelo

El código implementado define dos vectores principales:

- Vector_PA: vector base de producciones y atracciones sin balancear
- Vector_PAB: vector balanceado resultante

En el periodo HPM se asume que los viajes se originan en el hogar, por lo que:

- Se mantienen las producciones constantes (HoldProductions)
- Se ajustan las atracciones

11.2.3.1 Resultados del balanceo

Una vez aplicado el procedimiento, se obtuvo el siguiente equilibrio entre producciones y atracciones por segmento:

Tabla 33. Viajes Producidos/Atraídos por segmento de demanda

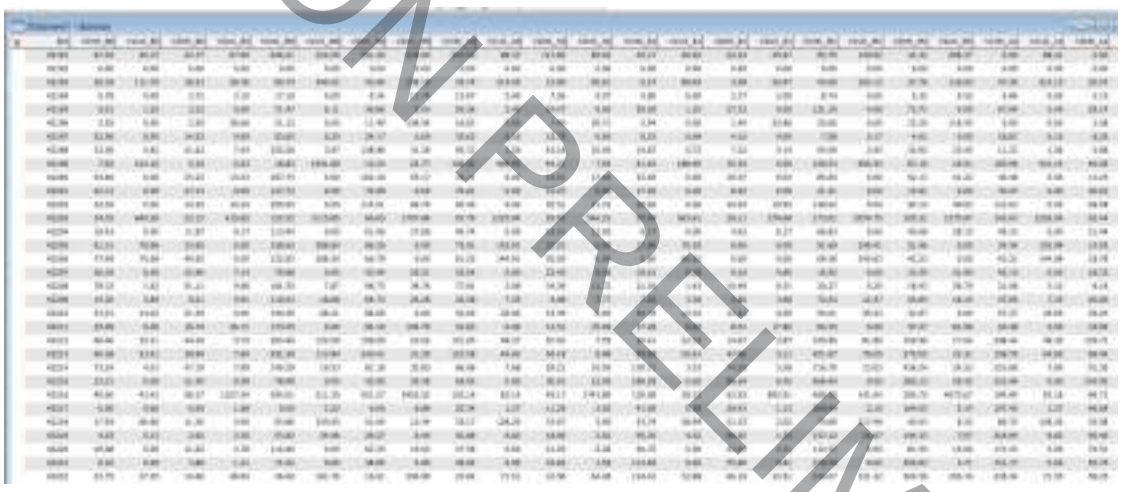
Segmento Demanda		Viajes producidos	Viajes atraídos
Hogares Sin autos	V1HH_B0	5,027	5,027
	V2HH_B0	3,239	3,239
	V1HH_M0	24,464	24,464
	V2HH_M0	13,304	13,304
	V1HH_A0	9,626	9,626
	V2HH_A0	4,255	4,255
Hogares con autos	V1HH_B1	4,425	4,425
	V2HH_B1	2,179	2,179
	V1HH_M1	16,329	16,329
	V2HH_M1	9,939	9,939
	V1HH_A1	9,630	9,630
	V2HH_A1	4,186	4,186

VERSIÓN PRELIMINAR

Con ello, el modelo queda preparado para la etapa de distribución, utilizando vectores balanceados y consistentes con la segmentación de la demanda adoptada.

VERSIÓN PRELIMINAR

Tabla 34. Resultados de los viajes producidos/atraídos por ZAT



Fuente: Elaboración Propia

El modelo de generación del MET de Chiclayo combina un enfoque de clasificación cruzada para la estimación de producciones y un enfoque de tasas por uso de suelo para la estimación de atracciones. Esta formulación permite representar de manera consistente tanto el comportamiento de viaje de los hogares como la capacidad funcional de las distintas zonas urbanas para atraer desplazamientos. El posterior balanceo de los vectores garantiza la coherencia matemática del sistema y constituye la base para la construcción de las matrices origen-destino del modelo.

11.3 Modelo de Distribución

La etapa de distribución tiene por finalidad estimar la cantidad de viajes que se realizan entre cada par origen–destino del sistema, a partir de los vectores de producciones y atracciones previamente balanceados. En términos metodológicos, esta fase transforma la generación zonal de viajes en matrices origen-destino, incorporando el efecto de la accesibilidad relativa entre zonas y la fricción espacial asociada al desplazamiento. Dentro del Modelo Estratégico de Transporte (MET) de Chiclayo, esta etapa resulta fundamental,

pues permite representar cómo se estructuran espacialmente los viajes en función de la organización urbana, la localización de actividades y las condiciones de viaje existentes en la red.

Figura 37: Esquema de desarrollo del modelo de distribución.

Para el presente estudio se adoptó un modelo gravitacional, el cual parte del supuesto de que el número de viajes entre dos zonas es directamente proporcional a la magnitud de viajes producidos en el origen y atraídos en el destino, e inversamente proporcional a la impedancia del viaje entre ambos puntos. Este enfoque es ampliamente utilizado en la modelación de demanda, debido a su capacidad para representar de manera consistente la interacción entre generación de viajes, atractividad territorial y resistencia al desplazamiento.

La formulación general del modelo adoptado fue la siguiente:

$$T_{ij} = P_i \cdot \frac{A_j \cdot f(c_{ij})}{\sum_k (A_k \cdot f(c_{ik}))}$$

Donde:

- Tij: viajes entre la zona i y la zona j
- Pi: producciones en la zona i
- Aj: atracciones en la zona j
- cij: impedancia entre las zonas i y j
- f(cij): función de fricción

Esta expresión asegura que el total de viajes distribuidos desde cada origen sea consistente con las producciones estimadas, mientras que la asignación de esos viajes entre los destinos potenciales depende de la atractividad relativa de cada zona y del costo generalizado o acceso entre ellas.

11.3.1 Metodología utilizada

La distribución de viajes fue desarrollada de manera segmentada, reconociendo que la sensibilidad al tiempo y al costo del desplazamiento no es homogénea para toda la población. En consecuencia, el modelo fue aplicado diferenciando por nivel **socioeconómico** y por **motivo de viaje**, distinguiéndose viajes principales y secundarios. Esta segmentación permite capturar con mayor realismo las diferencias en el

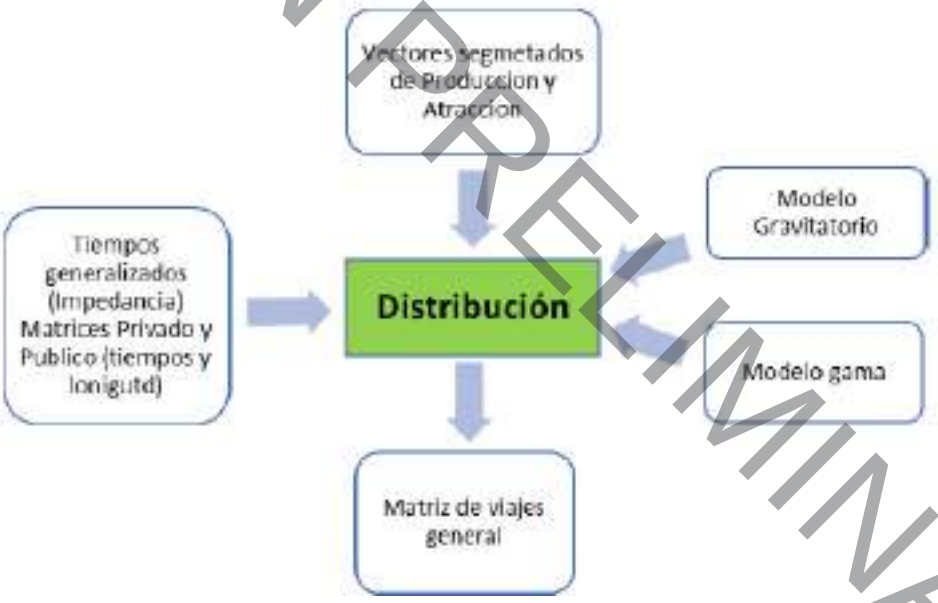
VERSIÓN PRELIMINAR

comportamiento espacial de los viajes obligados y no obligados, así como las variaciones en accesibilidad y localización de oportunidades entre grupos sociales.

Desde el punto de vista operativo, la etapa utilizó como insumos los vectores de producción y atracción balanceados, así como matrices de impedancia construidas a partir de la red vial y de la red de transporte público modeladas en TransCAD. Sobre esta base, se obtuvo matrices origen-destino iniciales por segmento, las cuales constituyen el insumo de la etapa posterior de partición modal y, dentro del proceso iterativo del modelo, son actualizadas en función de los resultados de asignación.

VERSION PRELIMINAR

Figura 38: Diagrama de flujo de distribución de viajes



Fuente: Elaboración propia

11.3.2 Construcción de las impedancias de transporte

La impedancia constituye el elemento central del modelo de distribución, en tanto representa la resistencia al desplazamiento entre dos zonas. Para el MET , las matrices de impedancia fueron construidas a partir de skims de red obtenidos en TransCAD mediante procedimientos de rutas mínimas, lo que permitió calcular costos generalizados de viaje entre todos los pares origen-destino del sistema.

Se desarrollaron matrices de impedancia para los principales componentes del sistema de transporte, considerando tanto la red de transporte privado como la red de transporte público.

La impedancia utilizada en el modelo gravitacional es el Tiempo Generalizado de Viaje (TGG), que combina los tiempos y costos de los modos privado y públicos ponderados por su participación modal.

$$TGGij \;=\; pPrv \times TmpGPrv, ij \;+\; pPub \times TmpGPub, ij$$

Donde:

- pPrv = Proporción de viajes en transporte privado (observada)
- pPub = Proporción de viajes en transporte público (observada)
- TmpGPrv = Tiempo generalizado privado
- TmpGPub = Tiempo generalizado público

a) Tiempo Generalizado Privado

$$TmpG_{Prv,ij} = \frac{Costo_{ij}}{VOT_{PrT}} + Tiempo_{ij}$$

Donde:

- Costoij = Costo monetario (peaje + estacionamiento)
- VOTPrT = Valor del tiempo privado = 0.29 S/. /min
- Tiempoij = Tiempo de viaje en vehículo (minutos)

b) Tiempo Generalizado Público

$$TmpG_{Pub,ij} = \frac{Tarifa_{ij}}{VOT_{PuB}} + Tiempo_{Total,ij}$$

Donde:

- Tarifaij = Tarifa de transporte público
- VOTPuB = Valor del tiempo público = 0.0455 S/. /min
- TiempoTotal = Tiempo total incluyendo esperas, caminatas y transbordos

c) Skim de Transporte Privado

El proceso genera la matriz Auto_Skim.mtx con los siguientes núcleos:

Tabla 35: Núcleos de la matriz de impedancia de transporte privado

Núcleo	Unidad	Descripción
Time	minutos	Tiempo de viaje en flujo libre
Length	km	Distancia del recorrido

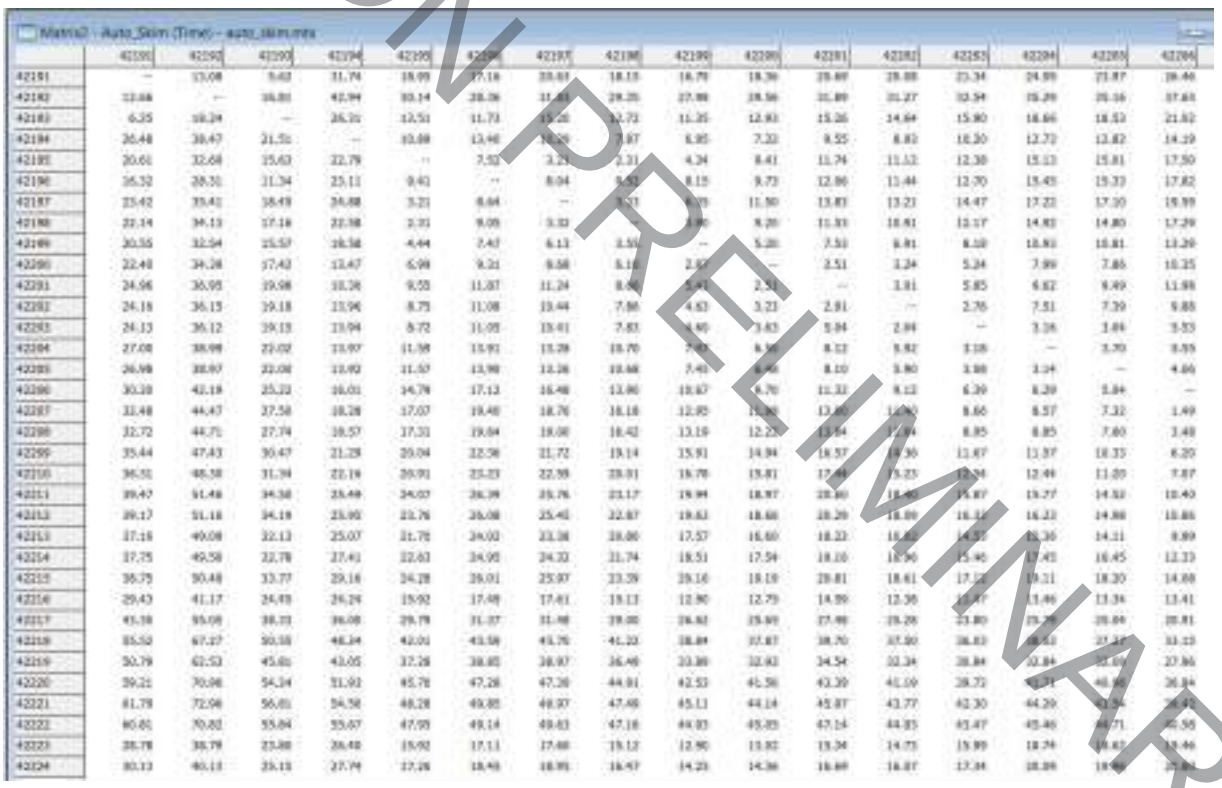
VERSIÓN PRELIMINAR

Núcleo	Unidad	Descripción
Peaje	S/.	Costo de peajes
Parqueo	S/.	Costo de estacionamiento en destino

Esta formulación permitió representar la separación efectiva entre zonas no solo en términos de distancia o tiempo, sino también desde la perspectiva de la percepción del usuario respecto del costo total del desplazamiento.

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 39: Matriz de impedancia privada



Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Matriz de impedancia pública

Matrix4 - Transit Skim (Total Time) - transit_skim.mtx

	42181	42182	42183	42184	42185	42186	42187	42188	42189	42190	42191	42192	42193	42194	42195	42196
42181	–	26.02	19.79	94.67	33.23	71.81	65.16	54.33	47.23	33.25	67.13	56.34	61.17	70.08	66.83	71.83
42182	28.86	–	35.68	110.55	71.12	86.90	81.18	78.21	63.12	71.14	83.61	73.22	77.86	85.07	82.71	87.73
42183	18.11	38.53	–	81.12	46.08	64.78	55.65	44.61	33.24	49.24	57.38	50.16	48.57	63.25	60.80	59.34
42184	98.71	111.13	76.80	–	63.14	74.24	59.58	48.21	51.02	48.83	48.66	64.06	72.62	73.11	72.85	81.63
42185	42.56	83.08	28.89	63.19	–	28.63	16.17	12.64	24.52	40.27	52.04	43.11	43.51	55.03	52.60	51.26
42186	25.80	85.43	28.50	89.85	36.62	–	26.22	46.73	40.78	57.92	68.69	55.65	52.21	68.47	65.21	62.18
42187	58.24	70.67	48.85	59.58	16.17	48.78	–	18.56	22.04	47.95	59.72	43.52	43.82	53.28	58.75	52.64
42188	52.86	73.38	37.81	48.21	12.64	46.73	16.56	–	20.18	35.36	47.15	39.61	46.40	47.18	43.82	48.26
42189	48.29	80.75	28.71	51.02	24.52	28.28	32.31	28.18	–	19.89	30.88	34.26	42.89	50.08	47.65	46.58
42190	28.71	80.13	28.26	48.83	40.27	57.92	47.95	35.36	19.08	–	12.81	15.65	28.87	58.06	33.23	38.68
42191	51.55	71.08	52.12	48.66	52.04	53.47	59.72	47.13	30.88	12.81	–	17.08	38.25	59.44	36.59	46.78
42192	54.86	75.28	47.38	64.06	55.44	48.73	36.78	38.55	34.28	15.65	17.08	–	12.99	41.78	38.93	42.21
42193	58.12	70.55	44.74	72.62	49.32	43.43	36.06	39.43	42.68	28.87	38.25	12.99	–	27.71	24.45	42.65
42194	68.75	78.18	51.30	73.11	46.87	51.28	42.61	45.30	42.08	45.79	59.44	41.78	27.71	–	15.96	46.77
42195	55.83	76.31	48.44	72.85	45.03	48.49	40.75	43.44	38.68	51.93	52.55	38.93	24.45	15.96	–	33.34
42196	66.35	86.77	57.84	88.34	53.64	58.20	50.48	52.55	39.68	46.80	47.62	43.13	42.65	46.77	33.34	–
42197	62.87	85.18	53.45	81.06	46.39	48.72	51.99	34.85	41.32	48.12	48.14	44.47	53.71	38.58	28.80	10.03
42198	58.81	85.75	51.75	88.26	46.78	56.31	42.39	49.84	42.18	43.04	45.80	47.68	37.98	41.08	28.89	20.88
42199	64.83	84.84	54.67	81.61	49.61	58.43	44.81	52.75	45.32	46.84	50.32	49.03	48.19	47.12	38.76	35.68
42200	68.59	85.02	58.82	96.76	54.77	64.59	49.97	57.81	50.47	52.10	55.67	54.19	45.35	52.28	45.43	38.88
42201	59.54	79.60	48.84	84.06	50.26	45.67	59.73	48.81	37.21	50.84	50.53	49.95	48.87	55.63	48.46	38.77
42202	68.41	80.84	48.47	85.34	50.76	46.88	54.72	48.60	36.16	53.79	50.81	50.43	44.52	56.16	58.57	47.84
42203	58.84	76.17	51.41	83.35	48.86	45.31	57.01	46.70	36.68	50.09	50.71	49.18	47.66	50.73	44.83	46.28
42204	63.43	83.85	52.39	83.49	54.86	54.65	36.28	54.84	36.15	51.24	50.22	49.47	48.85	50.44	45.77	43.03
42205	72.86	82.48	64.99	87.33	63.48	61.35	47.02	62.68	47.78	58.88	58.85	58.18	57.49	59.08	54.40	51.67
42206	52.52	72.96	48.82	83.64	41.67	38.89	42.48	36.21	31.37	36.87	42.56	41.07	34.24	41.17	37.91	44.12
42207	78.62	180.04	63.18	99.85	58.96	57.80	66.67	51.12	46.42	64.88	57.96	46.73	41.37	69.18	65.82	66.53
42208	78.56	89.98	65.41	102.43	62.85	62.54	61.20	55.85	53.16	56.85	61.24	50.08	44.73	85.08	62.72	64.22
42209	78.81	90.34	64.44	101.76	61.88	61.87	60.65	55.18	53.49	56.18	60.67	49.42	44.86	85.35	62.89	63.58
42210	84.35	104.78	66.53	103.85	64.57	63.96	62.74	57.27	54.58	58.27	62.78	51.51	46.15	63.27	58.62	71.28
42211	94.85	115.38	78.90	114.47	74.36	74.61	73.08	67.92	65.23	68.59	73.68	63.54	58.17	79.06	75.81	77.28
42212	98.66	111.08	78.25	114.12	72.96	78.28	72.68	71.41	66.73	68.21	73.04	61.77	56.40	71.72	68.47	76.83
42213	71.81	82.33	78.90	103.58	69.18	65.84	65.37	58.23	56.28	59.87	62.88	71.36	68.81	57.08	53.84	59.48
42214	108.18	126.68	67.26	121.99	82.76	78.95	78.68	83.45	77.78	77.89	80.89	79.42	64.84	96.28	82.94	83.28

Fuente: Elaboración propia

11.3.3 Función de fricción adoptada

Para representar el efecto de la impedancia sobre la interacción espacial entre zonas, se utilizó una función Gamma combinada, la cual ofrece flexibilidad suficiente para reproducir distribuciones de viaje con distintos niveles de concentración en desplazamientos cortos y diferentes sensibilidades frente al incremento del costo de viaje.

La función adoptada fue la siguiente:

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{\alpha} \cdot e^{-\beta c_{ij}}$$

Donde:

- α: parámetro de forma, asociado a la sensibilidad frente a viajes cortos
- β: parámetro de decaimiento, asociado a la penalización de viajes largos

Esta especificación resulta especialmente útil en una ciudad como Chiclayo, donde coexisten viajes muy concentrados hacia centralidades urbanas consolidadas y desplazamientos más dispersos hacia sectores periféricos, de expansión o de articulación regional. La función Gamma permite captar ambas dinámicas dentro de una misma formulación, ajustando la intensidad con que la demanda responde a la impedancia.

11.3.4 Calibración de los parámetros alfa y beta

Los parámetros α y β fueron calibrados para reproducir de la forma más consistente posible la distribución observada de tiempos de viaje obtenida a partir de las encuestas. Este proceso de calibración se realizó diferenciando por nivel socioeconómico y motivo de viaje, de manera que la

VERSIÓN PRELIMINAR

función de fricción reflejara adecuadamente el comportamiento espacial de cada segmento de demanda.

Como resultado del proceso, se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 36: Valores Alpha y beta calibrados.

NSE/Motivo	α (alpha)	β (beta)
Bajo – Principal	-1.69	0.097
Medio – Principal	-1.99	0.113
Alto – Principal	-2.33	0.128
Bajo – Secundario	-1.89	0.13
Medio – Secundario	-2.23	0.141
Alto – Secundario	-1.34	0.087

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 41: Aplicación de los parámetros a y b - TransCAD

```
Args.GammaFunction = {
    "Type":"array",
    "Caption":"Parametros de funcion Gamma",
    "Style":"FDStyle",
    "Value":[
        {"HPM","BHI (Trabajo y Estudio)","Bajo","BHI_TE",1,-1.694946,0.097518},
        {"HPM","BHI (Trabajo y Estudio)","Medio","BHI_TE",1,-1.999024,0.113435},
        {"HPM","BHI (Trabajo y Estudio)","Alto","BHI_TE",1,-2.33168,0.128126},
        {"HPM","OM (Otros Motivos)","Bajo","OM",1,-1.893803,0.129771},
        {"HPM","OM (Otros Motivos)","Medio","OM",1,-2.233172,0.141433},
        {"HPM","OM (Otros Motivos)","Alto","OM",1,-1.340697,0.086949},
        {"HPT","BHR (Vuelta a Casa)","Bajo","BHR",1,-1.932547,0.039965},
        {"HPT","BHR (Vuelta a Casa)","Medio","BHR",1,-2.3325,0.048666},
        {"HPT","BHR (Vuelta a Casa)","Alto","BHR",1,-2.21249,0.050145},
        {"HPT","OMR (Otros Motivos R)","Bajo","OMR",1,-1.155779,0.122852},
        {"HPT","OMR| (Otros Motivos R)","Medio","OMR",1,-1.155779,0.044084},
        {"HPT","OMR (Otros Motivos R)","Alto","OMR",1,-1.155779,-0.044084}]
}
```

Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Distribución de tiempos NSE A y Motivo principal.

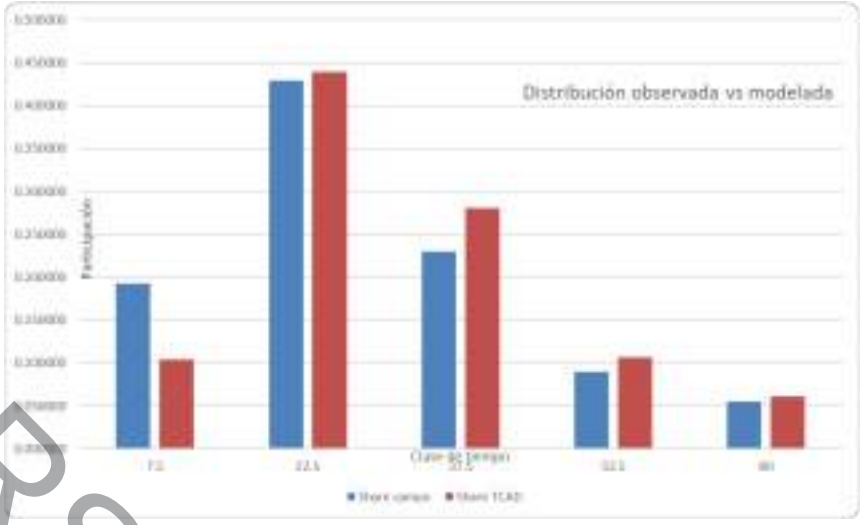


Figura 43: Distribución de tiempos NSE B y Motivo principal.

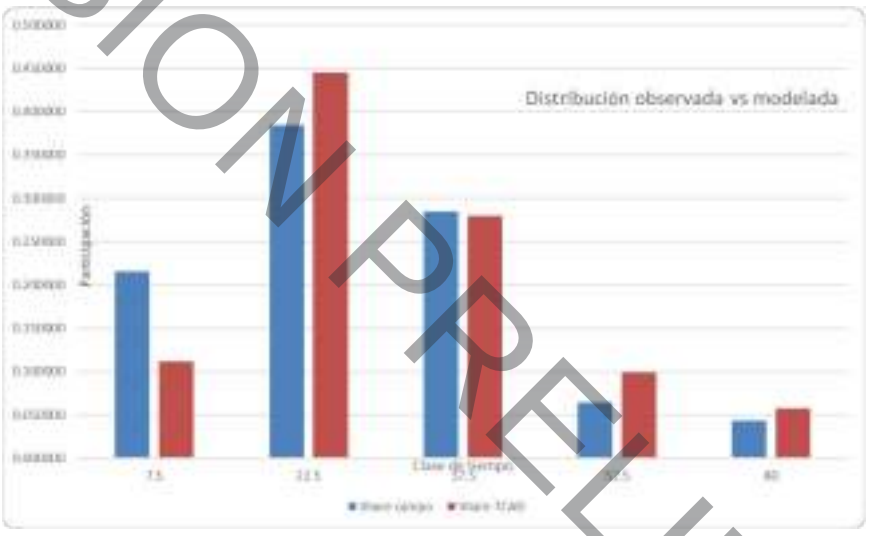


Figura 44: Distribución de tiempos NSE C y Motivo principal

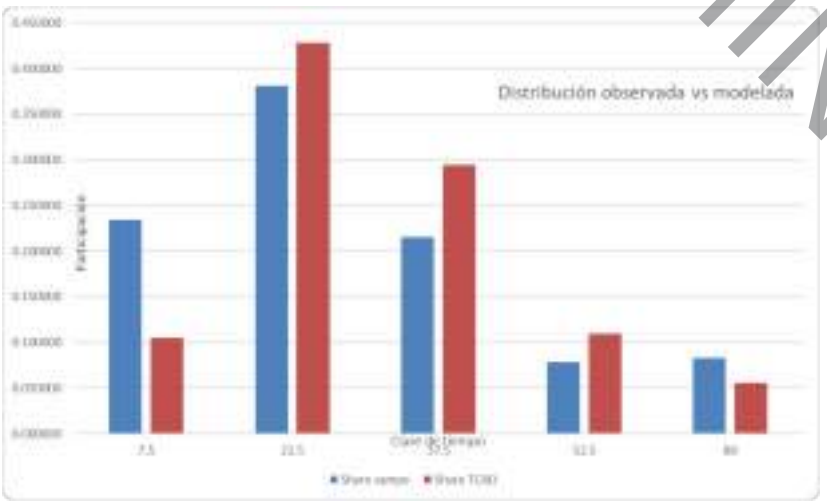


Figura 45: Distribución de tiempos NSE A y Motivo secundario

VERSIÓN PRELIMINAR

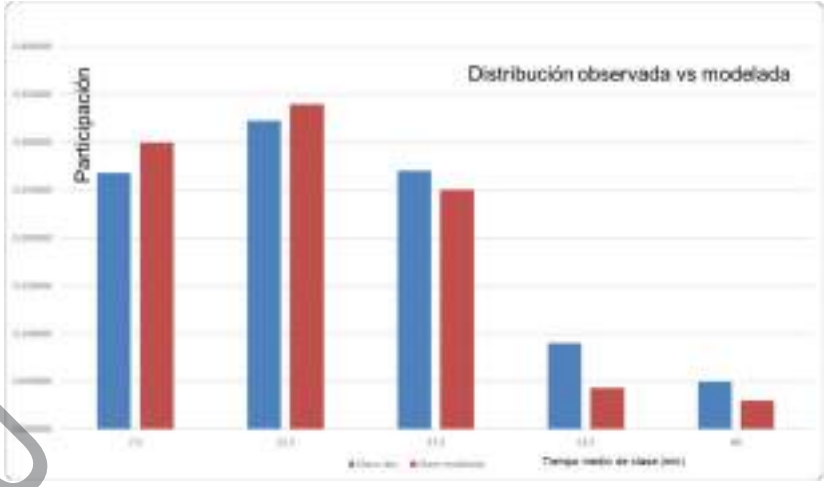


Figura 46: Distribución de tiempos NSE B y Motivo secundario

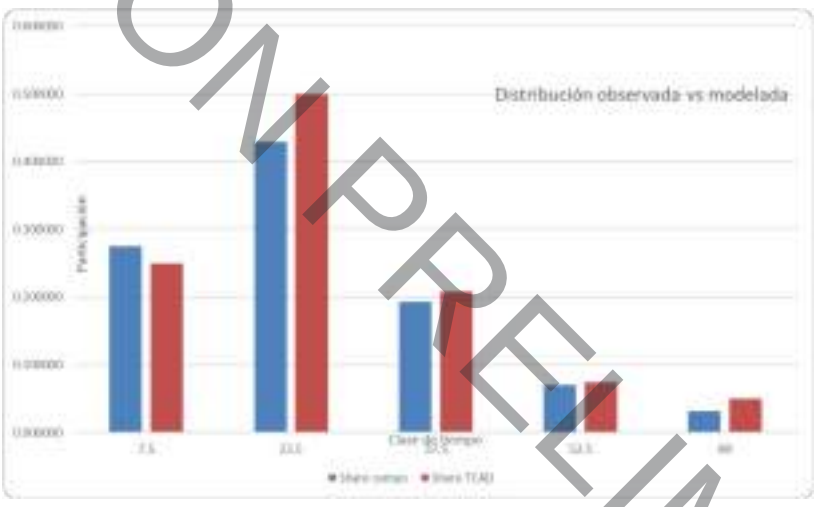
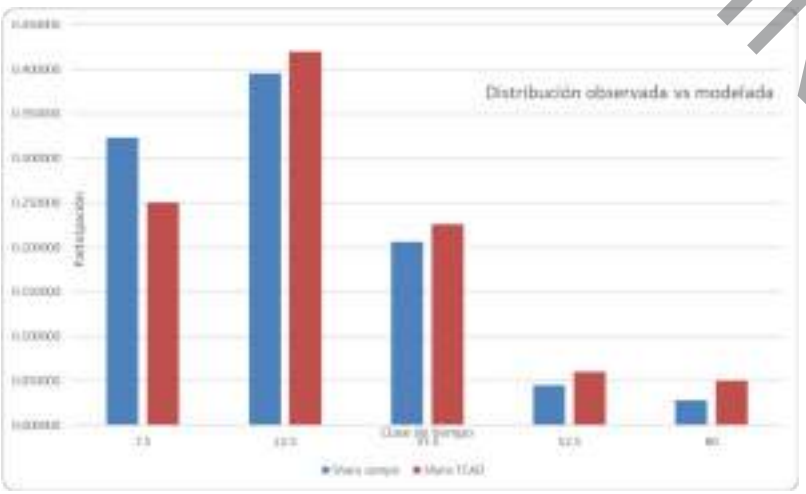


Figura 47. Distribución de tiempos NSE C y Motivo secundario



VERSIÓN PRELIMINAR

Estos valores muestran que la sensibilidad espacial de los viajes en Chiclayo no es uniforme, sino que depende tanto del tipo de actividad que motiva el desplazamiento como de las características socioeconómicas de la población.

A continuación, se presenta la validación de la distribución de viajes:

Tabla 37: Validación TLD Campo VS Modelo para NSE Alto

Tiempo medio clase	Share campo	Share TCAD	Error^2
7.5	19%	12%	0.5%
22.5	43%	44%	0.0%
37.5	23%	26%	0.1%
52.5	9%	11%	0.0%
80.0	5%	6%	0.0%

Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de campo

Tabla 38: Validación TLD Campo VS Modelo para NSE Medio

Tiempo medio clase	Share campo	Share TCAD	Error^2
7.5	22%	17%	0.2%
22.5	38%	42%	0.1%
37.5	28%	26%	0.1%
52.5	6%	9%	0.1%
80.0	4%	6%	0.0%
Total	0.99	0.99	0.0%

Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de campo

Tabla 39: Validación TLD Campo VS Modelo para NSE bajo

Tiempo medio clase	Share campo	Share TCAD	Error^2
7.5	23%	20%	0.2%
22.5	38%	41%	0.1%
37.5	21%	23%	0.0%
52.5	8%	11%	0.1%
80.0	8%	6%	0.1%
Total	0.99	0.99	0.0%

Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de campo

A nivel agregado, el modelo presenta un muy buen nivel de ajuste, evidenciado por:

VERSIÓN PRELIMINAR

Errores cuadrados muy bajos en todas las clases (≤ 2%), diferencias mínimas entre participaciones observadas y modeladas; y una adecuada reproducción de la forma de la distribución.

Esto indica que el modelo calibrado (función Gamma con parámetros α y β) reproduce correctamente el comportamiento de los tiempos de viaje, y no existen sesgos sistemáticos significativos

11.3.5 Interpretación de los parámetros calibrados

La lectura conjunta de los parámetros calibrados permite identificar varios patrones relevantes de la movilidad urbana en Chiclayo. En primer lugar, los viajes obligados presentan una relación clara con el nivel socioeconómico: a mayor NSE, se observa una mayor concentración espacial de los viajes y una mayor sensibilidad al tiempo de desplazamiento. Esto sugiere que los grupos de mayores ingresos acceden, en promedio, a destinos más próximos o mejor localizados dentro de la estructura urbana, lo que se traduce en viajes más cortos y en una mayor penalización frente al incremento del tiempo de viaje.

En segundo lugar, los viajes secundarios presentan un patrón más complejo y menos monotónico. En particular, el NSE alto muestra una mayor dispersión en la elección de destinos para actividades no obligatorias, lo que sugiere una mayor flexibilidad espacial y una lógica de movilidad menos concentrada. Este comportamiento puede asociarse a una oferta más diversa de destinos de consumo, recreación o servicios, así como a una menor restricción para desplazamientos no esenciales.

En tercer lugar, los valores calibrados evidencian que Chiclayo responde a una estructura urbana mixta, en la que conviven centralidades consolidadas con procesos de expansión y dispersión territorial. Los viajes principales tienden a concentrarse más, mientras que los secundarios presentan mayor dispersión espacial. Este resultado es coherente con una ciudad intermedia en la que el centro urbano y ciertas áreas de servicios mantienen un peso estructurante, pero donde la expansión reciente introduce nuevas pautas de movilidad.

Finalmente, los valores de β, ubicados aproximadamente entre 0.08 y 0.14, muestran una sensibilidad moderada al tiempo o costo de viaje. Esto indica que los desplazamientos no se encuentran extremadamente penalizados por la distancia, lo cual es consistente con una ciudad de escala intermedia, con tiempos de recorrido relativamente manejables y una estructura urbana funcionalmente articulada.

11.4 Modelo de Partición Modal

La etapa de partición modal tiene como objetivo estimar la probabilidad de elección de los distintos modos de transporte disponibles para los usuarios, a partir de los atributos de cada alternativa y de las características del viaje entre cada par origen–destino. Esta fase constituye el vínculo entre la distribución espacial de los viajes y su posterior asignación sobre las redes de transporte, ya que permite desagregar la matriz total de viajes en matrices específicas por modo, de acuerdo con la utilidad relativa de cada opción disponible.

En el Modelo Estratégico de Transporte (MET) de Chiclayo, la elección modal fue abordada mediante un enfoque de **elección discreta**, considerando que los usuarios seleccionan la alternativa que les ofrece mayor utilidad, o equivalentemente, menor desutilidad generalizada. Bajo esta lógica, la decisión modal no se representa como una proporción fija o exógena, sino como el resultado de la competencia entre modos en función de variables como tiempo de viaje, costo monetario, tiempo de espera, tiempo de caminata y necesidad de transbordos. Esto permite que la partición modal responda de manera sensible a cambios en la red, en la oferta de transporte y en las condiciones de accesibilidad del sistema.

Para este estudio se adoptó un modelo Logit con estructura jerárquica (Nested Logit), implementado en TransCAD, conforme a las capacidades del módulo de elección modal del software. Esta

VERSIÓN PRELIMINAR

formulación fue seleccionada debido a que permite representar con mayor realismo la estructura de sustitución entre alternativas que comparten características similares, superando la limitación del modelo logit multinomial simple asociada a la propiedad de independencia de alternativas irrelevantes.

11.4.1 Metodología utilizada

La estructura del conjunto de elección se organizó en dos niveles jerárquicos. En el nivel superior, la decisión modal distingue entre dos grandes grupos: **transporte privado** y **transporte público**. En el nivel inferior, la elección se desagrega entre las alternativas específicas contenidas en dichos grupos. Para el caso del MET de Chiclayo, la estructura adoptada consideró, dentro del grupo de transporte privado, los modos **auto** y **taxi**; y dentro del grupo de transporte público, el **transporte público colectivo (TPC).**

Esta estructura jerárquica permite representar que las alternativas modales no compiten todas entre sí con el mismo grado de sustitución, sino que algunas comparten atributos comunes y, por tanto, presentan una mayor correlación. En términos metodológicos, ello mejora la capacidad explicativa del modelo y permite representar de manera más consistente el proceso de decisión del usuario frente a distintas opciones de viaje.

Los principales atributos considerados en la elección modal fueron los siguientes:

- tiempo de viaje, en sus distintos componentes;
- costo generalizado, incluyendo tarifa o costo operativo;
- tiempo de espera;
- tiempo de caminata;
- número de transbordos.

Estos atributos fueron construidos a partir de las matrices de impedancia y utilidad generadas en TransCAD, alimentadas con información de red, tiempos de recorrido, costos operativos y parámetros obtenidos a partir del procesamiento de encuestas y bases complementarias. Su inclusión permitió que la elección modal refleje la experiencia general del viaje y no únicamente el tiempo a bordo o el costo monetario directo.

11.4.2 Modelo de elección modal – LOGIT

El modelo adoptado corresponde a una formulación Nested Logit, en la cual la probabilidad de elegir una alternativa específica resulta de la combinación entre la probabilidad de elegir el grupo modal al que pertenece y la probabilidad condicional de escoger dicha alternativa dentro de ese grupo. Esta formulación incorpora además el concepto de logsum o valor inclusivo, que resume la accesibilidad agregada de las alternativas contenidas en cada nido y permite transferir esa información al nivel superior de decisión.

La utilidad sistemática de cada alternativa fue definida como una función lineal de sus atributos observables, según la expresión general:

$$U_i = \beta_1 \cdot Tiempo_i + \beta_2 \cdot Costo_i + \beta_3 \cdot OtrosAtributos_i$$

Donde:

- Ui es la utilidad de la alternativa iii,
- Tiempoi representa el tiempo de viaje asociado a la alternativa,
- Costoi representa el costo monetario o generalizado,

VERSIÓN PRELIMINAR

- OtrosAtributosi incluye variables adicionales como caminata, espera o transbordos,
- y los parámetros β expresan la sensibilidad del usuario frente a cada componente.

En el modelo implementado para Chiclayo, las funciones de utilidad adoptadas fueron las siguientes:

Auto:

$$U_{Auto} = \beta_{t,a} \cdot Tiempo_{Auto} + \beta_{c,a} \cdot Costo_{Auto}$$

Taxi:

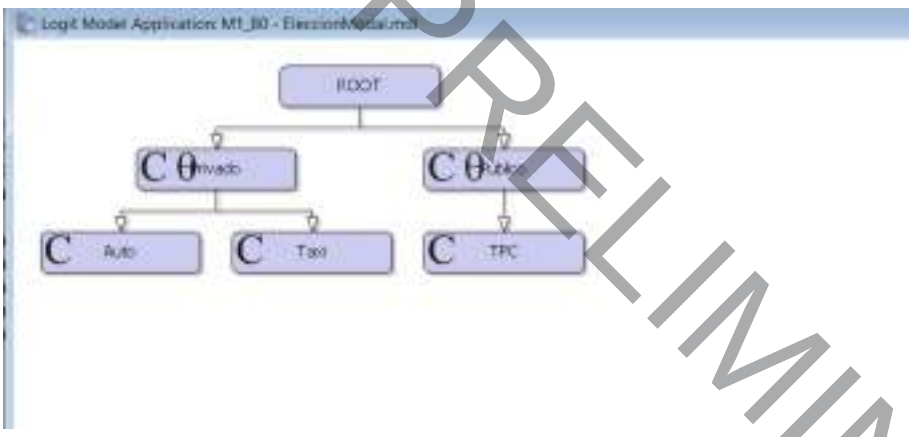
$$U_{Taxi} = \beta_{t,t} \cdot Tiempo_{Taxi} + \beta_{c,t} \cdot Costo_{Taxi}$$

Transporte Público Colectivo (TPC):

$$U_{TPC} = \beta_{t,p} \cdot Tiempo_{TPC} + \beta_{c,p} \cdot Costo_{TPC} + \beta_{cam} \cdot Caminata_{TPC} + \beta_{esp} \cdot Espera_{TPC} + \beta_{tr} \cdot Transbordos_{TPC}$$

Estas funciones fueron implementadas mediante matrices de utilidad en TransCAD, de modo que la utilidad de cada alternativa fue calculada para cada par origen–destino. Sobre esta base, el modelo estimó probabilidades de elección modal específicas para cada relación OD, permitiendo construir matrices por modo consistentes con las condiciones reales de accesibilidad y servicio del sistema.

Figura 48: Estructura del modelo Logit jerárquico



De manera general, la probabilidad total de elegir una alternativa i perteneciente al nido m puede expresarse como:

$$P(i) = P(i|m) \cdot P(m)$$

Donde:

- P(i|m) es la probabilidad condicional de elegir la alternativa i dentro del nido m,
- P(m) es la probabilidad de elegir el nido o grupo modal m.

Esta formulación hizo posible desagregar la matriz total de viajes distribuidos en matrices específicas para auto, taxi y transporte público colectivo, manteniendo consistencia con la estructura jerárquica definida para el sistema de modos modelado.

VERSIÓN PRELIMINAR

11.4.3 Resultados de indicadores del modelo

A partir del proceso de modelación implementado para el segmento analizado, se obtuvieron los siguientes coeficientes para las variables explicativas del modelo de elección modal:

```
Run Parameters:
  Maximum iterations:                    100
  Print itertion log:                    Yes
  Valid cases:                           5229
  Cases where some data was missing:     354


Elección modal
Maximum likelihood converged after 12 iterations.

Estimation results:

Parameter              Estimate        Std. Error   t Test Global Corr
============ ================= ================= ======== ===========
Tiempo_Auto   -0.00104 0.01278  -2.1546
Tiempo_Taxi   -0.00969 0.01621  -2.9060
Tiempo_TPC    -0.01643 0.00931  -3.8450
Costo_Auto    -0.00403 0.03132  -1.4641
Costo_Taxi    -0.09110 0.00976  -2.3989
Costo_TPC     -0.20144 0.07170  -5.4539
Caminata_TPC  -0.10832 0.00382  -1.6036
Espera_TPC    -0.10891 0.02092  -0.9153

Log-Likelihood at Zero    -5744.61
Log-Likelihood at Start   -7037.61
Log-Likelihood at End     -3303.19
-2 (LL(Zero)   - LL(End)) 4882.849
-2 (LL(Start)  - LL(End)) 7468.850
Asymptotic rho squared      0.3250
Adjusted rho squared        0.3234
```

Los coeficientes estimados presentan los signos esperados desde el punto de vista de la teoría de la utilidad:

- Tiempo de viaje (Tiempo_Auto, Tiempo_Taxi, Tiempo_TPC):
  Todos los coeficientes son negativos, lo cual es consistente con la teoría económica y del transporte. Esto indica que, a medida que aumenta el tiempo de viaje, disminuye la utilidad del modo y, por tanto, la probabilidad de elección.
- Costo de viaje (Costo_Auto, Costo_Taxi, Costo_TPC):
  Los coeficientes también son negativos y presentan una magnitud relativamente importante. Esto refleja que los usuarios son sensibles al costo monetario del viaje; un incremento en el costo reduce la probabilidad de elección del modo.
- Caminata_TPC:
  El signo negativo es coherente con el comportamiento esperado, ya que mayores distancias o tiempos de caminata hacia el transporte público disminuyen su atractivo.
- Espera_TPC:
  El coeficiente negativo indica que mayores tiempos de espera reducen la utilidad del transporte público colectivo (TPC), lo cual es consistente con la teoría de elección modal.

VERSIÓN PRELIMINAR

En general, los signos obtenidos son adecuados y respaldan la consistencia comportamental del modelo.

El modelo converge después de 12 iteraciones, lo cual indica estabilidad en el proceso de estimación.

Log-Likelihood

- LL(0) = -5744.61
- LL(final) = -3303.19

La mejora del log-likelihood muestra que el modelo explica adecuadamente el comportamiento observado respecto a un modelo sin variables explicativas.

Rho cuadrado

- $\rho^2 = 0.3250$
- ρ^2 ajustado = 0.3234

En modelos de elección discreta aplicados al transporte, valores entre 0.15 y 0.40 suelen considerarse aceptables. Por tanto, el ajuste obtenido puede considerarse adecuado para un modelo de reparto modal basado en encuestas de movilidad.

Tabla 40: Coeficientes de las variables

Variable	Coeficiente
Tiempo_Auto	-0.001
Tiempo_Taxi	-0.0097
Tiempo_TPC	-0.016
Costo_Auto	-0.004
Costo_Taxi	-0.091
Costo_TPC	-0.2
Caminata_TPC	-0.1083
Espera_TPC	-0.1089

Los signos negativos de los coeficientes son consistentes con la teoría de elección discreta, ya que indican que un incremento en cualquiera de estos componentes reduce la utilidad de la alternativa y, por tanto, disminuye su probabilidad de ser elegida. Asimismo, la magnitud relativa de los coeficientes permite interpretar la sensibilidad de los usuarios frente a cada atributo del viaje.

En particular, los resultados muestran que el **tiempo de viaje en transporte público colectivo** presenta una mayor penalización que el tiempo asociado a los modos privados, lo que sugiere que los usuarios perciben con mayor desutilidad el tiempo consumido en el sistema de transporte público. Del mismo modo, el **costo del TPC** presenta una sensibilidad elevada, evidenciando que la tarifa tiene una incidencia significativa sobre la decisión modal.

Por otra parte, los coeficientes asociados a **caminata** y **espera** dentro del transporte público son también marcadamente negativos, lo cual confirma que estos componentes tienen un peso importante en la percepción del viaje. Esto resulta particularmente relevante en un contexto como Chiclayo, donde la accesibilidad al transporte público depende no solo del tiempo a bordo, sino también de la cercanía de las paradas, los tiempos de espera y la calidad de las conexiones entre servicios. En consecuencia, mejoras en frecuencia, cobertura y accesibilidad peatonal podrían generar

VERSIÓN PRELIMINAR

efectos importantes sobre la competitividad del transporte público y, por ende, sobre el reparto modal del sistema.

11.4.4 Alcance del análisis de sensibilidad

Como complemento a la validación del reparto modal del escenario base, se precisa que los análisis de sensibilidad asociados a la partición modal serán desarrollados en los siguientes entregables, en el marco de la evaluación comparativa de escenarios y alternativas de intervención del PMUS. En dicha etapa, el modelo permitirá analizar la respuesta de la demanda ante variaciones en los principales atributos de nivel de servicio, tales como tarifa, tiempo de viaje, tiempo de espera, tiempo de acceso, condiciones de transbordo y costo generalizado. En consecuencia, la partición modal presentada en el presente entregable corresponde a la calibración y validación del escenario base, mientras que la evaluación predictiva de políticas tarifarias, operacionales y de mejora del sistema de transporte será abordada como parte del análisis de escenarios futuros.

11.4.5 Matrices y aplicación en TransCAD

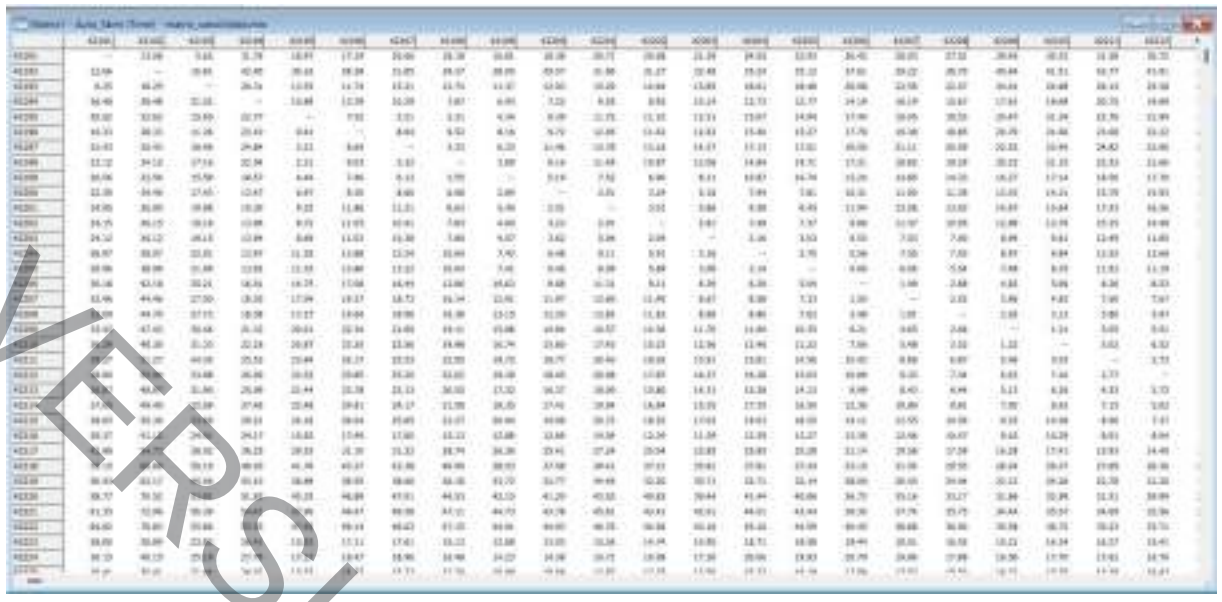
Para la aplicación del modelo de partición modal se utilizaron tres grupos principales de insumos:

- la matriz de viajes origen–destino;
- las matrices de utilidad por modo;
- y las matrices de disponibilidad modal.

Estas matrices fueron integradas en TransCAD mediante el archivo de modelo correspondiente de elección modal, en el que se especificaron las variables utilizadas, los coeficientes estimados, los segmentos de análisis y las fuentes de datos asociadas a cada componente. De este modo, el software procesó, para cada par OD, las utilidades de las alternativas y generó las probabilidades de elección modal correspondientes.

Figura 49: Matrices de utilidad

VERSIÓN PRELIMINAR

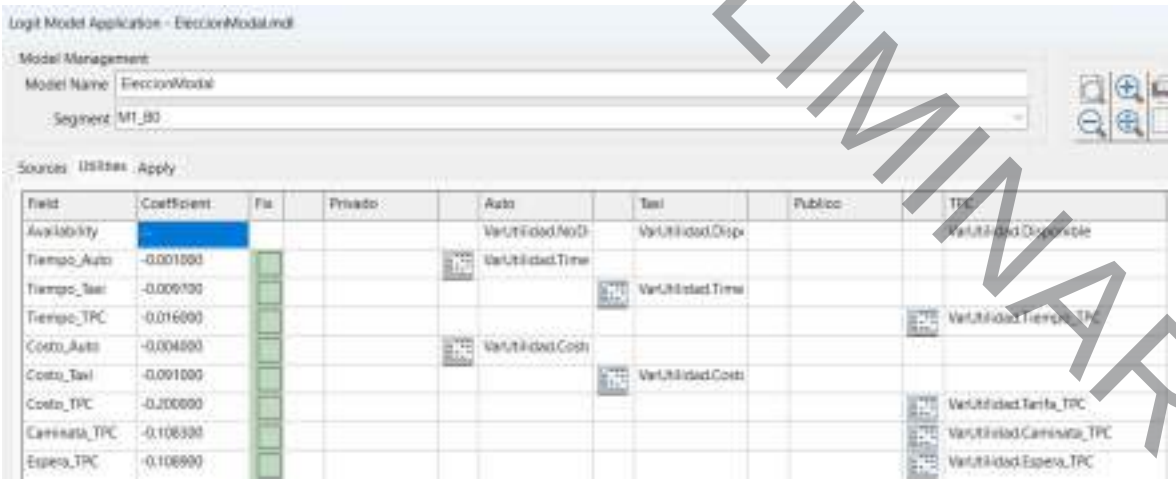


Como resultado de esta etapa, el modelo permitió obtener:

- probabilidades de elección modal por relación origen–destino;
- matrices OD específicas por modo;
- indicadores agregados de reparto modal;
- y matrices insumo para la etapa posterior de asignación del transporte privado y del transporte público.

En consecuencia, la partición modal cumplió un rol clave dentro del MET, al traducir la distribución espacial de los viajes en una demanda segmentada por modo, consistente con las condiciones de accesibilidad, costo y nivel de servicio del sistema de transporte de Chiclayo.

Figura 50: Variables utilizadas del modelo logit



En la siguiente table se puede observar los resultados del reparto modal de los datos obtenidos en campo y los obtenidos del modelo para la validación del mismo.

VERSIÓN PRELIMINAR

Tabla 41: Validación de reparto modal HPM

Segmento Demanda	EDOH	Modelo	Diferencia (pp)
Privado	34%	31%	3
Taxi	13%	15%	2
Publico-Colectivo	53%	54%	1

11.5 Calibración del modelo

El siguiente paso consiste en la calibración de los flujos vehiculares y la carga de pasajeros obtenidos de los trabajos de campo realizados el año 2025. El proceso de calibración tiene como finalidad ajustar los parámetros del modelo para que los resultados de la asignación reproduzcan adecuadamente las condiciones observadas de campo. El software TransCAD cuenta con varios métodos para realizar estos procesos de calibración de flujos. Se ha utilizado el método de la calibración por arcos, el cual consiste en la extracción de los pares O/D de los arcos de análisis para poder realizar el ajuste correspondiente, este proceso es iterativo hasta llegar a unos valores de flujo y demanda razonables.

Una vez obtenido la matriz calibrada, se emplea el método Pivot para poder recoger la estructura funcional de la matriz de 4 etapas y la matriz ajustada.

11.5.1 Datos de campo utilizados

Frecuencia y Ocupación Visual (FOV)

Se realizaron levantamientos de Frecuencia y Ocupación Visual (FOV) en puntos estratégicos de la red de transporte público, con el objetivo de estimar la carga de pasajeros transportados en los principales corredores del sistema. Esta metodología permite registrar, mediante observación directa, la frecuencia de paso de las unidades, su tipología, sentido de circulación y nivel de ocupación, obteniendo así una aproximación representativa de la demanda atendida por el transporte público en cada punto de control. La información levantada en campo corresponde a una muestra observada, la cual fue posteriormente expandida utilizando los conteos vehiculares y factores de expansión correspondientes, permitiendo estimar las cargas de pasajeros por punto, sentido y período de análisis.

Conteos vehiculares

Se realizaron conteos vehiculares en puntos estratégicos de la red vial, con la finalidad de caracterizar los volúmenes de circulación por tipo de vehículo, sentido y período de análisis. Esta información fue utilizada como insumo principal para la calibración y validación de la matriz de transporte privado, permitiendo contrastar los flujos observados en campo con los flujos asignados por el modelo sobre la red vial.

11.5.2 Método PIVOT

El método **PIVOT** se emplea para proyectar las matrices de viajes de los escenarios futuros a partir de la matriz base calibrada, preservando la estructura espacial observada en el año base e incorporando, al mismo tiempo, los efectos derivados del crecimiento urbano, la variación de la demanda y los cambios en la oferta del sistema de transporte.

La lógica del método consiste en utilizar la matriz calibrada como referencia principal y ajustar sus valores en función de los cambios estimados en las matrices gravitacionales futuras. De este modo, se

VERSIÓN PRELIMINAR

evita construir matrices futuras completamente desvinculadas del patrón de viajes ya validado, manteniendo la consistencia del modelo y mejorando la estabilidad de los resultados.

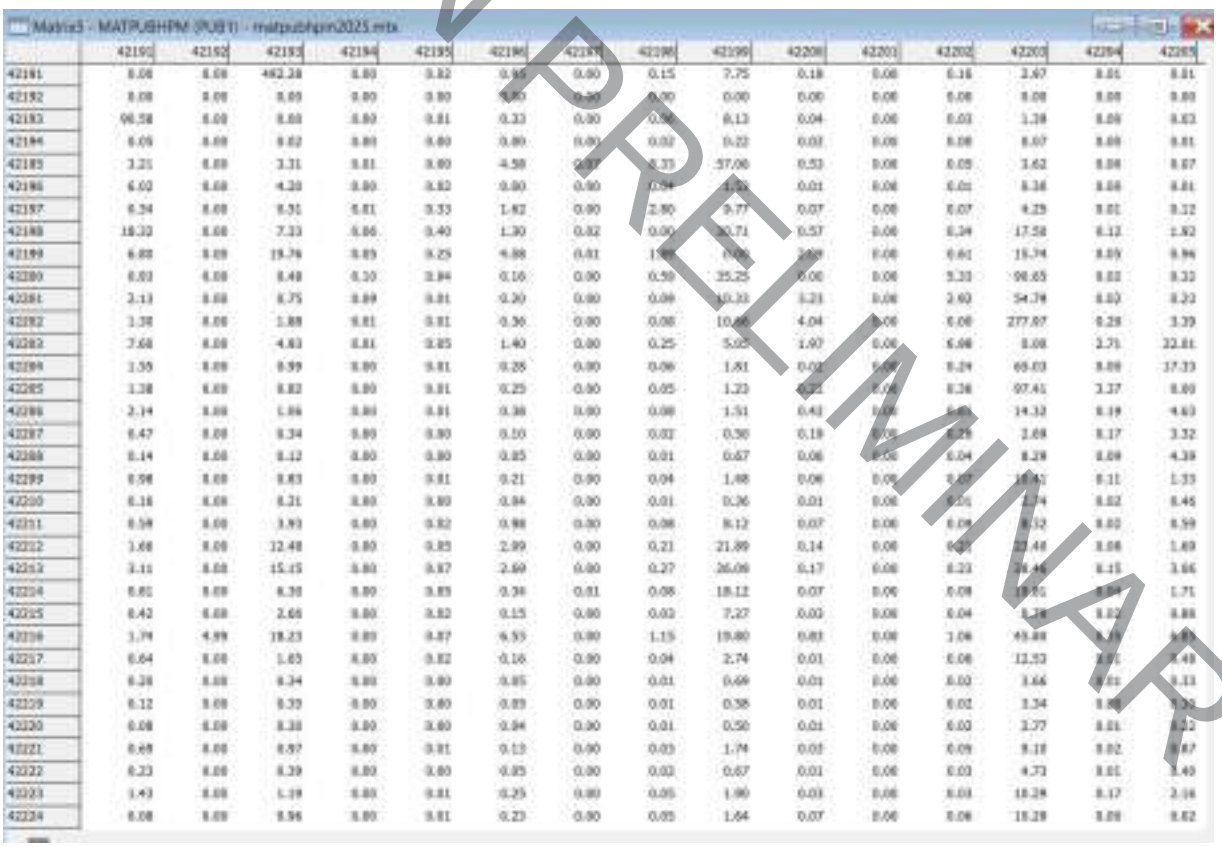
La formulación aplicada comprende tres procesos complementarios:

Primer proceso

En una primera etapa, se construye una matriz futura preliminar a partir de las celdas que ya presentan valores en la matriz calibrada del año base. Esta corresponde a la forma simple del método PIVOT, mediante la cual se conservan los viajes previamente representados y validados en el escenario base, trasladándolos al escenario futuro bajo la nueva estructura de balance y crecimiento.

En términos prácticos, este proceso permite mantener la distribución espacial de los viajes ya existentes en el modelo calibrado, garantizando continuidad entre el escenario base y los escenarios horizonte.

Figura 51: matriz base calibrada público



Fuente: Elaboración propia

Figura 52: matriz base calibrada privado

VERSIÓN PRELIMINAR

Matrati - MatrizCampo (Privado) - mg4eprttpm2025base.mtx

	42191	42192	42193	42194	42195	42196	42197	42198	42199	42200	42201	42202	42203	42204	42205
42191	0.00	0.00	213.95	0.01	0.10	7.01	0.00	0.76	20.67	0.63	0.00	0.67	17.12	0.01	0.02
42192	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
42193	35.27	0.00	0.08	0.01	0.04	1.08	0.00	0.15	7.23	0.12	0.00	0.12	6.71	0.00	0.04
42194	3.21	0.00	1.57	0.00	0.03	0.68	0.00	0.10	2.58	0.20	0.00	0.26	18.51	0.15	0.08
42195	5.24	0.00	5.87	0.47	0.00	16.41	0.02	1.86	44.44	2.19	0.00	0.13	22.44	0.00	0.09
42196	5.83	0.00	3.49	0.04	0.07	0.06	0.00	0.30	7.13	0.23	0.00	0.04	2.84	0.00	0.00
42197	3.33	0.00	2.08	0.30	0.15	7.37	0.00	1.01	21.31	0.70	0.00	0.12	6.54	0.01	0.08
42198	14.55	0.00	11.58	0.67	0.12	11.48	0.01	0.00	19.38	1.38	0.00	0.83	49.35	0.19	1.04
42199	5.86	0.00	11.35	0.59	0.22	2.81	0.01	0.90	0.08	0.83	0.00	1.32	87.10	0.00	0.73
42200	0.31	0.00	0.47	1.11	0.21	4.47	0.01	1.46	20.32	0.00	0.00	1.68	122.64	0.64	8.15
42201	2.82	0.00	3.61	0.88	0.15	0.48	0.00	0.80	19.34	0.77	0.00	1.08	87.83	0.65	6.08
42202	2.44	0.00	1.58	0.86	0.16	0.48	0.00	0.93	24.42	1.24	0.00	0.08	86.89	1.48	13.51
42203	0.85	0.00	4.11	0.86	0.05	1.24	0.00	0.21	30.24	2.41	0.00	1.58	0.00	2.08	18.35
42204	2.52	0.00	1.18	0.42	0.02	0.42	0.00	0.07	2.26	0.70	0.00	1.22	72.91	0.00	5.74
42205	2.03	0.00	1.22	0.44	0.02	0.38	0.00	0.07	4.71	0.19	0.00	1.42	86.58	0.95	0.00
42206	3.43	0.00	1.96	0.18	0.03	0.68	0.00	0.12	6.76	0.33	0.00	0.46	92.88	1.56	11.23
42207	0.88	0.00	0.47	0.09	0.01	0.21	0.00	0.04	2.68	0.17	0.00	0.25	34.73	0.49	3.98
42208	0.34	0.00	0.18	0.01	0.00	0.06	0.00	0.01	1.72	0.10	0.00	0.08	26.90	0.35	8.17
42209	0.90	0.00	0.77	0.02	0.01	0.27	0.00	0.03	1.61	0.04	0.00	0.08	7.70	0.09	1.11
42210	0.24	0.00	0.37	0.00	0.00	0.18	0.00	0.01	0.72	0.01	0.00	0.03	23.86	0.03	0.72
42211	0.57	0.00	2.08	0.04	0.04	0.98	0.00	0.15	5.28	0.19	0.00	0.25	24.25	0.03	0.42
42212	1.63	0.00	7.94	0.09	0.11	1.92	0.00	0.25	14.48	0.43	0.00	0.58	64.38	0.10	1.14
42213	3.32	0.00	10.27	0.15	0.16	2.79	0.00	0.48	18.43	0.63	0.00	0.69	89.65	0.19	2.41
42214	0.70	0.00	14.63	0.03	0.07	1.28	0.00	0.11	11.90	0.14	0.00	0.18	44.46	0.02	0.84
42215	0.86	0.00	12.32	0.03	0.06	1.15	0.00	0.11	11.38	0.24	0.00	0.28	37.30	0.04	0.96
42216	1.87	0.00	12.19	0.07	0.10	7.18	0.00	0.91	16.02	0.48	0.00	1.07	36.27	0.50	3.41
42217	1.71	0.00	2.06	0.01	0.03	0.25	0.00	0.05	4.07	0.23	0.00	0.07	33.82	0.13	3.87
42218	0.24	0.00	0.68	0.00	0.00	0.07	0.00	0.02	1.02	0.01	0.00	0.02	2.57	0.02	0.23
42219	0.17	0.00	0.68	0.00	0.00	0.08	0.00	0.02	0.92	0.01	0.00	0.02	2.53	0.02	0.23
42220	0.13	0.00	0.49	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	0.67	0.01	0.00	0.02	1.75	0.01	0.18
42221	2.58	0.00	2.04	0.02	0.04	0.49	0.00	0.10	6.05	0.08	0.00	0.13	17.87	0.13	1.65
42222	0.36	0.00	1.38	0.00	0.01	0.28	0.00	0.09	1.73	0.03	0.00	0.08	6.85	0.04	0.64
42223	3.19	0.00	2.68	0.05	0.03	0.38	0.00	0.10	4.44	0.10	0.00	0.38	34.16	0.38	3.19
42224	7.60	0.00	2.61	0.04	0.04	0.04	0.00	0.12	3.66	0.12	0.00	0.21	15.83	0.25	2.66

Fuente: Elaboración propia

Segundo proceso

En una segunda etapa, se incorporan los viajes adicionales que surgen como consecuencia del crecimiento proyectado. Para ello, se calcula la diferencia entre la **matriz gravitacional futura** y la **matriz gravitacional base**, considerando únicamente aquellos valores cuya diferencia sea mayor que cero.

Este procedimiento permite identificar los incrementos netos de viajes que no estaban representados en la matriz calibrada del año base, particularmente en aquellas relaciones origen-destino que originalmente presentaban celdas vacías o sin demanda significativa. De esta manera, el método no solo preserva la estructura calibrada, sino que también habilita la aparición de nuevas interacciones espaciales coherentes con la evolución futura del sistema urbano y de transporte.

Tercer proceso

Finalmente, se obtienen las matrices definitivas por modo de transporte mediante la suma de las matrices resultantes de los dos procesos anteriores. Es decir, la matriz futura final se construye integrando:

- la matriz derivada del pivoteo de la matriz calibrada base, y

VERSIÓN PRELIMINAR

- la matriz de incrementos netos positivos generados por la proyección gravitacional futura.

Con ello se obtiene una matriz final por modo, apta para ser utilizada en la etapa de asignación del modelo.

Síntesis metodológica

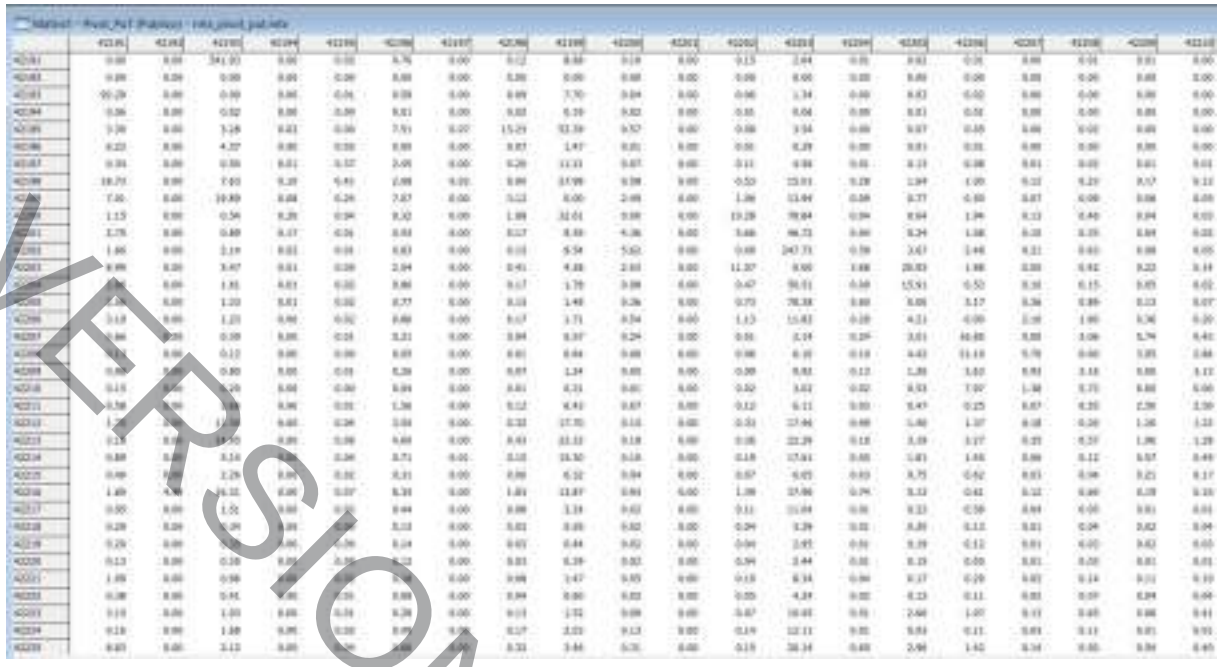
El método PIVOT permite ajustar o "pivotear" una matriz de transporte, ya sea de transporte público o de transporte privado, a partir de una lógica que combina consistencia empírica y proyección futura. Su aplicación se basa en los siguientes principios:

1. Parte de una matriz base calibrada, que constituye la referencia principal del comportamiento observado.
2. Incorpora el balance entre flujos de entrada y salida para mantener la coherencia global de la matriz.
3. Añade los incrementos de demanda proyectados en los escenarios futuros, especialmente en relaciones OD nuevas o en crecimiento.
4. Considera factores de ajuste y restricciones operativas, tales como límites mínimos y máximos, así como parámetros de corrección adicionales, con el fin de evitar distorsiones en la proyección.

En consecuencia, el método PIVOT constituye una herramienta robusta para la construcción de matrices futuras, ya que permite conservar la estructura validada del año base y, al mismo tiempo, reflejar de manera consistente los efectos del crecimiento urbano y de las modificaciones en la oferta de transporte. Su uso resulta particularmente adecuado en modelos estratégicos, donde se requiere proyectar escenarios horizonte manteniendo continuidad metodológica con la calibración del modelo base.

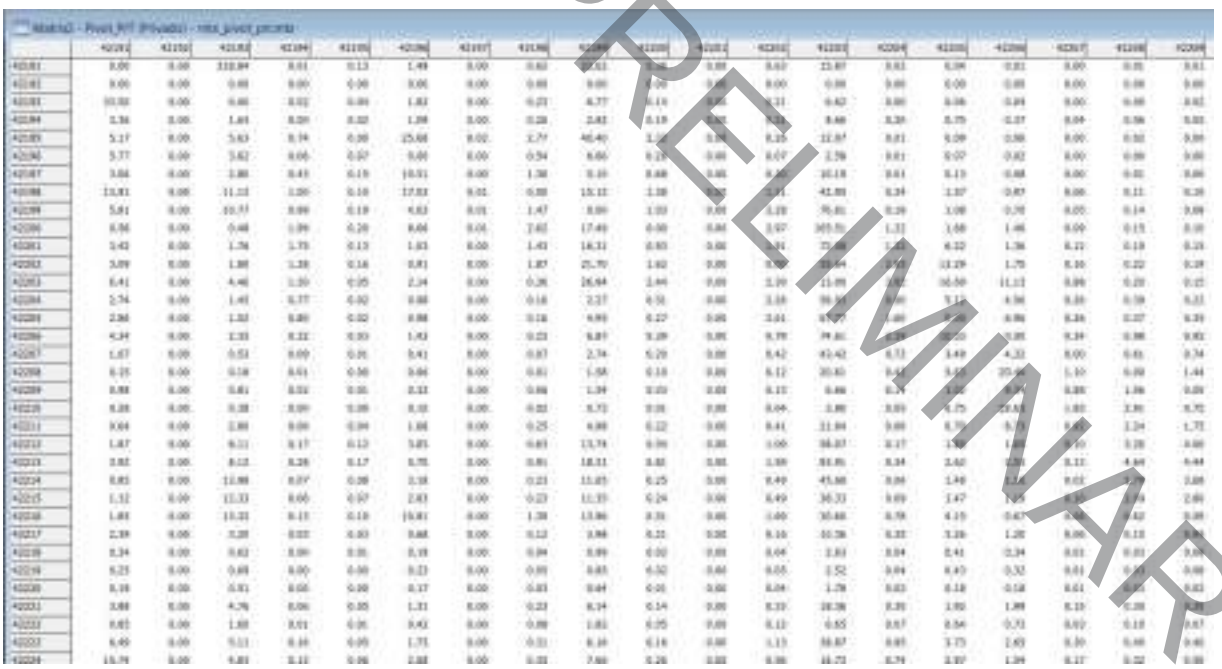
VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 53: Matriz pivot - público



Fuente: Elaboración propia

Figura 54: Matriz pivot - privada



Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

11.6 Modelo de Asignación

La etapa de asignación tiene por finalidad cargar sobre las redes de transporte los viajes previamente distribuidos y segmentados por modo, con el propósito de estimar los flujos efectivos que circulan

por la red vial y por la red de transporte público. Esta fase constituye el cierre operativo del modelo de cuatro etapas, ya que transforma las matrices origen–destino en volúmenes vehiculares, tiempos de viaje, velocidades operativas, niveles de saturación, cargas de pasajeros y demás indicadores de desempeño del sistema de movilidad.

En el Modelo Estratégico de Transporte (MET) de Chiclayo, la asignación se desarrolló de manera diferenciada para el transporte privado y para el transporte público, utilizando procedimientos específicos acordes con la naturaleza de cada sistema. En el caso del transporte privado se empleó un enfoque de equilibrio estocástico del usuario, mientras que para el transporte público se utilizó el algoritmo Pathfinder incorporado en TransCAD, basado en la construcción de hiperrutas. Esta diferenciación metodológica permite representar con mayor realismo la lógica de elección y distribución de flujos en cada red, considerando sus atributos operacionales, su nivel de servicio y las condiciones efectivas de funcionamiento.

11.6.1 Asignación del Transporte Privado

Método de asignación utilizado

Para la asignación del transporte privado se utilizó el método **PATH User Equilibrium (SUE)**. Este enfoque reconoce que los usuarios de la red vial no siempre eligen de manera estrictamente determinística la ruta de menor costo, debido a que sus decisiones están influenciadas por percepciones imperfectas del tiempo de viaje, variabilidad en la información disponible, hábitos de viaje y errores de juicio. A diferencia del equilibrio clásico del usuario (**User Equilibrium, UE**), en el que todos los usuarios de un mismo par origen-destino seleccionan únicamente rutas de igual y mínimo costo, el modelo PUE permite que distintas rutas sean elegidas con una probabilidad asociada al costo percibido por cada usuario.

Conceptualmente, el modelo parte de que el costo percibido de una ruta k puede expresarse como:

$$C_k = C_{min} + \varepsilon_k$$

Donde:

- Ck: costo percibido de la ruta k
- Cmin: costo mínimo entre las rutas disponibles
- εk: componente aleatoria asociada a la percepción del usuario

Bajo este enfoque, las rutas de menor costo percibido tienen mayor probabilidad de ser elegidas, pero no de forma exclusiva. Esta formulación resulta apropiada para representar una red urbana como la de Chiclayo, donde la existencia de corredores alternativos, variabilidad operativa y distintas percepciones de congestión hacen más realista una asignación probabilística que una asignación completamente determinista.

La probabilidad de elegir una ruta rrr dentro del conjunto de rutas disponibles para un determinado par origen–destino puede expresarse mediante una formulación Logit como:

$$P_r = \frac{e^{-\theta C_r}}{\sum_{k \subset K} e^{-\theta C_k}}$$

Donde:

- Pr: probabilidad de elegir la ruta r

VERSIÓN PRELIMINAR

- Cr: costo percibido de la ruta r
- θ: parámetro de sensibilidad al costo
- K: conjunto de rutas disponibles para el par origen-destino

A partir de esta probabilidad, el flujo asignado a cada ruta se obtiene como:

$$f_r = D_{od} \cdot P_r$$

Donde:

- fr: flujo asignado a la ruta r
- Dod: demanda del par origen-destino

Esta lógica permite distribuir la demanda entre múltiples trayectorias factibles, representando de mejor manera la dispersión real de recorridos en la red vial.

Costo Generalizado

La asignación del transporte privado se realizó utilizando como variable principal el costo **generalizado de viaje**, entendido como una medida integral de la desutilidad percibida por el usuario al desplazarse entre un origen y un destino. Esta variable incorpora no solo el tiempo de viaje, sino también el costo monetario y las penalidades operativas asociadas al desplazamiento.

La formulación general adoptada fue la siguiente:

$$C_{ij} = t_{ij} + VOT \cdot C_{mon} + P_{ij}$$

Donde:

- Cij: costo generalizado entre la zona i y la zona j
- tij: tiempo de viaje
- VOT: valor del tiempo
- Cmon: costo monetario del desplazamiento
- Pij: penalidades adicionales

Tabla 42: Clases de vehículos en asignación privada

Clase	PCU	VOT (S/./min)
Privado	1.0	0.29
C2L (Camion Ligero)	1.8	0.98
C2P (Camion Pesado)	2.5	1.02

Fuente: Elaboración propia a partir de los trabajos de campo

El valor del tiempo (**VOT**) del transporte privado fue estimado a partir de las EPD, de manera que refleje adecuadamente la percepción relativa del tiempo frente al costo monetario en el contexto local. Esta estructura de costo permite comparar rutas y alternativas de manera homogénea y constituye la base sobre la cual opera la asignación en equilibrio estocástico, mientras que el VOT de los vehículos pesados fueron estimado a a partir de las encuestas O/D de interceptación realizados a vehículos pesados.

VERSIÓN PRELIMINAR

Función de Volumen-Demora (VDF)

Para representar el efecto de la congestión sobre la red vial se empleó una función volumen–demora del tipo BPR, que permite actualizar los tiempos de viaje en función del nivel de saturación de cada enlace. Esta formulación es ampliamente utilizada en modelación macroscópica del transporte, ya que expresa de manera agregada cómo el tiempo de recorrido se incrementa a medida que el volumen vehicular se aproxima a la capacidad disponible de la vía.

La expresión utilizada fue la siguiente:

$$t = t_0 \cdot \left(1 + \alpha \left(\frac{v}{c}\right)^{\beta}\right)$$

Donde:

- t: tiempo de viaje bajo condiciones de carga
- t0: tiempo de viaje en flujo libre
- v: volumen vehicular asignado al enlace
- c: capacidad del enlace
- α, β: parámetros de calibración de la función

Esta función permitió que la asignación privada capturara el deterioro progresivo de las condiciones de circulación conforme aumentan los flujos sobre los corredores principales. En el caso de Chiclayo, ello resulta especialmente relevante por la elevada concentración de viajes sobre ejes estructurantes y accesos centrales, donde la congestión afecta directamente los tiempos de viaje y, por tanto, las impedancias utilizadas en la retroalimentación del modelo.

Tabla 43: Parámetros de la función flujo-demora

Grupo	Tipo de via	a	b	Capacidad	Factor Vel. Priv-Pub
1	AutopistaRegional/Nacional/Via expresa	4.00	2.00	1900	0.88
2-3	Vía arterial	2.55-4.00	2.65-3.35	1400-1900	0.76
4	Vía colectora	1.38-2.5	3.00-3.20	900-1400	0.75
5-6	Vía local y accesos	3.00	2.5	800-1000	0.80
7	Conectores centroide				

Calibración del modelo y validación:

El siguiente paso consiste en la calibración de los flujos vehiculares obtenidos de los trabajos de campo.

El proceso de calibración tiene como finalidad ajustar los parámetros del modelo para que los resultados de la asignación reproduzcan adecuadamente las condiciones observadas de campo. El software TransCAD cuenta con varios métodos para realizar estos procesos de calibración de flujos. Se ha utilizado el método de la calibración por arcos mediante el método del Select link, el cual consiste en la extracción de los pares O/D de los arcos de análisis para poder realizar el ajuste correspondiente, este proceso es iterativo hasta llegar a unos valores de flujo y demanda razonables.

La **validación**, por su parte, consiste en verificar que el modelo calibrado es capaz de reproducir de forma independiente un conjunto de datos observados que no fueron utilizados durante el proceso

VERSION PRELIMINAR

de calibración, comprobando así su capacidad predictiva y su solidez metodológica. Para ello se aplican indicadores estadísticos como el índice GEH, el coeficiente de determinación R^2, el error cuadrático medio porcentual (RMSE%) y la comparación de volúmenes asignados versus conteos reales en puntos de control de la red. Un modelo correctamente validado otorga confianza en los resultados de los escenarios futuros, siendo la base técnica que sustenta las decisiones de inversión y planificación en infraestructura de transporte.

El estadístico GEH (Geoffrey E. Havers) es una medida estándar utilizada internacionalmente para evaluar la calidad de la calibración de modelos de transporte. Su fórmula es:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 . (M - C)^2}{(M + C)}}$$

Donde M es el volumen modelado y C es el volumen contado u observado.

Para el presente estudio se han considerado que los valores de GEH < 5 sean predominantes, así como una adecuada proporción de GEH < 10. No obstante, es posible la presencia de algunos valores de GEH > 10.

En ese sentido, se realizará un control y seguimiento de estos casos, procurando que los valores de GEH no superen el umbral de 15 y que su ocurrencia sea limitada y no representativa dentro del conjunto total de resultados.

Considerando lo antes mencionado, y luego de varias iteraciones y ajuste de matrices (calibración) del transporte privado, se obtiene lo siguiente:

Del gráfico de dispersión entre los datos observados y modelados de la matriz de autos privados que se obtuvieron luego de la calibración, se obtuvo el indicador R^2 y la pendiente presentan valores alrededor de 0.9 cercano a valor 1, con ello concluimos que el ajuste se encuentra en rangos aceptables o satisfactorio.

Figura 55: *Comparación de resultados GEH*

ID	Campo	Modelo	GEH
1,151	895	915	1
3,842	927	802	4
4,448	121	153	3
4,481	849	979	4
4,831	743	609	5
5,026	468	363	5
5,074	1,412	1,598	5
5,123	823	863	1

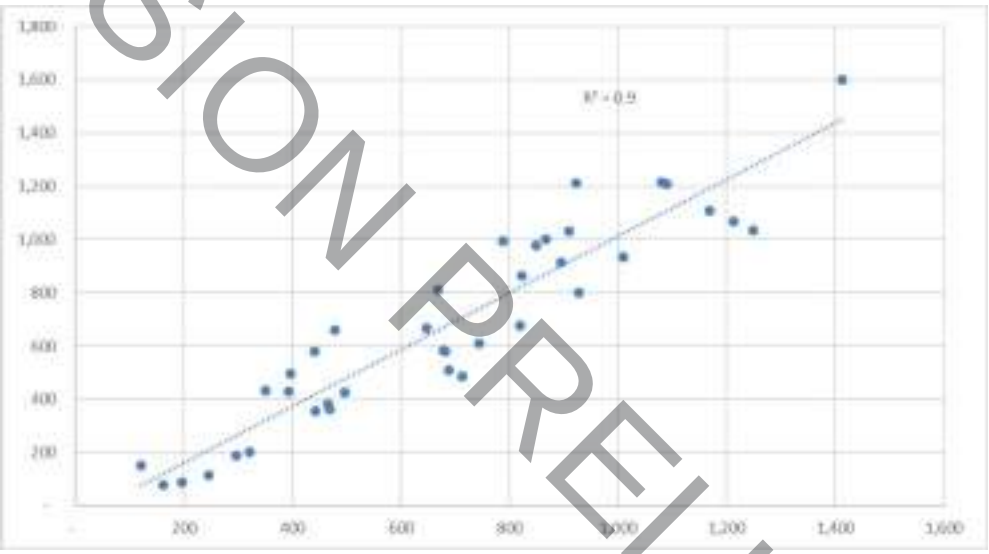
VERSIÓN PRELIMINAR

ID	Campo	Modelo	GEH
7,620	1,212	1,068	4
8,669	668	812	5
9,236	396	498	5
9,450	1,090	1,208	3
9,964	441	581	6
10,664	1,009	935	2
10,931	681	582	4
13,966	466	382	4
14,227	1,249	1,034	6
15,413	478	660	8
17,358	443	355	4
22,022	351	433	4
23,361	1,079	1,216	4
24,710	647	668	1
25,192	394	431	2
29,419	678	585	4
30,975	819	676	5
32,339	496	426	3
32,442	923	1,212	9
33,822	688	510	7
34,115	162	79	8
34,981	867	1,003	4
35,627	246	115	10
36,290	910	1,031	4

VERSIÓN PRELIMINAR

ID	Campo	Modelo	GEH
39,953	321	202	7
41,095	713	487	9
55,460	1,169	1,108	2
59,081	788	994	7
60,829	297	191	7
52,775	196	90	9

Figura 56: Dispersión del transporte privado en HPM



Con respecto al indicador GEH se tuvo los siguientes resultados:

- Un 63% se encuentra por debajo de un GEH <= 5
- Un 37% se encuentra en un GEH entre 5 a 10.

Los indicadores estadísticos mostrados se encuentran en niveles aceptables.

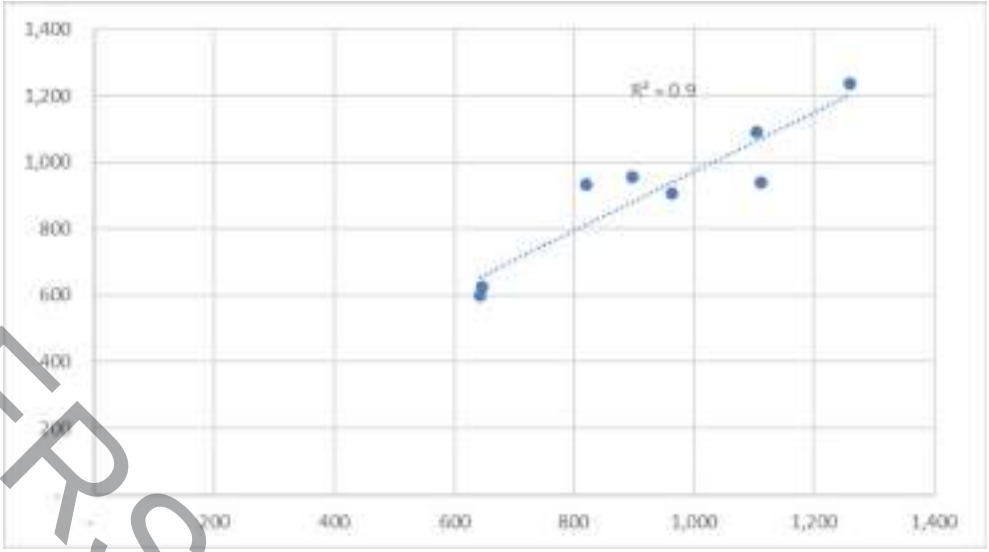
Tabla 44: Valores resultados del indicador GEH

GEH	Porcentaje
Menor a 5	63%
Entre 5 y 10	37%

Para la validación de la matriz de viajes, se utilizaron arcos que no fueron empleados en la calibración, obteniendo un R^2 aceptable.

Figura 57: Dispersión del transporte privado para validación en HPM

VERSION PRELIMINAR



Del gráfico de dispersión entre los datos observados y modelados de la matriz de vehículos pesados que se obtuvieron luego de la calibración, se obtuvo el indicador R^2 y la pendiente presentan valores alrededor de 0.9 cercano a valor 1, con ello concluimos que el ajuste se encuentra en rangos aceptables o satisfactorio.

Figura 58: *Comparación de resultados GEH – vehículos ligeros y pesados*

ID	Campo	Modelo	GEH
1,151	18	20	0
3,842	18	13	1
4,481	15	8	2
4,831	18	12	2
5,074	187	215	2
5,123	117	129	1
7,620	69	80	1
8,669	23	50	4
9,236	33	24	2
9,450	35	64	4
10,664	99	123	2
10,931	23	4	5

VERSIÓN PRELIMINAR

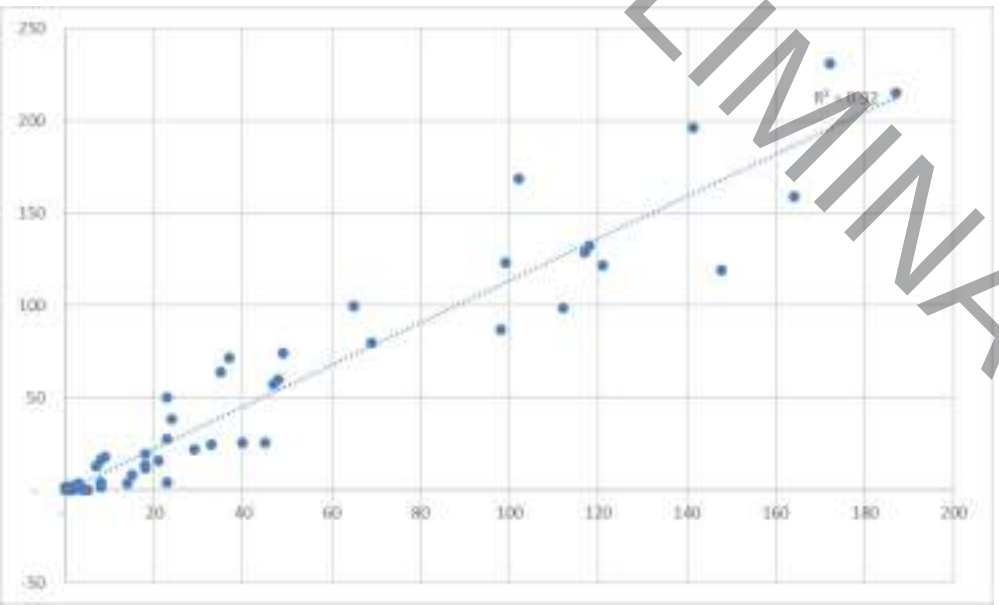
ID	Campo	Modelo	GEH
13,413	5	-	3
13,419	47	57	1
13,966	49	74	3
14,227	118	132	1
15,413	98	87	1
17,358	9	18	2
22,022	37	72	5
23,361	8	4	2
24,710	24	38	3
25,192	4	1	2
29,419	65	100	4
30,975	7	13	2
36,290	13	9	1
1,151	-	1.7	1.9
3,842	3	3.1	0.1
4,481	8	1.7	2.9
4,831	1	2.1	0.9
5,074	172	230.9	4.2
5,123	121	121.7	0.1
7,620	148	119.0	2.5
8,669	112	98.7	1.3
9,236	45	25.4	3.3
9,450	23	27.4	0.9
10,664	141	196.1	4.2
10,931	4	0.0	2.8

VERSION PRELIMINAR

ID	Campo	Modelo	GEH
13,413	-	0.0	0.0
13,419	14	3.5	3.6
13,966	29	21.8	1.4
14,227	164	158.8	0.4
15,413	102	168.5	5.7
17,358	3	3.5	0.3
22,022	48	59.8	1.6
23,361	2	0.0	2.0
24,710	40	25.9	2.5
25,192	1	0.0	1.4
29,419	21	15.7	1.2
30,975	8	16.4	4.7
36,290	1	3	1

VERSION PRELIMINAR

Figura 59: Dispersión del transporte de carga (ligeros y pesados) en HPM



Con respecto al indicador GEH se tuvo los siguientes resultados:

- Un 96% se encuentra por debajo de un GEH <= 5
- Un 4% se encuentra en un GEH entre 5 a 10.

Los indicadores estadísticos mostrados se encuentran en niveles aceptables.

Tabla 45: Valores resultados del indicador GEH

GEH	Porcentaje
Menor a 5	96%
Entre 5 y 10	4%

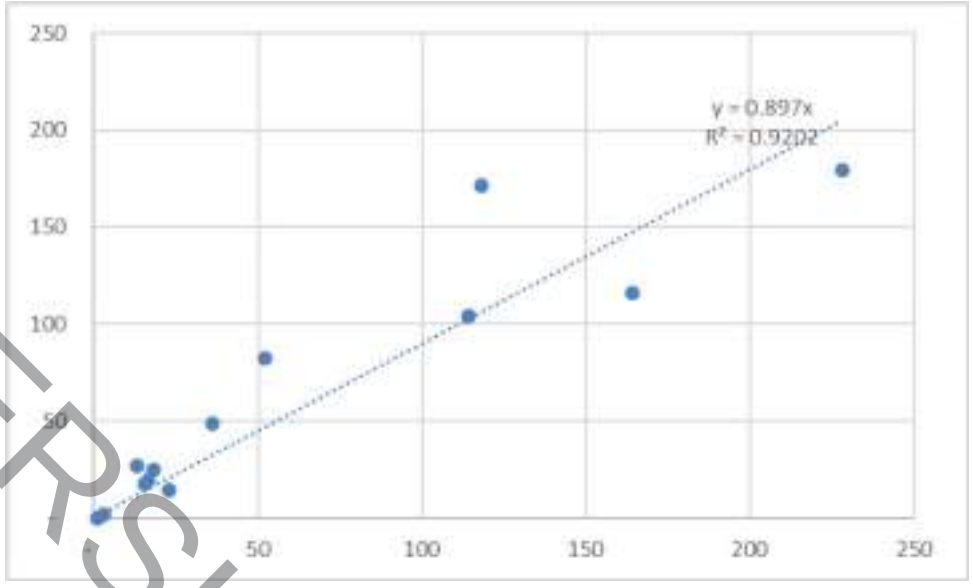
Para la validación de la matriz de viajes, se utilizaron arcos que no fueron empleados en la calibración, obteniendo un R^2 aceptable.

Figura 60: *Comparación de resultados GEH – vehículos ligeros y pesados- validación*

ID	Campo	Modelo	GEH
22,616	114	104	0.9
11,298	118	171	4.4
8,908	52	82	3.7
24,127	36	48	1.9
49,362	18	25	1.5
33,917	15	18	0.6
33,675	17	20	0.7
22,616	164	116	4
11,298	228	180	3
8,908	23	15	2
24,127	13	27	3
33,917	1	-	1
33,675	3	2	1

Figura 61: Dispersión del transporte pesado para validación en HPM

VERSIÓN PRELIMINAR



Una vez obtenida la matriz calibrada, se emplea el método Pivot para poder recoger la estructura funcional de la matriz de 4 etapas y la matriz ajustada.

11.6.2 Asignación del transporte público

11.6.2.1 Método de asignación utilizado

Para la asignación de viajes en transporte público se utilizó el algoritmo **Pathfinder** incorporado en el software TransCAD. Este método se basa en la construcción de **hiperrutas** o **hyperpaths**, entendidas como conjuntos de alternativas de viaje factibles entre un origen y un destino, en lugar de restringir la elección del usuario a una única ruta mínima. Este enfoque resulta especialmente apropiado para sistemas de transporte público, donde la disponibilidad efectiva de un servicio depende no solo del itinerario, sino también de la frecuencia, el tiempo de espera, la posibilidad de transferencia y la incertidumbre en la llegada de los vehículos.

A diferencia de los métodos tradicionales que asignan toda la demanda a una única trayectoria óptima, el enfoque de hiperrutas permite representar que los usuarios consideran varias opciones factibles dentro de un mismo corredor o conjunto de servicios y que su elección depende del costo generalizado esperado del viaje. En este sentido, Pathfinder ofrece una representación más realista del comportamiento de los pasajeros en redes de transporte colectivo urbano.

11.6.2.2 Formulación del costo generalizado del hyperpath

En este enfoque, el costo generalizado de un hyperpath k se define como la suma ponderada de los costos de los enlaces que lo integran:

$$c_k = \sum_{a \subset A} \delta_a^k \left(V_a + W_a\right)$$

Donde:

- c_k: costo generalizado del hyperpath k
- δ_a^k: proporción del flujo del hyperpath k que utiliza el enlace a
- V_a: costo del enlace aaa

VERSIÓN PRELIMINAR

- W_a: costo de espera asociado al enlace aaa

El costo del enlace V_a depende de la naturaleza del enlace dentro de la red de transporte público.

Cuando el enlace corresponde a un tramo de transporte público, el costo incluye tarifa, tiempo a bordo, penalización por transferencia y permanencia en paradas, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V_a = \gamma_r r_a + VOT\left(\gamma_I l_a + \gamma_X x_a + \gamma_d d_a\right)$$

Cuando el enlace corresponde a caminata u otro tramo no asociado directamente al transporte público, el costo se expresa como:

$$V_a = VOT \cdot \gamma_k k_a$$

Asimismo, el costo de espera en paradas se calcula en función de la frecuencia combinada de los servicios disponibles:

$$W_a = VOT \cdot \left(\frac{\alpha}{\sum_{b \in F_i(a)} f_b}\right)$$

Este valor se anula en el caso de enlaces que no correspondan a transporte público.

En estas formulaciones intervienen diversos coeficientes de ponderación, entre ellos:

γ_I, γ_X, γ_d, γ_w y γ_k, aplicados respectivamente al tiempo en vehículo, las penalidades por transferencia, la permanencia en paradas, la espera y la caminata. Estos coeficientes pueden obtenerse a partir de encuestas de preferencias declaradas o de valores de referencia de literatura especializada, y buscan reflejar la percepción diferenciada que tienen los usuarios respecto a cada componente del viaje.

11.6.2.3 Costo generalizado

La principal fortaleza del método Pathfinder radica en que integra todos los elementos relevantes del viaje en un único indicador de costo generalizado, expresado en unidades monetarias equivalentes mediante el uso del valor del tiempo. Esto permite comparar alternativas con diferentes combinaciones de tarifa, tiempo a bordo, tiempo de espera, acceso peatonal y transbordos, reproduciendo de manera más fiel el proceso real de toma de decisiones de los pasajeros.

VERSIÓN PRELIMINAR

$$c_k = \sum_{a \in A} \delta_a^k (V_a + W_a) \quad (4)$$

$$V_a = \gamma_r r_a + \mathrm{VOT}(\gamma_l l_a + \gamma_x x_a + \gamma_d d_a) \quad \text{if } a \text{ is a public transport link} \quad (5)$$

$$V_a = \mathrm{VOT} \cdot \gamma_k k_a \quad \text{otherwise} \quad (6)$$

$$W_a = \mathrm{VOT} \cdot \left(\frac{\alpha}{\sum_{b \in F^k_{t(a)}} f_b} \right) \quad \text{if } a \text{ is a public transport link} \quad (7)$$

$$W_a = 0 \quad \text{otherwise} \quad (8)$$

where:

c_k	=	total cost for hyperpath k, in monetary measure
a	=	public transport or walking link
A	=	Link set
δ_a^k	=	proportion of the flow of k assigned to link a
V_a	=	travel cost associated with link a
W_a	=	waiting cost at stops associated with link a
γ_r	=	fare weight
r_a	=	fare associated with link a
VOT	=	monetary value of time
γ_l	=	in-vehicle time weight
l_a	=	in-vehicle time on link a
γ_x	=	transfer penalty time weight
x_a	=	penalty time associated with link a
γ_d	=	dwelling time weight
d_a	=	dwelling time at stops associated with link a
γ_w	=	waiting time weight
α	=	inter-arrival parameter
$t(a)$	=	tail-node (or A-node) of link a
$F^k_{t(a)}$	=	all the links in hyperpath k that have $t(a)$ as its tail node
f_a	=	service frequency associated with link a
γ_k	=	walking time weight
k_a	=	walking time on link a

For a sequence of links that belong to the same route, only the first link carries fare.

Figura 62: Formulación del costo generalizado del método Pathfinder Fuente: CALIPER

En transporte público, el costo generalizado representa la desutilidad total percibida por el usuario al realizar un viaje, integrando no solo el tiempo a bordo del vehículo, sino también la tarifa, la caminata de acceso y egreso, la espera inicial, la espera por transbordo y las penalidades asociadas a las transferencias. Esta formulación resulta clave para representar adecuadamente la experiencia de viaje en sistemas urbanos donde una parte importante del tiempo total no se consume dentro del vehículo.

En términos generales, el costo generalizado del transporte público entre dos zonas puede expresarse como:

$$C_{ij}^{PT} = T_{iw,ij} + T_{iw,ij} + T_{tw,ij} + T_{aw,ij} + T_{ew,ij} + T_{tp,ij} + \lambda \cdot Fare_{ij}$$

VERSIÓN PRELIMINAR

Donde:

- CG_{ij}^{TP}: costo generalizado del viaje en transporte público entre i y j
- $T_{ve,ij}$: tiempo en vehículo
- $T_{we,ij}$: tiempo de espera inicial
- $T_{tw,ij}$: tiempo de espera por transbordo
- $T_{ac,ij}$: tiempo de caminata de acceso
- $T_{eg,ij}$: tiempo de caminata de egreso
- $T_{tp,ij}$: penalidad por transbordo
- $Fare_{ij}$: tarifa monetaria del viaje
- λ: factor de conversión monetaria a unidades generalizadas de tiempo o utilidad

Esta formulación permitió comparar distintas alternativas de viaje dentro de la red de transporte público bajo una métrica integrada de costo percibido.

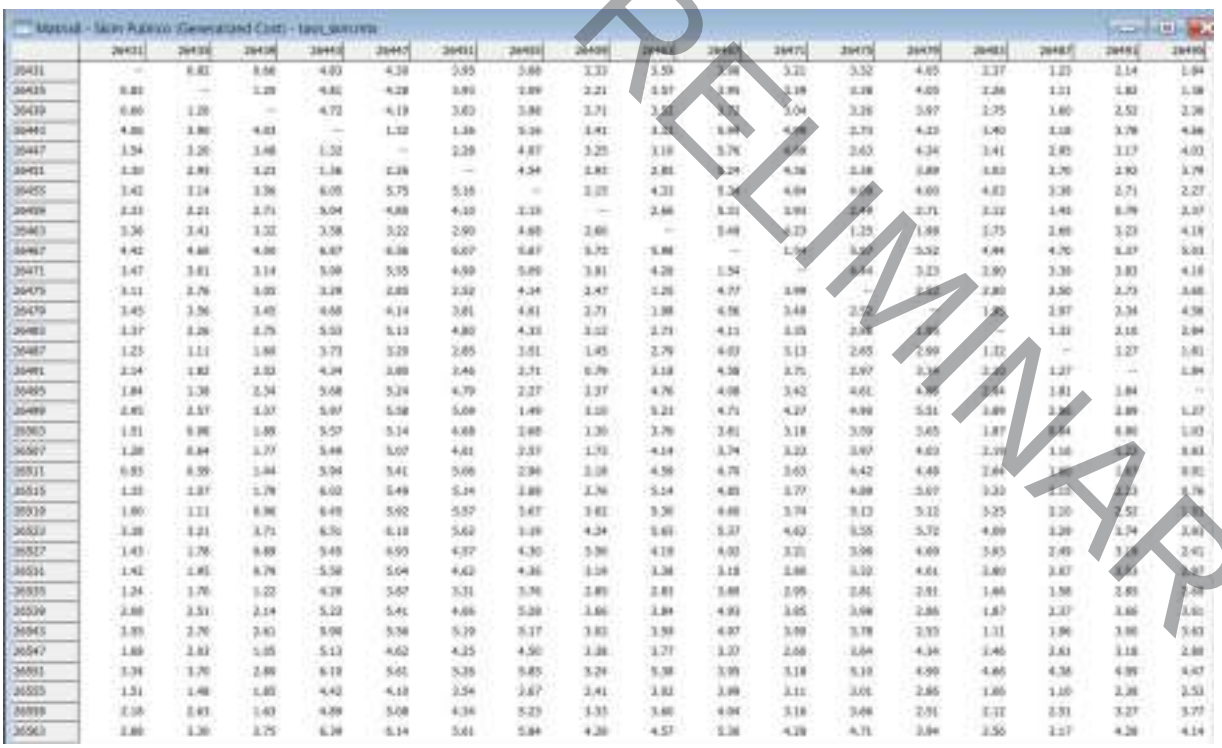
Los modos de transporte público se definen en archivos de configuración:

- MODO_BASE.bin: Modos base en operación

Tabla 46: Sistema de tarifas de transporte público

Categoría	Servicio	Tarifa
Tarifas	Bus convencional	S/ 1.50
Colectivo	Colectivo	S/ 2.00

Figura 63: Matriz de costo generalizado de viaje



Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

11.6.2.4 Tiempos de viaje

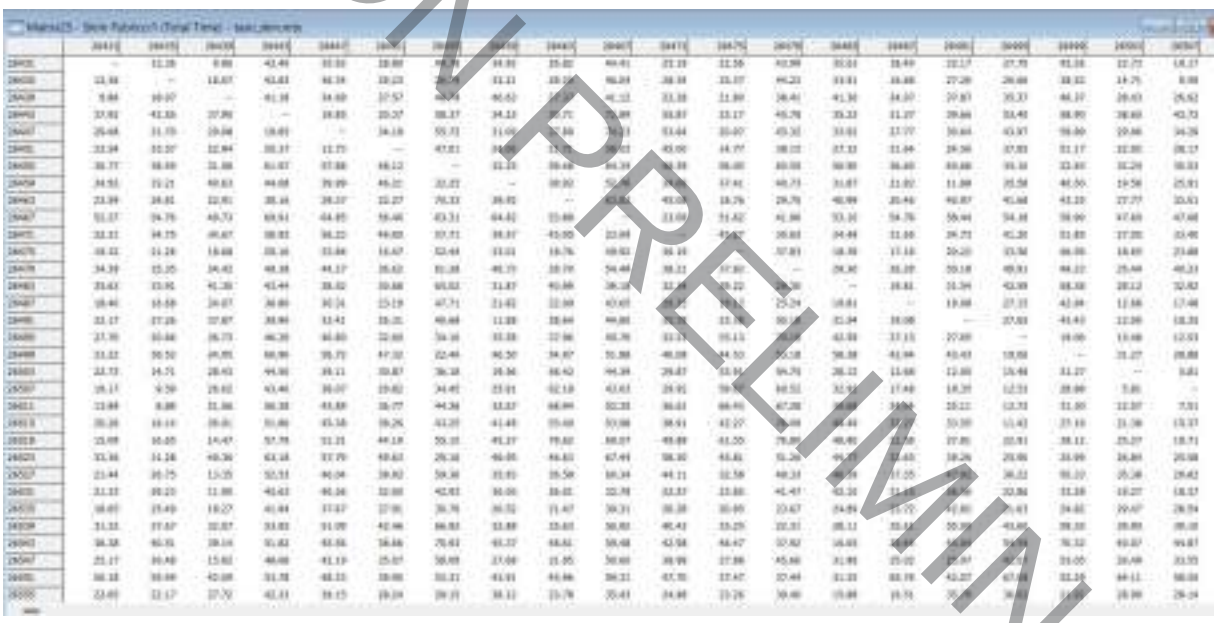
Para la asignación del transporte público se configuraron explícitamente los distintos componentes temporales del viaje, de modo que la matriz de skim represente no solo el tiempo en vehículo, sino la experiencia completa del desplazamiento. Los componentes considerados fueron los siguientes:

$$T_{ij}^{TP} = T_{iv,ij} + T_{iw,ij} + T_{tw,ij} + T_{aw,ij} + T_{ew,ij} + T_{dw,ij}$$

Donde:

- T_{ij}^{TP}: tiempo total de viaje en transporte público
- $T_{iv,ij}$: tiempo en vehículo
- $T_{iw,ij}$: tiempo de espera inicial
- $T_{tw,ij}$: tiempo de espera por transbordo
- $T_{aw,ij}$: tiempo de caminata de acceso
- $T_{ew,ij}$: tiempo de caminata de egreso
- $T_{dw,ij}$: tiempo de detención o permanencia operativa

Figura 64: Matriz de tiempo totales de viajes



Fuente: Elaboración propia

VERSIÓN PRELIMINAR

Tabla 47: Resumen de tiempos

Tiempos	2025
	Total
Tiempo en el vehículo	236,724
Tiempo espera inicial	25,796
Tiempo espera transferencia	8,341
Transfer Penalty Time	11,531
Tiempo de transferencia de camin	4,622
Tiempo de acceso de caminata	265,747
Tiempo de salida de caminata	138,402
Total Time	696,068

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los esquemas metodológicos del proceso de asignación del transporte público y privado, los cuales describen la lógica de distribución de la demanda sobre las respectivas redes de transporte.

VERSIÓN PRELIMINAR

Calibración del modelo y validación: El proceso de calibración del transporte público tiene como finalidad ajustar la matriz de demanda y los parámetros de asignación, de manera que las cargas de pasajeros estimadas por el modelo reproduzcan adecuadamente los valores observados en campo. Para ello, se utilizaron como referencia los resultados de los estudios de Frecuencia y Ocupación Visual (FOV), los cuales permitieron estimar las cargas de pasajeros por punto de control, sentido y período de análisis.

En TransCAD, la calibración se realizó mediante un proceso iterativo de ajuste de la matriz de transporte público, contrastando las cargas modeladas con las cargas observadas en los principales tramos y puntos de control de la red. Para este fin, se aplicaron procedimientos de análisis selectivo por enlace o tramo, como el método *Select Link*, que permite identificar los pares origen-destino que utilizan determinados arcos o corredores del sistema. A partir de esta información, se efectuaron ajustes sucesivos en la matriz hasta alcanzar niveles razonables de correspondencia entre la demanda asignada y la demanda observada.

La validación, por su parte, consistió en verificar que el modelo calibrado fuera capaz de reproducir adecuadamente un conjunto de datos observados no utilizados directamente durante el proceso de ajuste. Esta etapa permite comprobar la capacidad predictiva del modelo y su solidez metodológica. Para ello, se aplicaron indicadores estadísticos como el índice GEH, el coeficiente de determinación R^2, el error cuadrático medio porcentual (RMSE%) y la comparación entre cargas modeladas y cargas observadas en puntos de control de la red de transporte público.

Considerando lo anterior, y luego de varias iteraciones de ajuste de la matriz de transporte público, se obtuvieron resultados satisfactorios de calibración. El gráfico de dispersión entre las cargas de pasajeros observadas y modeladas muestra un coeficiente de determinación R^2 cercano a 0.94, lo que evidencia una adecuada correspondencia entre la información levantada en campo y los resultados asignados por el modelo. Este nivel de ajuste resulta consistente con la naturaleza estratégica del MET y con la variabilidad operativa propia del sistema de transporte público colectivo de Chiclayo.

Asimismo, el análisis del indicador GEH permite complementar la evaluación del ajuste, verificando el grado de similitud entre las cargas observadas y modeladas en los puntos de control. En conjunto, estos resultados permiten concluir que la matriz de transporte público calibrada reproduce de manera razonable los principales patrones de carga del sistema y constituye una base técnica adecuada para la evaluación del escenario base y de los escenarios futuros del PMUS Chiclayo.

Tabla 48: *Comparación de resultados GEH – carga de pasajeros*

ID	Campo	Modelo	GEH
1390	50	16	6.0
3316	1,366	1,650	7.3
4440	107	81	2.7
9089	232	137	7.0
9964	22	-	6.6
12898	36	-	8.5
13966	86	49	4.5

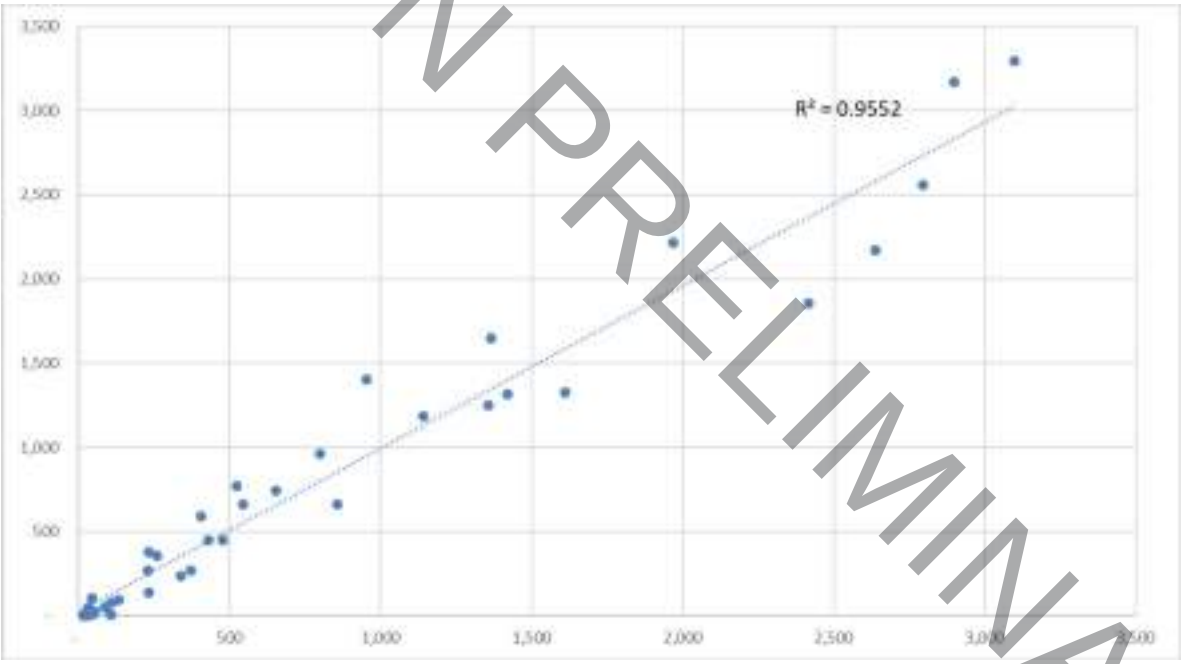
VERSIÓN PRELIMINAR

ID	Campo	Modelo	GEH
14169	45	107	7.1
15448	31	49	2.8
15934	2,796	2,559	4.6
16220	1,140	1,185	1.3
17167	653	746	3.5
17322	133	96	3.5
18153	1,612	1,327	7.4
19203	477	447	1.4
19248	2,418	1,857	12.1
22582	2,898	3,167	4.9
22716	1,420	1,318	2.8
23769	13	-	5.0
23950	430	448	0.8
23994	259	354	5.4
24192	406	590	8.3
25972	339	238	5.9
29197	108	6	13.4
30385	106	6	13.4
30975	3,098	3,294	3.5
31933	372	270	5.7
32442	1,355	1,250	2.9
33301	230	267	2.3
33675	52	22	4.8
33822	233	379	8.3

VERSIÓN PRELIMINAR

ID	Campo	Modelo	GEH
35894	2,639	2,172	9.5
36202	524	769	9.7
38950	545	661	4.7
40645	800	960	5.4
46653	855	663	6.9
54293	1,970	2,218	5.4
58874	954	1,403	13.1

Figura 65: Dispersión del transporte público en HPM



Con respecto al indicador GEH se tuvo los siguientes resultados:

- Un 89% se encuentra por debajo de un GEH <= 10
- Un 11% se encuentra en un GEH entre 10 a 15.

Los indicadores estadísticos mostrados se encuentran en niveles aceptables.

Tabla 49: Valores resultados del indicador GEH

VERSION PRELIMINAR

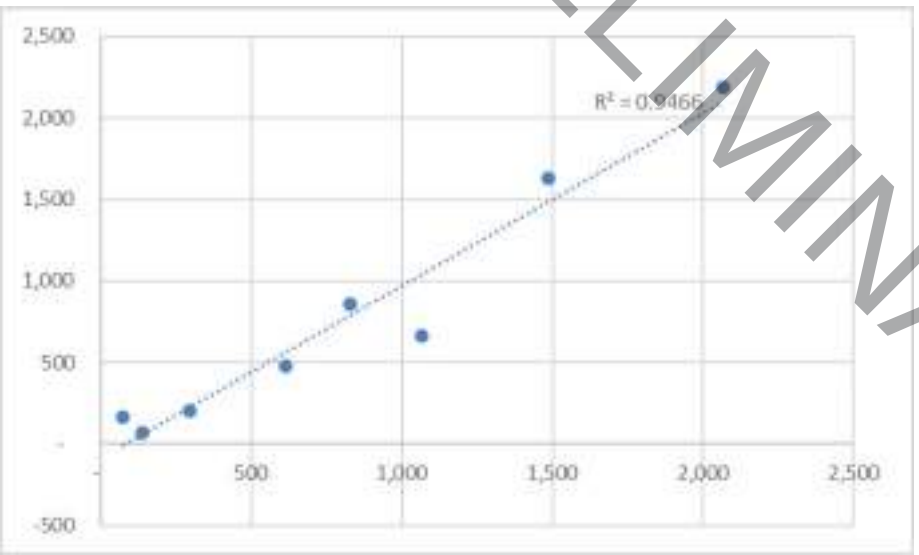
GEH	Porcentaje
Menor a 5	43%
Entre 5 y 10	46%
Entre 10 y 15	11%

Para la validación de la matriz de viajes, se utilizaron arcos que no fueron empleados en la calibración, obteniendo un r2 aceptable.

Tabla 50: *Comparación de resultados GEH – carga de pasajeros - validación*

ID	Campo	Modelo	GEH
18,518	830	859	1
24,127	1,486	1,631	4
34,125	74	164	8
5,518	137	68	7
8,679	1,067	661	14
17,409	612	478	6
33,811	295	203	6
24,416	2,069	2,184	3

Figura 66: Dispersión del transporte público para validación en HPM



Se realizó la validación del número de transbordos obtenidos del proceso de asignación y los obtenidos de las encuestas realizadas.

Figura 67: *Comparación de transbordos y velocidades*

VERSIÓN PRELIMINAR

	Campo (EODH)	Modelo	Diferencia
Transbordos	7.4%	8.7%	1.22%

Segmento Demanda	Velocidades (Km/h)		
	Campo	Modelo	GEH
Público	19.5	18.4	0.25
Privado	27.4	26.2	0.24

El porcentaje de transbordos obtenido en el modelo fue de 8.7%, mientras que el valor observado en campo fue de 7.4%, presentando una diferencia de solo 1.22 puntos porcentuales. Esta variación puede considerarse aceptable, ya que refleja una buena aproximación del modelo respecto al comportamiento observado.

Asimismo, el porcentaje de transbordo se encuentra dentro de un rango razonable para ciudades intermedias como Chiclayo, donde predominan servicios de transporte público convencional y colectivo, con rutas relativamente directas y superposición de recorridos, lo que reduce la necesidad de realizar transbordos.

La comparación de velocidades promedio entre los datos observados en campo y los resultados obtenidos por el modelo para la Hora Punta Mañana (HPM) muestra un adecuado nivel de ajuste. En el transporte público, la velocidad promedio observada fue de 19.5 km/h, mientras que el modelo estimó una velocidad de 18.4 km/h, registrándose una diferencia de 1.1 km/h. Por su parte, en el transporte privado, la velocidad observada alcanzó 27.4 km/h y la modelada 26.2 km/h, con una diferencia de 1.2 km/h.

Asimismo, los valores del estadístico GEH obtenidos fueron de 0.25 para el transporte público y 0.24 para el transporte privado. Estos resultados se encuentran muy por debajo del umbral de referencia de GEH < 5, lo que evidencia una excelente correspondencia entre las velocidades observadas y las reproducidas por el modelo.

En términos generales, las diferencias registradas son menores al 5 % en ambos casos, lo que indica que el modelo representa de manera adecuada las condiciones operativas de la red vial durante la hora punta de la mañana. Los bajos valores de GEH confirman que los parámetros de asignación y desempeño utilizados permiten reproducir satisfactoriamente los niveles de congestión y las velocidades de circulación observadas en campo, otorgando robustez y confiabilidad a los resultados del modelo para el análisis y evaluación de escenarios futuros.

Una vez obtenido la matriz calibrada, se emplea el método Pivot para poder recoger la estructura funcional de la matriz de 4 etapas y la matriz ajustada.

VERSIÓN PRELIMINAR

12 Construcción de Escenarios

12.1 Escenario Base 2025

El escenario base 2025 corresponde a la situación calibrada de referencia del modelo de transporte de Chiclayo. Sobre este escenario se integran la red vial, la red de transporte público, las matrices origen-destino y los procedimientos de asignación del transporte privado, público y de carga, dentro de un modelo de cuatro etapas con retroalimentación implementado en TransCAD. En consecuencia, la presente sección resume la configuración operativa del escenario y expone sus principales resultados, constituyendo la base de comparación para los escenarios tendenciales y prospectivos del PMUS.

12.1.1 Red de transporte público

La red de transporte público del escenario base 2025 corresponde a la representación operativa del sistema colectivo existente en el ámbito de estudio y constituye uno de los componentes centrales de la oferta modelada. Su configuración se sustentó en la codificación detallada de rutas en el entorno TransCAD, en concordancia con el enfoque de cuatro etapas con retroalimentación adoptado para el MET, de manera que la asignación del transporte público forme parte del proceso iterativo entre demanda, costos generalizados de viaje y condiciones de operación del sistema. En ese sentido, la red del escenario base no representa una oferta teórica, sino la estructura efectivamente observada y levantada durante el trabajo de campo, utilizada como referencia para la calibración y posterior comparación con escenarios futuros.

Para su construcción se emplearon como principales insumos la red de rutas de transporte público codificada en TransCAD, la secuencia de paradas y nodos de acceso, la frecuencia de operación de los servicios, los tiempos operativos por tramo, las tarifas vigentes, las matrices origen-destino del transporte público y los parámetros de costo generalizado requeridos por el algoritmo Pathfinder. Esta estructura permitió representar de manera consistente no solo los recorridos de las rutas, sino también los componentes operacionales que determinan la experiencia efectiva de viaje del usuario, tales como espera, acceso, egreso, transbordos y tiempo en vehículo.

Asimismo, para la representación tarifaria del escenario base se adoptó un esquema de **tarifas por zonas**, incorporado dentro del costo generalizado de viaje utilizado en la asignación. Esta decisión metodológica permitió que la elección de hiperrutas y la distribución de pasajeros sobre la red no dependieran únicamente del tiempo de recorrido, sino también del costo percibido por el usuario, en coherencia con la lógica de la partición modal calibrada y con la necesidad de representar de manera más realista la competitividad del transporte público dentro del sistema urbano.

Como resultado de esta configuración, la asignación del transporte público generó indicadores tales como **flujos de pasajeros por tramo, cargas por ruta y por enlace, utilización de hiperrutas, tiempos generalizados de viaje y matrices skim** del sistema de transporte público. Estos productos constituyen la base para analizar el desempeño del sistema en el escenario base, identificar corredores de mayor carga, evaluar niveles de ocupación y sustentar tanto la calibración del modelo como la comparación posterior con los escenarios tendencial y prospectivos.

Configuración de la asignación: La configuración de la asignación del transporte público comprendió como principales datos de entrada:

- la red de rutas de transporte público codificada en TransCAD;
- la secuencia de paradas y nodos de acceso;
- la frecuencia de operación de los servicios;
- los tiempos operativos por tramo;

VERSIÓN PRELIMINAR

- las tarifas vigentes;
- las matrices origen–destino del transporte público;
- y los parámetros del costo generalizado empleados por el algoritmo Pathfinder.

Se han identificado 100 rutas de transporte público colectivo, correspondientes a tipologías vehiculares de microbuses, CR y colectivos. Los itinerarios y las características operacionales de las rutas fueron levantados en campo. El 42% corresponde a la tipología de CR y microbuses, mientras que el 58% corresponde a la tipología de autos colectivos.

Cálculo del Valor Subjetivo del tiempo: El presente capítulo tiene como finalidad documentar el proceso de construcción del modelo econométrico aplicado para estimar los coeficientes asociados al tiempo de viaje, al costo del transporte y al valor del tiempo (VOT) percibido por los usuarios del transporte público. Estos elementos son fundamentales para la evaluación socioeconómica del proyecto y la formulación de políticas tarifarias.

El objetivo principal del modelo econométrico es cuantificar la sensibilidad de los usuarios del transporte público frente a variaciones en el tiempo de viaje y en el costo monetario del servicio. A partir de estos coeficientes se estima el Valor del Tiempo (VOT), lo que permite convertir los ahorros de tiempo en beneficios monetarios para la evaluación de proyectos de transporte.

A) Fundamentos teóricos del modelo

La modelación de la demanda de transporte parte de la premisa de que los flujos de vehículos del área de estudio son el resultado de la elección que hacen los conductores que utilizan la vía. Estas elecciones pueden ser- por ejemplo-del modo de transporte, la ruta o la elección de la hora en que realizará el viaje.

Los usuarios elijen la mejor alternativa tomando decisiones racionales, tratando de maximizar la utilidad que les proporciona cada una de las alternativas disponibles (o, en su defecto, minimizando los inconvenientes de realizar su viaje).

Para poder aplicar el principio de utilidad máxima es necesario entender el concepto de función de utilidad.

La función de utilidad de un usuario es una función matemática cuyo valor numérico depende tanto de los atributos de la opción de viaje por considerar como de las características del individuo que decide.

La función de la utilidad aleatoria está conformada por dos componentes, el primer componente corresponde a la parte observable o medible y segundo componente corresponde a la parte no observa o de naturaleza aleatorio del modelo. Por lo tanto:

$$U_{iq} = V_{iq} + e_{iq}$$

Donde:

U_{iq} Representa la utilidad que tiene el individuo q de elegir la alternativa i

V_{iq} Representa la utilidad observada del individuo q que escoge la alternativa i y

e_{iq} Representa el término de error asociado a cada alternativa i.

VERSIÓN PRELIMINAR

Según la teoría de utilidad aleatoria el individuo selecciona la alternativa Ai si y solo sí Uiq≥Ujq ∀ Ai∈A(q); mientras que el modelador sólo puede plantear la probabilidad de que el individuo escoja esa alternativa está dada por la siguiente expresión.

$$P_{iq} = Prob\left\{\varepsilon_{jq} \leq \varepsilon_{iq} + \left(V_{iq} - V_{jq}\right), \forall A_j \in A_q\right\}$$

Esta probabilidad dependerá de la distribución del término de error. Por tanto, pueden obtenerse diferentes modelos dependiendo de los supuestos que se establezcan sobre la distribución de los errores. Así, por ejemplo, si se asume que distribuyen independiente e idénticos (IID) Gumbel con media cero y varianza σ2, la probabilidad de que el individuo q escoja la alternativa Aj está dada por:

$$Prob\left(Y_q = i\right) = P_{iq} = \frac{e^{\beta * V_{iq}}}{\sum_j e^{\beta * V_{jq}}}$$

B) Diseño de las EPD

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia.

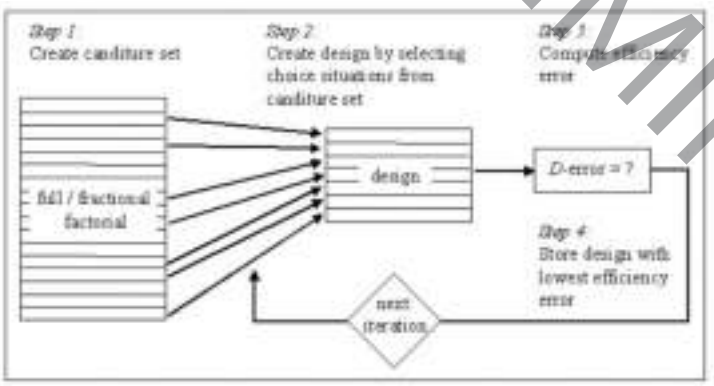
Para el diseño de las EPD se ha tomado en consideración las variables más representativas, para luego utilizar la combinación de escenarios.

Las variables iniciales que se consideraron fueron:

- Tiempo de viaje
- Costo de la tarifa

Un diseño experimental se llama eficiente si el diseño arroja datos que permiten estimar los parámetros con los errores estándar más bajos posibles. Estos errores estándar pueden predecirse determinando la matriz AVC basada en el experimento subyacente y alguna información previa sobre las estimaciones de los parámetros.

Figura 68: Proceso de la elaboración de diseños eficientes



Entre los principales diseños eficientes tenemos:

- Diseño para la estimación de modelos MNL.
- Diseño para estimar modelos de parámetros aleatorios.
- Diseño para estimar modelos de componentes de error.

VERSION PRELIMINAR

- Diseño para estimar combinaciones entre parámetros aleatorios y componentes de error.

Figura 69: Diseño EPD final para usuarios del transporte público

Escenario	Alternativa	Tiempo de viaje (min)	Costo (S/.)	Descripción
1	A. Transporte Público Actual	30	3	El nuevo sistema es más rápido y más barato.
	B. Nuevo Sistema de Transporte	25	2.5	
	¿Cuál elegiría?	□ A	□ B	
2	A. Transporte Público Actual	30	4	El nuevo sistema es más rápido y más caro.
	B. Nuevo Sistema de Transporte	25	4.5	
	¿Cuál elegiría?	□ A	□ B	
3	A. Transporte Público Actual	10	3	El nuevo sistema es más lento y mismo precio.
	B. Nuevo Sistema de Transporte	15	3	
	¿Cuál elegiría?	□ A	□ B	
4	A. Transporte Público Actual	30	2	El nuevo sistema es más lento y más barato.
	B. Nuevo Sistema de Transporte	35	1.5	
	¿Cuál elegiría?	□ A	□ B	
5	A. Transporte Público Actual	10	1.5	El nuevo sistema es más rápido y más barato.
	B. Nuevo Sistema de Transporte	8	1	
	¿Cuál elegiría?	□ A	□ B	
6	A. Transporte Público Actual	20	1.5	El nuevo sistema tarda lo mismo y es más barato.
	B. Nuevo Sistema de Transporte	20	1	
	¿Cuál elegiría?	□ A	□ B	

C) BASE DE DATOS UTILIZADA

Para la estimación del modelo, se empleó 26360 respuestas de escenarios recolectada a través de encuestas de preferencias declaradas. Las variables principales consideradas fueron:

- Tiempo de viaje por alternativa.
- Costo del viaje por alternativa.

La muestra fue depurada para garantizar coherencia y consistencia, eliminando observaciones con datos incompletos o inconsistentes.

VERSIÓN PRELIMINAR Pág

Tabla 51: Muestra de la base de datos de las EPD

C	D	E	F
ID VIVIENDA	SEGMENTO	ESCENARIO	ALTERNATIVA
2	Segmento 1: Transporte Público	1	B
3	Segmento 1: Transporte Público	2	B
3	Segmento 1: Transporte Público	3	B
3	Segmento 1: Transporte Público	4	B
3	Segmento 1: Transporte Público	5	B
3	Segmento 1: Transporte Público	6	B
4	Segmento 1: Transporte Público	1	B
4	Segmento 1: Transporte Público	2	A
4	Segmento 1: Transporte Público	3	A
4	Segmento 1: Transporte Público	4	B
4	Segmento 1: Transporte Público	5	B
4	Segmento 1: Transporte Público	6	B
4	Segmento 2: Transporte Privado	1	A
4	Segmento 2: Transporte Privado	2	B
4	Segmento 2: Transporte Privado	3	B
4	Segmento 2: Transporte Privado	4	B
4	Segmento 2: Transporte Privado	5	B
4	Segmento 2: Transporte Privado	6	A
5	Segmento 1: Transporte Público	1	B
5	Segmento 1: Transporte Público	2	A
5	Segmento 1: Transporte Público	3	A
5	Segmento 1: Transporte Público	4	B
5	Segmento 1: Transporte Público	5	B
5	Segmento 1: Transporte Público	6	B
6	Segmento 2: Transporte Privado	1	A
6	Segmento 2: Transporte Privado	2	B
6	Segmento 2: Transporte Privado	3	B

VERSIÓN PRELIMINAR

D) Calibración de los modelos de elección

Para la calibración y validación del MML se utilizó la siguiente metodología:

- Revisión y validación de la base de datos

Se procedió a verificar la consistencia de las respuestas de los usuarios del transporte público. Para la validación de las EPDs se verificaron los siguientes criterios:

- Respuestas con todas las preguntas resueltas. Se verificó especialmente que se encuentren llenados los campos de tarifa, tiempo de viaje, motivo, modo de viaje, elección del modo y nivel socioeconómico.
- Se procedió a revisar que exista respuestas coherentes de los usuarios que ha realizado transbordo y los que no han realizado transbordos.
- Al finalizar la validación se obtuvieron 21157 respuesta de escenarios.

- Construcción de la estructura de datos de modelo Logit

En esta etapa se procede a estructurar la base de datos que se utilizará en el Biogeme.

Tabla 52: Estructura final para el cálculo de los coeficientes de utilidad

ID	Time_Bus	Cost_Bus	Time_Nuevo_Sistema	Cost_Nuevo_Sistema	Choice
1	30	3	25	2.5	2
2	30	4	25	4.5	1
3	10	3	15	3	2
4	30	2	35	1.5	2
5	10	1.5	8	1	2
6	20	1.5	20	1	2
7	30	3	25	2.5	2
8	30	4	25	4.5	1
9	10	3	15	3	2
10	30	2	35	1.5	2
11	10	1.5	8	1	2
12	20	1.5	20	1	2
19	30	3	25	2.5	2
20	30	4	25	4.5	1
21	10	3	15	3	2
22	30	2	35	1.5	2
23	10	1.5	8	1	2
24	20	1.5	20	1	2
31	30	3	25	2.5	2
32	30	4	25	4.5	1
33	10	3	15	3	2
34	30	2	35	1.5	1
35	10	1.5	8	1	2
36	20	1.5	20	1	2
37	30	3	25	2.5	2
38	30	4	25	4.5	1
39	10	3	15	3	2
40	30	2	35	1.5	1

Fuente: Elaboración propia en base a los trabajos de campo

E) Cálculo de los coeficientes de utilidad y VOT

Una vez realizada la validación y estructuración de la base de datos de las EPD se procede a calcular los coeficientes de las variables de tiempo y tarifa de la función de utilidad. Las estimaciones se realizaron utilizando el software BIOGEME.

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 70: MML- público (sin constante) – Salida de BIOGEME

```
biogeme 2.2 [Thu Mar 15 14:58:02 WEST 2012]
Michel Bierlaire, EPFL

  ModeloPMUS

                          Model: Multinomial Logit
Number of estimated parameters: 3
        Number of observations: 21156
         Number of individuals: 21156
           Null log-likelihood: -14664.222
            Cte log-likelihood: -13080.553
           Init log-likelihood: -32677.540
          Final log-likelihood: -7095.668
         Likelihood ratio test: 15137.108
                   Rho-square: 0.516
           Adjusted rho-square: 0.516
           Final gradient norm: +4.290e-002
                  Diagnostic: Convergence reached...
                  Iterations: 61
                    Run time: 00:01
           Variance-covariance: from analytical hessian
                  Sample file: PMUS_Chiclayo.dat

Utility parameters
******************
Name  Value   Std err t-test p-val Rob. std err Rob. t-test Rob. p-val
----  -----   ------- ------ ----- ------------ ----------- ----------
Asc1  -0.0771 0.0223  -3.45  0.00  0.0210       -3.67       0.00
BetaC -5.33   0.0646  -82.46 0.00  0.0514       -103.61     0.00
BetaT -0.246  0.00590 -41.74 0.00  0.00519      -47.49      0.00
```

En esta salida se puede observar los siguiente:

- Los valores de los parámetros estimados tienen signos coherentes, es decir, la variable tiempo de viaje (T) y la variable tarifa (C) tendrían un impacto negativo en la decisión del usuario.
- El test-t robusto de cada parámetro es significativamente distinto de cero[1].

[1] Como el valor crítico del test-t es 1,96 (para el 95% de confianza) o 1,645 (para el 90%), un estadígrafo t mayor a 1,645 en valor absoluto implica que en el 90% de los casos el parámetro es mayor (o menor, dependiendo del signo esperado) que cero. El test-t robusto, en comparación al test-t normal, tiene la ventaja de ser robusto ante especificaciones incorrectas acerca de la distribución de los errores de los parámetros, por ejemplo, asumir homocedasticidad o igual varianza en toda muestra (White, 1980).

VERSIÓN PRELIMINAR

- Las funciones indicarían que a medida que aumenta el tiempo de viaje y el costo de la tarifa, la utilidad del individuo disminuye.

- El VOT público se obtendría de la siguiente formulación:

$$VOT = 0.046 \text{ (S/min)} = 2.77 \text{ (S/ h)}$$

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 71: Rutas de transporte público. (1/2)

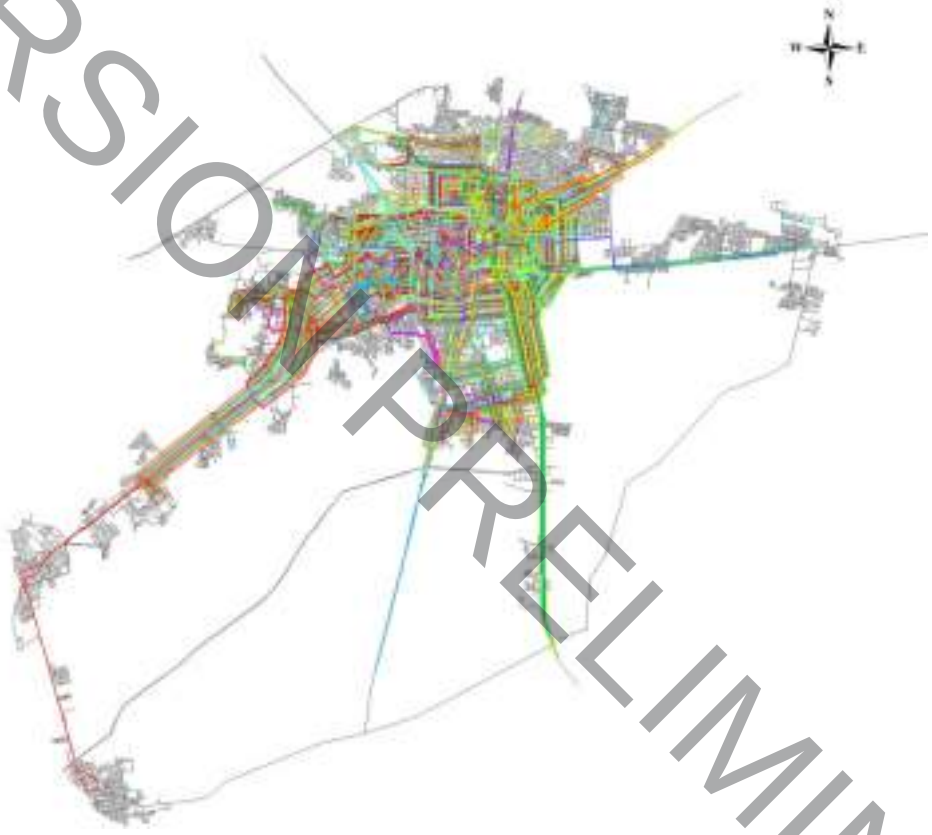


Figura 72: Rutas de transporte público (2/2)

Dataview1 - Route System

Route_ID	Route_Name	0500_2025	0900_2025	2025	FreqRPM	FCU	Capmh	Tipologia	CapRPM	Empresa	ModoRutaRPM
1	Linea16_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	E.T. TUORS FERMI	1.80
2	Linea15_RutaB	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	ETRAFAM EXPRESS	1.80
3	Linea15_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	ETRAFAM EXPRESS	1.80
5	Linea8_RutaB	1	1	1	18.00	1.50	15.00	CR	90.00	E.T. MULTIPLE SE	1.80
6	Linea8_RutaA	1	1	1	18.00	1.50	15.00	CR	90.00	E.T. MULTIPLE SE	1.80
7	LINEA7_RutaC	1	1	1	15.00	1.50	25.00	MINIBUS	100.00	E.T.LUGUEDA S.A.	1.80
8	LINEA7_RutaD	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	E.T.LUGUEDA S.A.	1.80
9	Linea6_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	E.T. MILAGRO DE	1.80
10	Linea5_RutaB	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRASURCASA S.A	1.80
11	LINEA5_RutaC	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRASURCASA S.A	1.80
12	Linea5_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRASURCASA S.A	1.80
13	Linea4_RutaB	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	EL RALLY	1.80
14	Linea4_RutaD	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	E.T. SERVICIOS	1.80
15	Linea4_RutaB	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	E.T. SERVICIOS	1.80
16	Linea3_RutaC	1	1	1	15.00	1.50	15.00	CR	60.00	E.T. SERVICIOS	1.80
17	Linea1_RutaB	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRAFAM AVILA M	1.80
18	Linea1_RutaA	1	1	1	12.00	1.50	15.00	CR	75.00	EMTRAFAM AVILA M	1.80
19	Linea1_RutaA	1	1	1	6.00	1.50	15.00	CR	150.00	E.T. MULTISERVIC	1.80
20	CERROPON-RUTA A (#2)	1	1	1	7.00	1.50	15.00	CR	126.57		1.80
21	CERROPON-RUTA B (#2)	1	1	1	7.00	1.50	15.00	CR	126.57		1.80
22	CERROPON-RUTA C (#2)	1	1	1	7.00	1.50	15.00	CR	126.57		1.80
23	CERROPON-RUTA D (#2)	1	1	1	8.00	1.50	15.00	CR	112.50		1.80
24	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA A (#2)	1	1	1	8.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	37.50		2.80
25	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA B (#2)	1	1	1	6.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00		2.80
26	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA C (#2)	1	1	1	6.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00		2.80
27	CRUZ DE LA ESPERANZA-RUTA D (#2)	1	1	1	18.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	20.00		2.80
28	EL MILAGRO DE SIPAN-RUTA A (#2)	1	1	1	18.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	20.00		2.80
29	EL MILAGRO DE SIPAN-RUTA B (#2)	1	1	1	6.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00		2.80
30	EL RALLY-RUTA A (#2)	1	1	1	6.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00		2.80
31	EL RALLY-RUTA B (#2)	1	1	1	6.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	50.00		2.80
32	ELCHASQUE_A (#2)	1	1	1	8.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	37.50		2.80
33	ELCHASQUE_B (#2)	1	1	1	8.00	1.50	5.00	AUTO COLECTIVO	37.50		2.80

Para este modelo se ha considerado la asignación de tarifas por zonas, el costo promedio fue obtenido de las encuestas realizadas.

Figura 73: Matriz de tarifa zonal

Matriz1 - Sodos Matriz Tfa (Tarifazonal) - tarifa_zonamtx

	42192	42193	42193	42194	42195	42196	42197	42198	42199	42200	42201	42202	42203	42204	42205	42206	42207
42194	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42195	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42196	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42197	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42198	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42199	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42200	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42201	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42202	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42203	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42204	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42205	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42206	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42207	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42208	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42209	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42270	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42271	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42272	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42273	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42274	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42175	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42176	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42177	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42178	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42179	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42180	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42181	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42182	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
42183	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42184	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42185	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42186	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00
42187	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	2.00	1.50	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00

A partir de estos insumos, el modelo generó como resultados:

- flujos de pasajeros por tramo;

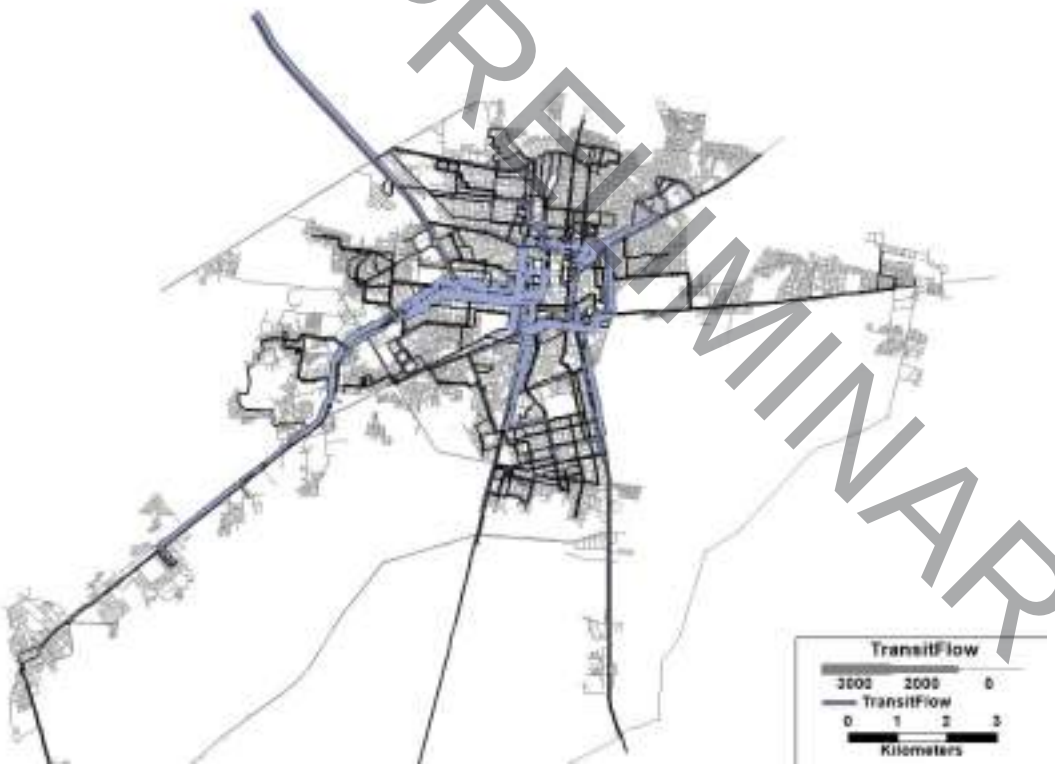
VERSIÓN PRELIMINAR

- cargas por ruta y por enlace;
- utilización de hiperrutas;
- tiempos generalizados de viaje;
- y matrices skim para el sistema de transporte público.

A continuación, se presentan los principales resultados derivados de la asignación del escenario base 2025. Estas salidas permiten interpretar espacialmente el comportamiento de la demanda asignada sobre las redes de transporte público, transporte privado y transporte de carga durante la hora de máxima demanda. En conjunto, las figuras permiten identificar corredores de mayor utilización, zonas de concentración de flujos, patrones de acceso y egreso, niveles de saturación, velocidades operativas y principales relaciones origen-destino representadas mediante líneas de deseo.

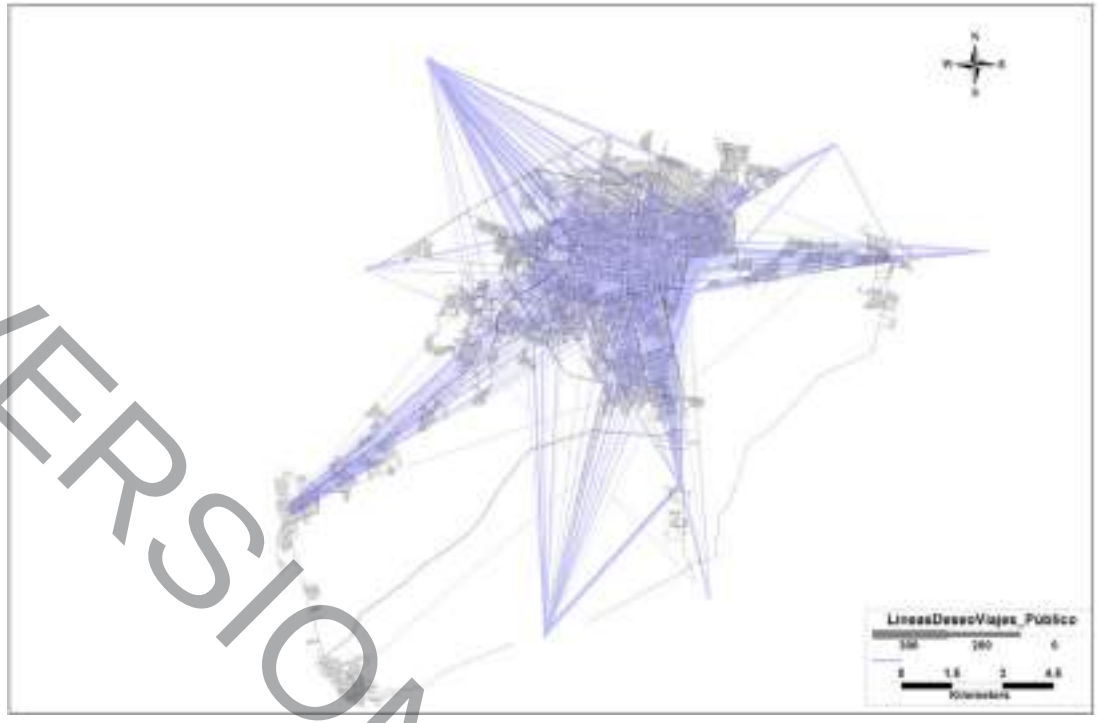
VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 74: Carga de pasajeros (TransitFlow) en la HPM.



Fuente: Elaboración propia

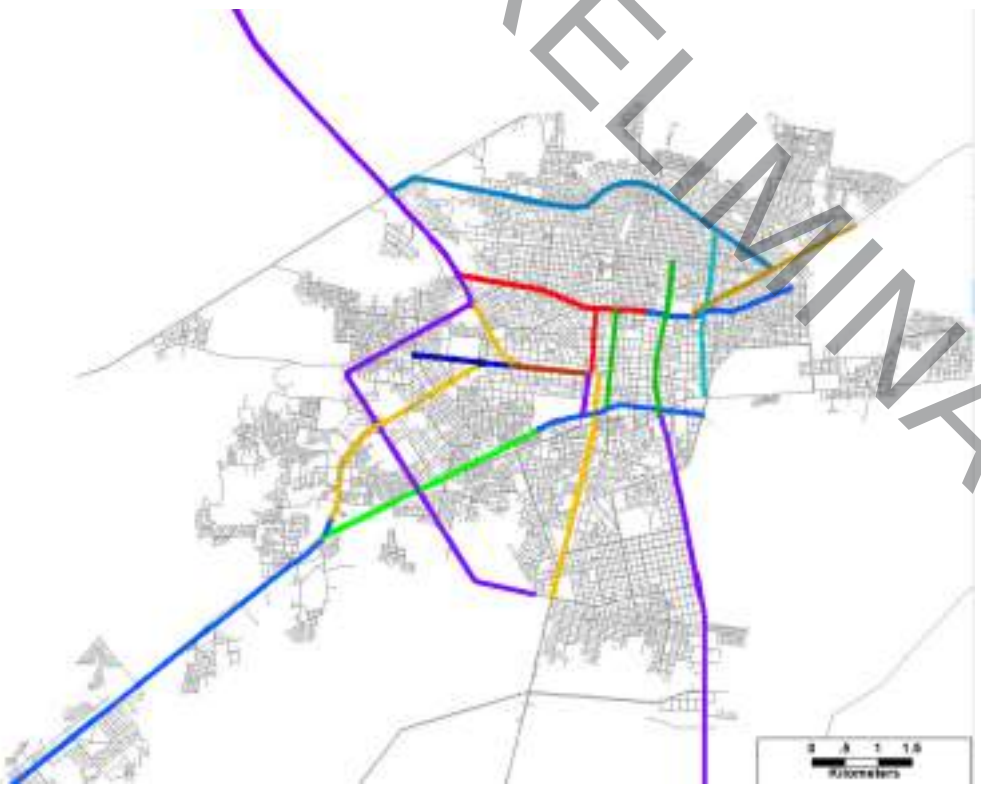
Figura 75: Líneas de deseo de transporte público



Se ha realizado el análisis de la carga de pasajeros promedio de las principales vías del área de estudio.

A continuación, se presentan los tramos analizados:

Figura 76: Tramos analizados



VERSION PRELIMINAR

Las mayores cargas promedio de pasajeros se concentran en la Avenida Felipe Santiago Salaverry (2,995 pasajeros), seguida por la Avenida Angamos (2,255 pasajeros), la Avenida José Leonardo Ortiz (1,815 pasajeros), la Avenida Jorge Chávez (1,750 pasajeros) y la Avenida Juan Tomis Stack (1,612 pasajeros). Estas vías conforman los principales ejes de movilidad urbana de la ciudad, concentrando una proporción importante de los desplazamientos diarios y evidenciando una alta interacción entre zonas residenciales, comerciales y de servicios.

Asimismo, se identifican niveles de demanda significativos en la Avenida Francisco Bolognesi (1,295 pasajeros), Avenida Luis Gonzáles (1,299 pasajeros), Avenida Nicolás de Piérola (1,277 pasajeros), Avenida Víctor Raúl Haya de la Torre (1,167 pasajeros), Avenida Miguel Grau (1,148 pasajeros) y Avenida Paseo del Deporte (1,037 pasajeros), las cuales cumplen una función complementaria dentro de la red vial principal al canalizar flujos de pasajeros hacia los corredores de mayor jerarquía.

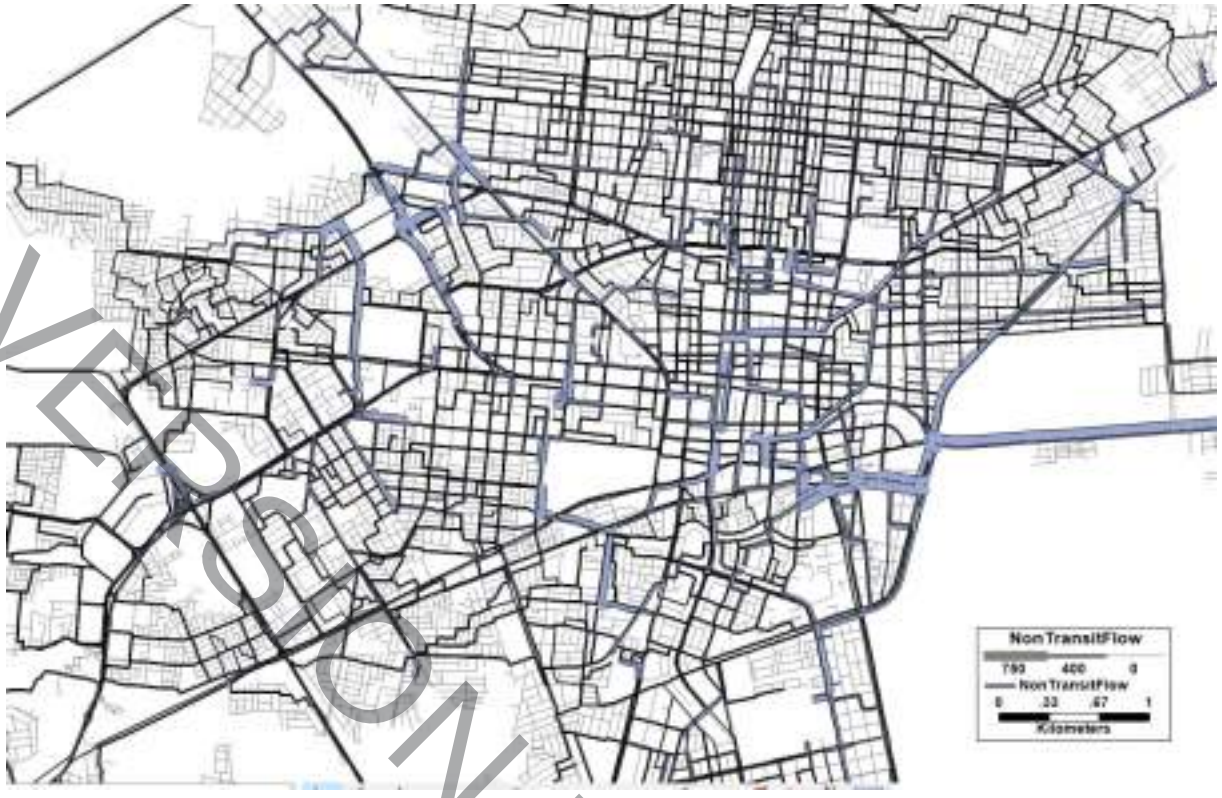
Tabla 54: Carga de pasajeros durante la hora de máxima demanda

Avenidas	2,025
Avenida Angamos	2,255
Avenida Augusto B. Leguia	671
Avenida Chiclayo	198
Avenida Escrivá de Balaguer	529
Avenida Felipe Santiago Salaverry	2,995
Avenida Francisco Bolognesi	1,295
Avenida Ingeniero Galo Muñoz	945
Avenida Jorge Chávez	1,750
Avenida José Leonardo Ortíz	1,815
Avenida Juan Tomis Stack	1,612
Avenida Luis Gonzáles	1,299
Avenida Miguel Grau	1,148
Avenida Nicolás de Piérola	1,277
Avenida Paseo del Deporte	1,037
Avenida Sáenz Peña	980
Avenida Victor Raúl Haya de la Torre	1,167
Carretera Chiclayo - Pimentel	509
Panamericana Norte	538
Prolongación Avenida Francisco	103

A continuación, se presenta el flujo peatonal de acceso el transporte público

Figura 77: Caminata de pasajeros al transporte público colectivo

VERSIÓN PRELIMINAR



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el flujo de pasajeros de subida y bajada.

Figura 78: Subida de pasajeros de transporte público

VERSIÓN PRELIMINAR

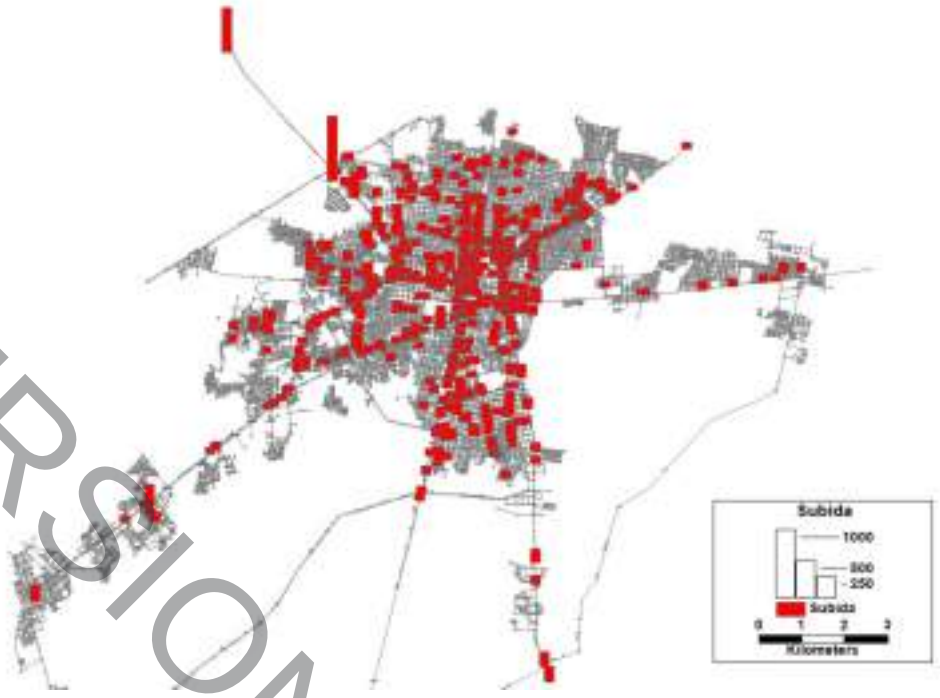


Figura 79. Bajada de pasajeros de transporte público

VERSIÓN PRELIMINAR

Estos resultados permiten analizar el desempeño del sistema, identificar corredores de mayor carga, evaluar niveles de ocupación y sustentar la calibración de la red de transporte público.

12.1.2 Transporte privado

La asignación del transporte privado en el escenario base 2025 se desarrolló sobre la red vial calibrada del modelo, utilizando el método de equilibrio estocástico del usuario (SUE) implementado en TransCAD. Este procedimiento permitió distribuir las matrices origen-destino del transporte privado sobre la red jerarquizada, considerando como principales insumos la longitud de los enlaces,

la velocidad de flujo libre, la capacidad, el sentido de circulación, las penalidades operativas y la función volumen-demora utilizada para actualizar los tiempos de viaje bajo condiciones de carga. De esta manera, la asignación privada se integró de forma consistente con la lógica del modelo secuencial de cuatro etapas con retroalimentación, en el que los tiempos resultantes de la red cargada retroalimentan las etapas previas del modelo.

Como resultado, el modelo generó flujos vehiculares por enlace, tiempos de viaje actualizados, velocidades operativas, relaciones volumen/capacidad, niveles de saturación y matrices skim consistentes con la red asignada. Estos productos constituyen la base para la calibración del transporte privado y para el análisis del desempeño del sistema vial en el escenario base, permitiendo identificar los corredores de mayor demanda, los sectores con mayores restricciones operativas y la forma en que la congestión afecta la eficiencia global de la red.

Los resultados de la asignación para la hora punta de la mañana muestran una marcada concentración de flujos sobre los principales accesos y corredores hacia el área central de Chiclayo. La representación espacial evidencia que los enlaces con mayores volúmenes asignados coinciden, en términos generales, con los tramos que presentan mayores niveles de saturación, lo que confirma una relación directa entre intensidad de flujo y deterioro de las condiciones de operación. Asimismo, se identifican algunos tramos con flujos moderados, pero con saturación elevada, situación que sugiere restricciones locales de capacidad, secciones reducidas o ineficiencias operativas en intersecciones y nodos críticos.

Desde una lectura territorial, la asignación privada confirma que el sistema vial de Chiclayo presenta una estructura radial-centralizada, en la que el núcleo urbano actúa como principal polo generador y atractor de viajes. Esta configuración concentra una parte importante de la demanda en un número relativamente reducido de ejes, generando cuellos de botella, presión sobre los accesos al centro y saturación en intersecciones críticas. En contraste, las áreas periféricas presentan condiciones de operación relativamente más fluidas y menor presión sobre la infraestructura vial.

El análisis de velocidades complementa esta lectura y refuerza la interpretación del escenario base. En efecto, la menor velocidad de operación se concentra en el núcleo central y en los corredores de aproximación más cargados, mientras que la periferia registra mejores condiciones de circulación. Ello evidencia que la congestión no solo incrementa la relación volumen/capacidad, sino que también reduce la eficiencia funcional de la red, aumentando los tiempos de viaje y afectando la accesibilidad hacia las principales centralidades urbanas. En términos globales, los resultados del transporte privado reflejan un sistema con alta dependencia de algunos corredores estructurantes y con limitaciones de capacidad en sectores clave del área urbana consolidada.

La figura presenta los resultados de la asignación del transporte privado para el período punta de la mañana (HPM), obtenidos mediante el modelo de equilibrio de usuario estocástico (SUE) implementado en TransCAD. En ella se representa la distribución espacial de los flujos vehiculares sobre la red vial, donde el espesor de los enlaces indica la magnitud del flujo asignado.

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 80: Matriz privada punta de la mañana (HPM).

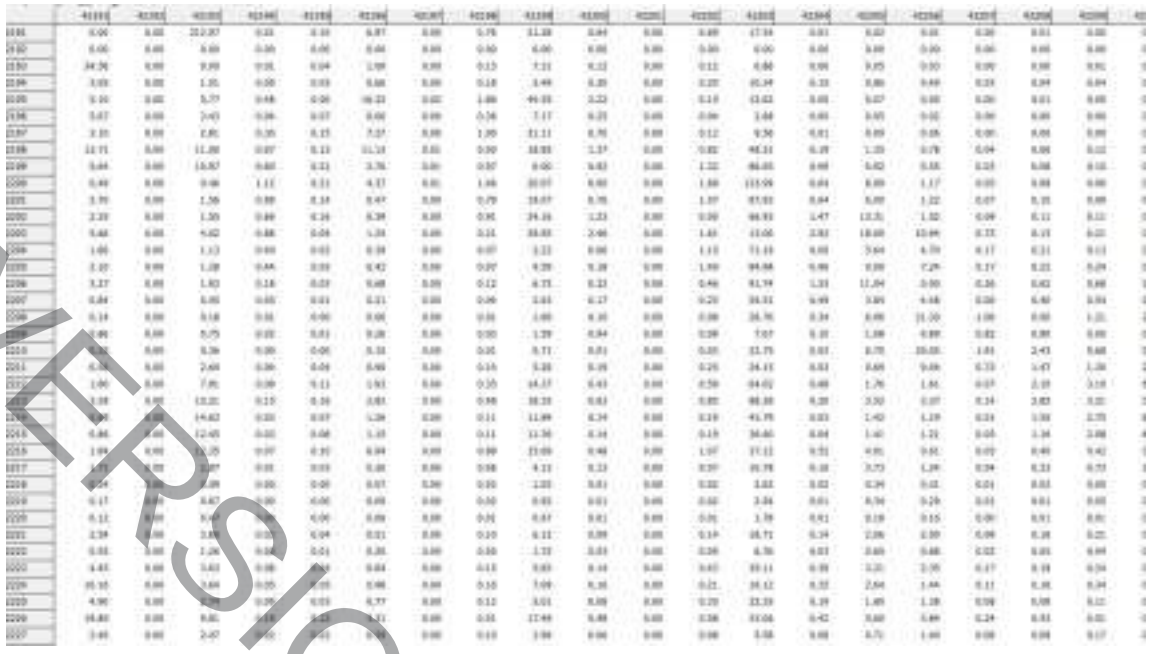
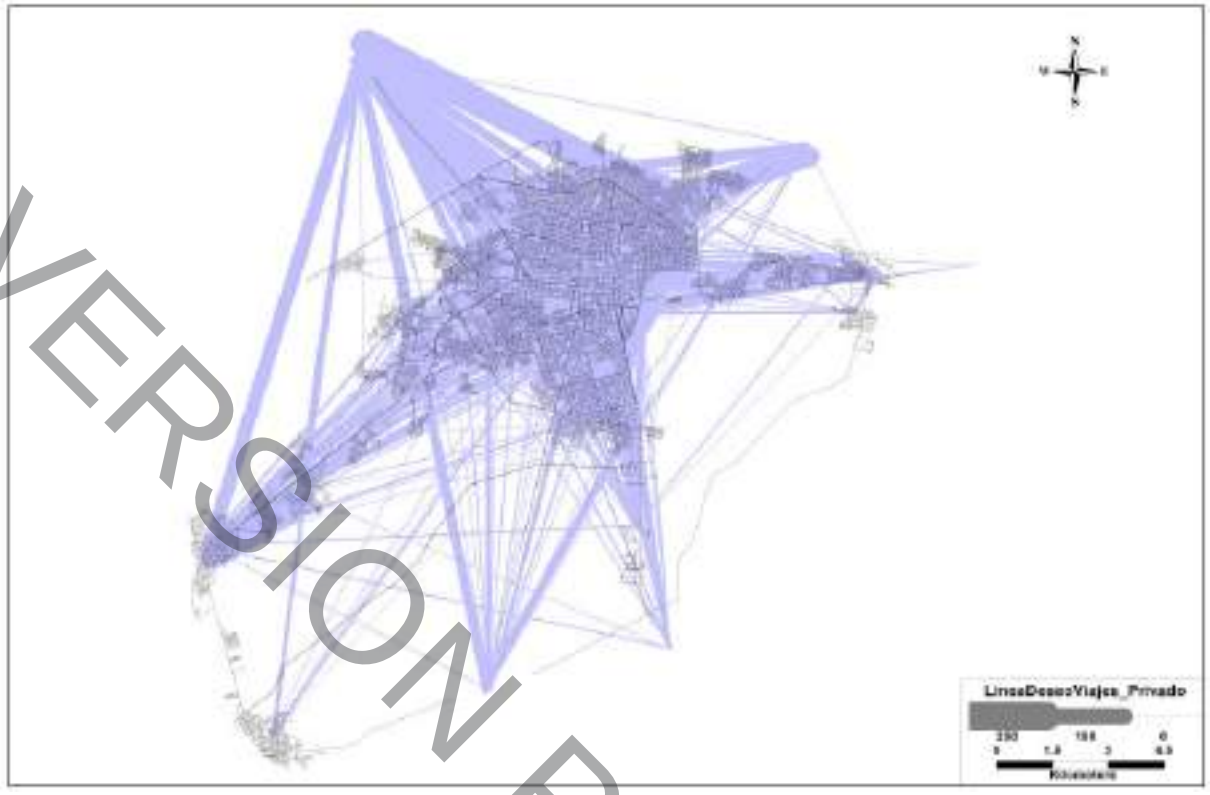


Figura 81: Asignación del transporte privado en la HPM.

VERSIÓN PRELIMINAR

Figura 82: Líneas de deseo de transporte privado



Se ha realizado el análisis flujo vehicular promedio de las principales vías del área de estudio, obteniendo los siguientes resultados:

En relación con los flujos vehiculares privados, las mayores cargas promedio se registran en la Avenida Angamos (2,025 vehículos), seguida por la Panamericana Norte (1,177 vehículos), la Avenida Escrivá de Balaguer (1,022 vehículos), la Avenida Luis Gonzales (1,001 vehículos), la Avenida Francisco Bolognesi (992 vehículos) y la Avenida Augusto B. Leguía (971 vehículos). Estos corredores constituyen los principales ejes de circulación del transporte privado, concentrando una parte importante de los desplazamientos urbanos y de conexión metropolitana.

Asimismo, se observan niveles intermedios de flujo en la Avenida Ingeniero Galo Muñoz (790 vehículos), Avenida José Leonardo Ortiz (757 vehículos), Avenida Víctor Raúl Haya de la Torre (722 vehículos), Avenida Felipe Santiago Salaverry (711 vehículos), Carretera Chiclayo–Pimentel (711 vehículos), Avenida Sáenz Peña (685 vehículos), Prolongación Avenida Francisco (682 vehículos), Avenida Miguel Grau (620 vehículos), Avenida Juan Tomis Stack (594 vehículos) y Avenida Chiclayo (579 vehículos). Estas vías cumplen una función complementaria dentro de la red vial, distribuyendo los viajes entre los principales corredores y los sectores residenciales, comerciales e institucionales de la ciudad.

VERSION PRELIMINAR

Tabla 53: Flujos de vehículos privados HMD por sentido

Avenidas	2025
Avenida Angamos	126
Avenida Augusto B. Leguía	971

Avenidas	2025
Avenida Chiclayo	579
Avenida Escrivá de Balaguer	1,022
Avenida Felipe Santiago Salaverry	711
Avenida Francisco Bolognesi	992
Avenida Ingeniero Galo Muñoz	790
Avenida Jorge Chávez	646
Avenida José Leonardo Ortíz	757
Avenida Juan Tomis Stack	594
Avenida Luis Gonzáles	1,001
Avenida Miguel Grau	620
Avenida Nicolás de Piérola	409
Avenida Paseo del Deporte	195
Avenida Sáenz Peña	685
Avenida Victor Raúl Haya de la Torre	722
Carretera Chiclayo - Pimentel	711
Panamericana Norte	1,177
Prolongación Avenida Francisco	682

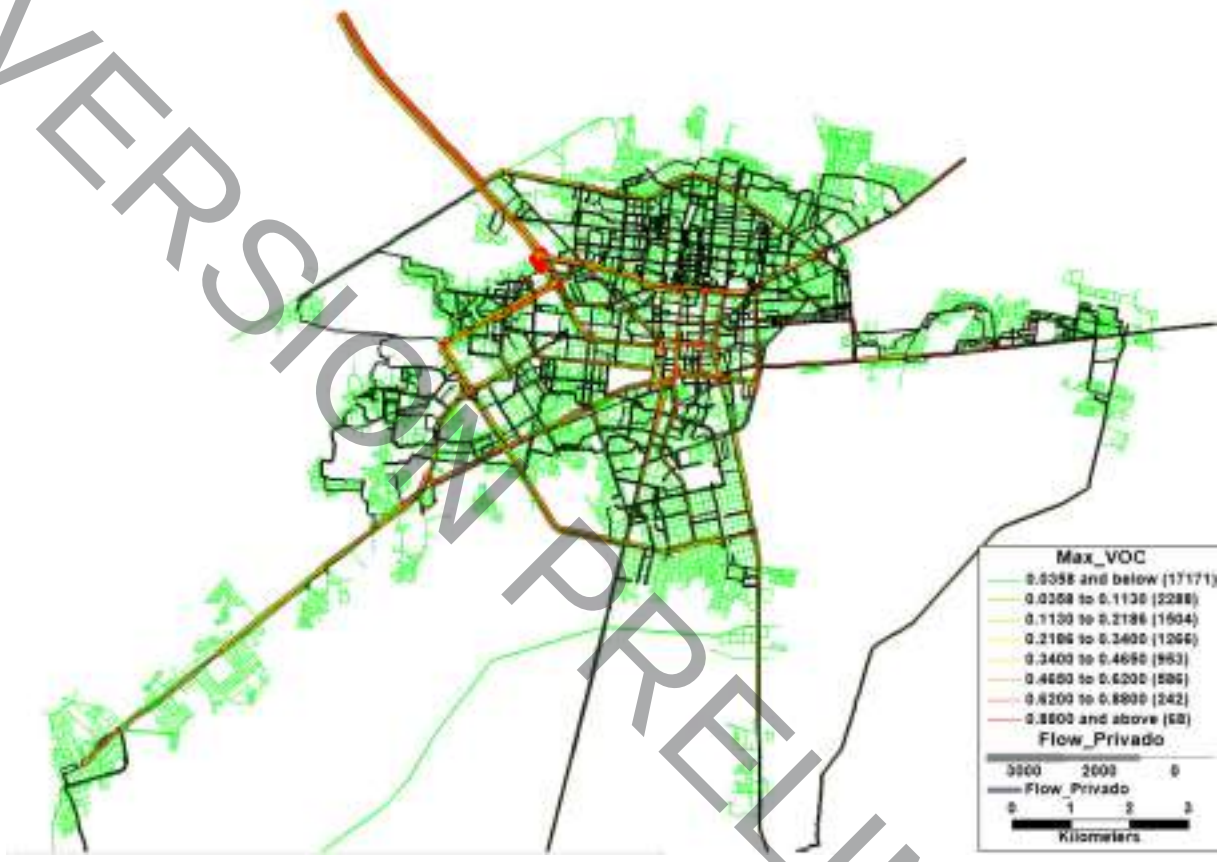
VERSIÓN PRELIMINAR

El análisis de velocidades complementa esta lectura y refuerza la interpretación del escenario base. En efecto, la menor velocidad de operación se concentra en el núcleo central y en los corredores de aproximación más cargados, mientras que la periferia registra mejores condiciones.

- Se identifican tramos críticos en rojo, principalmente en intersecciones del área central.
    - Corredores principales de acceso al centro.
- Existe una alta correlación entre flujo elevado y saturación:
    - Las vías con mayor carga también son las más congestionadas.
- Algunas vías muestran:
    - Flujos moderados pero alta saturación, lo que sugiere:
        - Baja capacidad vial (secciones reducidas, semaforización ineficiente, etc.).

- En la periferia predominan condiciones:
  - Fluidez adecuada.
  - Baja presión sobre la infraestructura.

Figura 83: Grado de saturación durante la HPM.



El sistema vial de Chiclayo presenta una estructura radial-centralizada, donde El centro urbano actúa como principal polo generador y atractor de viajes.

Se evidencia una concentración de demanda en pocos ejes, generando cuellos de botella y falta de una red jerarquizada y distribuida que alivie estos flujos.

Problemas clave identificados:

- Congestión en accesos al centro.
- Saturación en intersecciones críticas.
- Dependencia excesiva del vehículo privado.

El análisis del grado de saturación promedio muestra que la mayoría de las vías presentan niveles de ocupación moderados, con valores inferiores a 0.55, lo que indica que, en términos generales, la red vial aún dispone de capacidad disponible para absorber incrementos de demanda. Los mayores grados de saturación promedio se registran en la Avenida Francisco Bolognesi (0.53), Avenida Luis Gonzáles (0.51), Avenida Ingeniero Galo Muñoz (0.49), Avenida Felipe Santiago Salaverry (0.45),

VERSIÓN PRELIMINAR

Panamericana Norte (0.45), Avenida Augusto B. Leguía (0.44) y Prolongación Avenida Francisco (0.44). Estos corredores presentan una utilización más intensiva de su capacidad vial y constituyen los principales ejes donde podrían manifestarse problemas operacionales ante futuros incrementos del tránsito.

Por otro lado, las menores condiciones de saturación promedio se observan en la Avenida Paseo del Deporte (0.20), Avenida Nicolás de Piérola (0.25) y Avenida Angamos (0.26), evidenciando una adecuada disponibilidad de capacidad y una operación vehicular relativamente fluida durante el período analizado.

Respecto al grado de saturación máximo, los resultados evidencian que determinadas secciones de la red alcanzan condiciones críticas de operación. La Avenida Chiclayo presenta el mayor valor de saturación máxima (1.10), seguida por la Avenida Ingeniero Galo Muñoz (1.06), Avenida Luis Gonzáles (1.04), Avenida Nicolás de Piérola (1.02), Avenida Felipe Santiago Salaverry (1.01) y Avenida Francisco Bolognesi (1.01). Asimismo, la Prolongación Avenida Francisco alcanza un valor de 1.00. Estos resultados indican que, en determinados tramos o períodos horarios, la demanda vehicular iguala o supera la capacidad disponible de la infraestructura, generando condiciones de congestión, reducción de velocidades y mayores tiempos de viaje.

Tabla 55: Grado de saturación promedio y máxima

Vias	Grado de saturación promedio	Grado de saturación máxima
	2025	2025
Avenida Angamos	0.26	0.42
Avenida Augusto B. Leguia	0.44	0.71
Avenida Chiclayo	0.31	1.10
Avenida Escrivá de Balaguer	0.42	0.64
Avenida Felipe Santiago Salave	0.45	1.01
Avenida Francisco Bolognesi	0.53	1.01
Avenida Ingeniero Galo Muñoz	0.49	1.06
Avenida Jorge Chávez	0.40	0.79
Avenida José Leonardo Ortíz	0.42	0.87
Avenida Juan Tomis Stack	0.38	0.87
Avenida Luis Gonzáles	0.51	1.04
Avenida Miguel Grau	0.35	0.67
Avenida Nicolás de Piérola	0.25	1.02
Avenida Paseo del Deporte	0.20	0.76
Avenida Sáenz Peña	0.39	0.97
Avenida Victor Raúl Haya de la torre	0.33	0.49
Carretera Chiclayo - Pimentel	0.33	0.73
Panamericana Norte	0.45	0.88
Prolongación Avenida Francisco	0.44	1.00

VERSION PRELIMINAR

VERSIÓN PARA ELIMINAR

Figura 84: Velocidad HPM.

La ciudad presenta un patrón típico de alta congestión en el núcleo central y mejores condiciones operativas en la periferia.

Existe una clara relación con los resultados previos de altos flujos vehiculares y elevados grados de saturación (V/C).

La velocidad reducida en el centro indica pérdida de eficiencia del sistema vial e incremento en tiempos de viaje.

12.1.3 Transporte de Carga

La asignación del transporte de carga en el escenario base 2025 tuvo por objeto representar la distribución espacial de los flujos de vehículos de mercancías sobre la red vial del área de estudio, incorporando tanto las relaciones origen-destino previamente estimadas como las características funcionales y operativas de la infraestructura urbana. Su inclusión dentro del modelo resulta necesaria para captar la interacción entre los movimientos logísticos y el tráfico general, particularmente en corredores estructurantes, accesos urbanos y ejes de articulación económica de la ciudad.

Para este fin, la modelación de carga se estructuró a partir de matrices diferenciadas por tipo de vehículo, distinguiéndose dos categorías: carga ligera y carga pesada. Esta desagregación permitió

representar de manera más realista el comportamiento operativo de cada clase vehicular y su distinta incidencia sobre la congestión y el desempeño de la red vial.

Desde el punto de vista metodológico, la asignación se realizó mediante el procedimiento MMA (Multi-Modal Assignment) implementado en TransCAD. Este enfoque permite cargar simultáneamente distintas clases de usuarios dentro de una misma red, asignando a cada uno de los atributos específicos de operación y diferentes niveles de incidencia sobre la capacidad vial. Su aplicación resulta especialmente pertinente en Chiclayo, donde los flujos de mercancías comparten infraestructura con los viajes urbanos de personas y, por tanto, generan efectos diferenciados sobre la saturación de corredores y nodos críticos.

Como parte de la configuración del modelo, se utilizaron parámetros de equivalencia vehicular orientados a reflejar el peso funcional de cada categoría dentro del flujo de tránsito. En el escenario base se adoptaron valores de **UCP = 1.8** para carga ligera y **UCP = 2.5** para carga pesada. De esta manera, la asignación no solo representa el número de vehículos, sino también su distinta ocupación del espacio vial, maniobrabilidad e impacto relativo sobre la capacidad de la red.

Los resultados de la asignación muestran una concentración marcada de flujos de carga sobre los principales corredores viales y accesos a la ciudad, configurando un patrón predominantemente radial del movimiento de mercancías. Esta estructura es coherente con el papel de Chiclayo como núcleo articulador de actividades comerciales, logísticas y de intercambio regional, donde una parte importante del transporte de carga converge hacia ejes de mayor jerarquía funcional y hacia los principales accesos urbanos.

En términos de interpretación, la asignación evidencia que el transporte de carga ejerce una presión relevante sobre determinados tramos de la red, especialmente allí donde comparte espacio con altos volúmenes de tráfico urbano. Esta interacción refuerza la necesidad de considerar estrategias de gestión y ordenamiento logístico, orientadas a optimizar los corredores de mercancías, reducir conflictos operativos con el tránsito general y mejorar la eficiencia del sistema en los sectores de mayor demanda. Desde la perspectiva del escenario base, esta lectura no solo permite comprender mejor la situación actual, sino que también aporta una referencia clave para la evaluación futura de medidas de jerarquización vial, restricciones operativas y mejora de la logística urbana.

Figura 85: Matriz de vehículos de carga ligeros HPM.

VERSIÓN PRELIMINAR

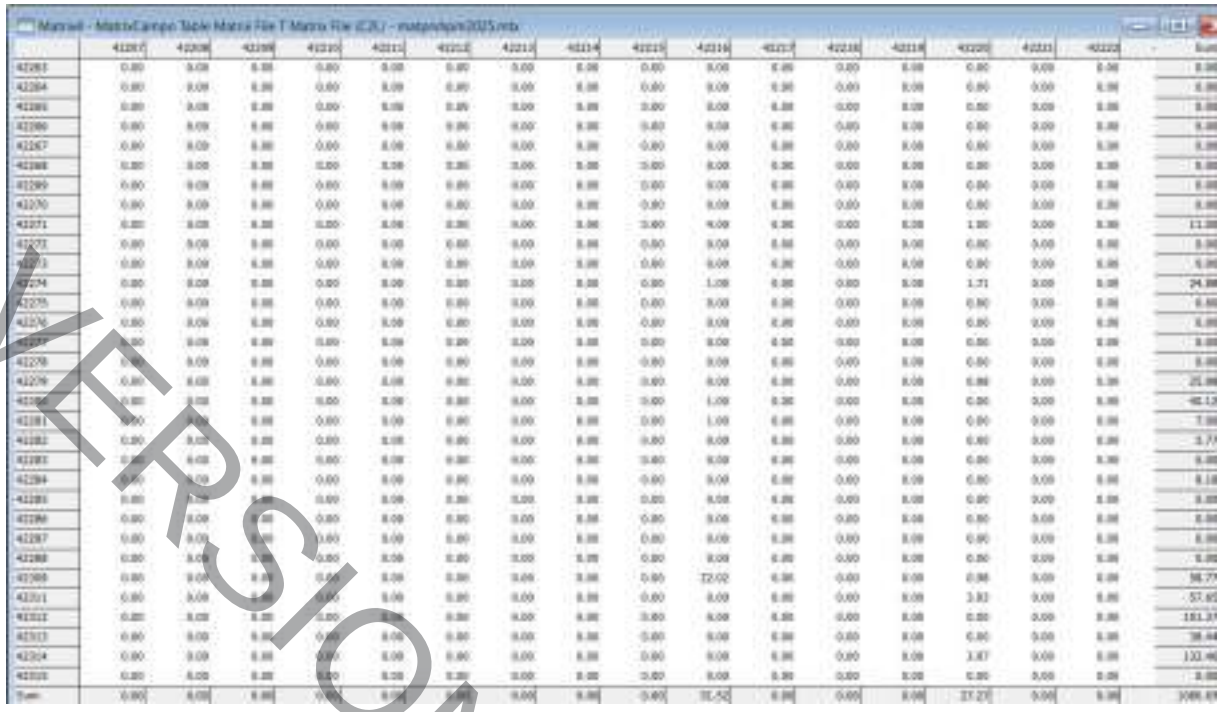
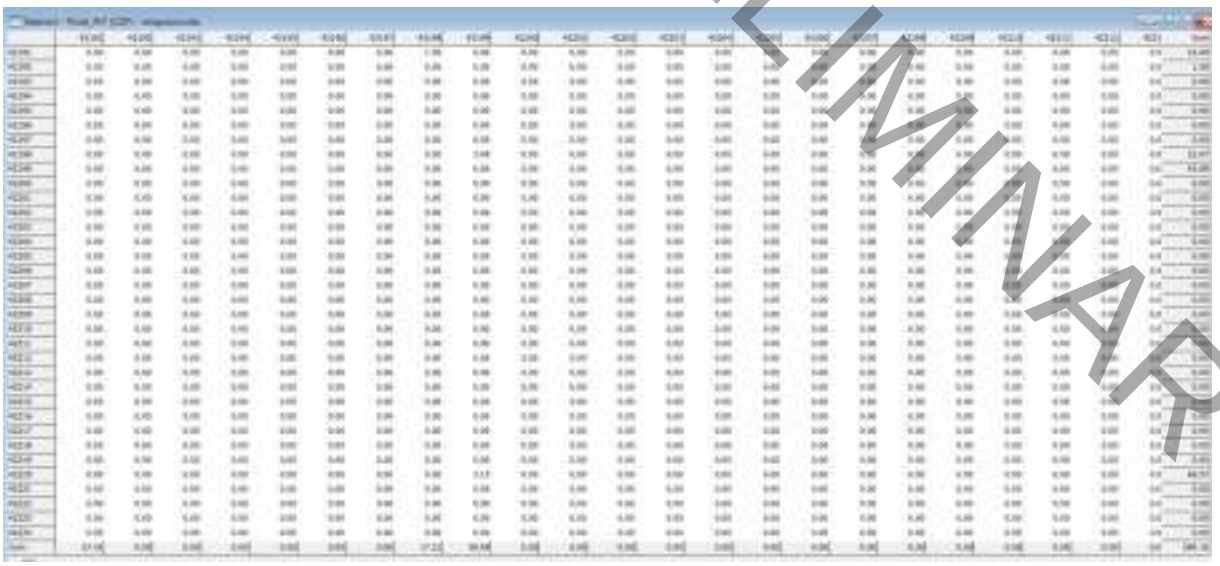


Figura 86: Matriz de vehículos de carga pesados HPM.



VERSIÓN PRELIMINAR

Resultados generales de la asignación

Los resultados de la asignación de carga muestran una concentración marcada de flujos sobre los principales corredores viales y accesos a la ciudad, configurando una estructura predominantemente

radial del movimiento de mercancías. Este patrón es consistente con el rol de Chiclayo como núcleo articulador de actividades comerciales, logísticas y de intercambio regional, donde una parte importante del transporte de carga converge hacia los ejes de mayor jerarquía funcional.

Figura 87: Vehículos pesados durante HPM.

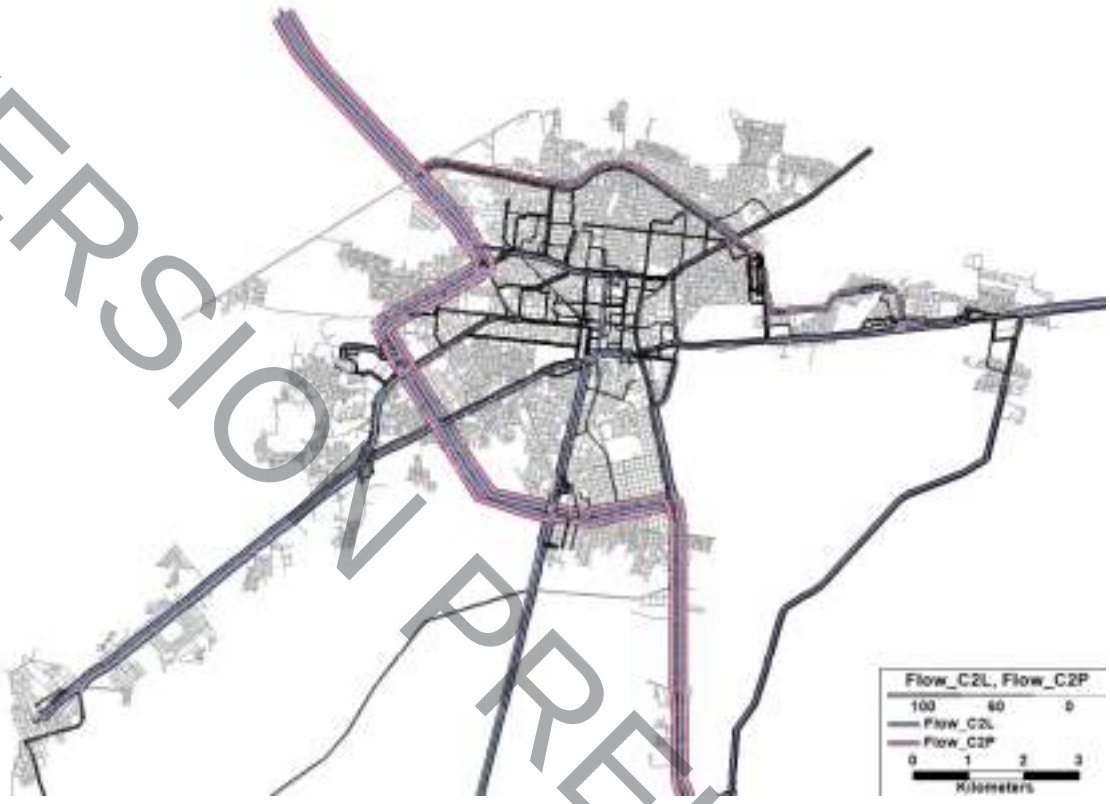
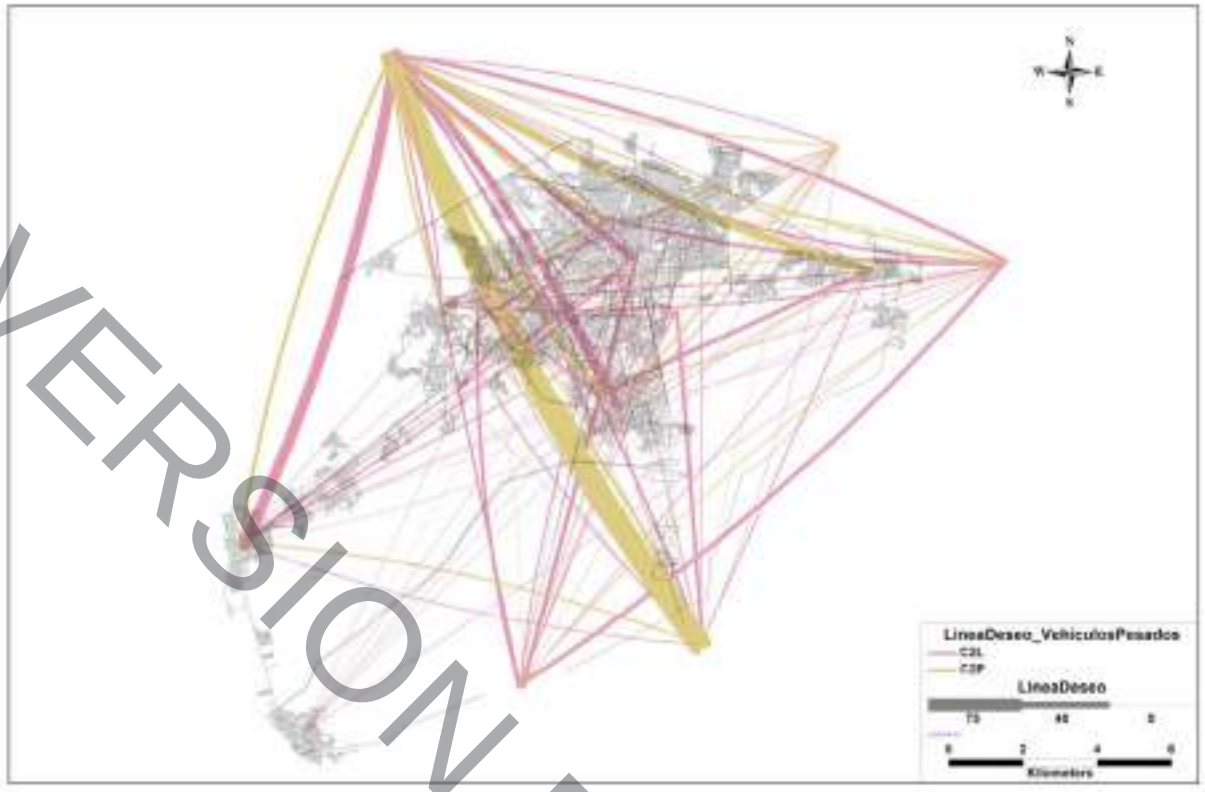


Figura 88. líneas de deseo de transporte pesado

VERSION PRELIMINAR



Asimismo, la interacción de estos flujos con la red urbana evidencia la necesidad de fortalecer estrategias de gestión orientadas a la optimización de los corredores logísticos, especialmente en aquellos tramos donde el transporte de carga comparte espacio con altos volúmenes de tráfico urbano. Desde la perspectiva del modelo, ello resulta relevante no solo para interpretar la situación actual, sino también para evaluar futuras medidas de ordenamiento, restricciones operativas, jerarquización vial y mejora de la eficiencia logística del sistema.

Nota: Si bien los resultados de asignación del escenario base 2025 se presentan de manera diferenciada para transporte privado, transporte público y transporte de carga, éstos no corresponden a ejercicios independientes, sino a desagregaciones analíticas de un mismo escenario modelado bajo el enfoque secuencial de cuatro etapas con retroalimentación. En este marco, la demanda total se genera, distribuye y segmenta modalmente antes de ser asignada a las redes correspondientes, y los tiempos y costos resultantes de la asignación retroalimentan iterativamente las etapas previas hasta alcanzar una condición consistente de equilibrio entre oferta y demanda. En consecuencia, la presentación separada de resultados responde a fines analíticos y de interpretación por sistema, mientras que su lectura debe realizarse de manera integrada dentro del escenario base convergido.

12.1.4 Nota metodológica de interpretación

Si bien los resultados de asignación del escenario base 2025 se presentan de manera diferenciada para transporte privado, transporte público y transporte de carga, éstos no corresponden a ejercicios independientes, sino a desagregaciones analíticas de un mismo escenario modelado bajo el enfoque secuencial de cuatro etapas con retroalimentación. En este marco, la demanda total se genera, distribuye y segmenta modalmente antes de ser asignada a las redes correspondientes, y los tiempos y costos resultantes de la asignación retroalimentan iterativamente las etapas previas hasta alcanzar una condición consistente de equilibrio entre oferta y demanda. En consecuencia, la presentación separada de resultados responde a fines analíticos y de interpretación por sistema, mientras que su lectura debe realizarse de manera integrada dentro del escenario base convergido.

VERSION PRELIMINAR

12.2 Escenario Tendencial

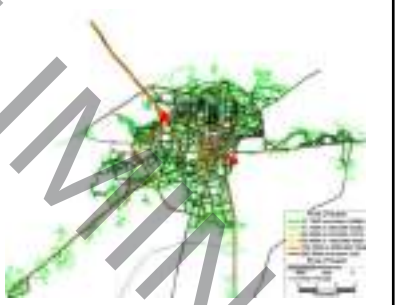
Se han realizado las proyecciones de demanda para los años 2029, 2035 y 2045, para lo cual se han considerado las proyecciones de las variables de hogares por nivel socioeconómico.

La tabla de tasas de crecimiento por nivel socioeconómico se sustenta en la "Memoria Técnica de Proyecciones Tendenciales del PMUS Chiclayo" (Ver Anexo 01), la cual se incorpora como anexo del presente informe. Dicho documento desarrolla los supuestos, fuentes oficiales, metodología de proyección poblacional y evolución de hogares por NSE, utilizados para la construcción del escenario tendencial, por lo que constituye el respaldo técnico de las tasas aplicadas en el modelo de transporte.

Figura 89: *Tasas de crecimiento por NSE*

NSE	2025-2030	2030-2040	2040-2045
Alto	0.37%	0.40%	0.12%
Medio	2.67%	2.55%	2.12%
Bajo	0.15%	0.15%	-0.17%

Figura 90: *Resultado de indicadores*

2029	2035	2045
Asignación de flujo privado		
		
Grado de saturación		

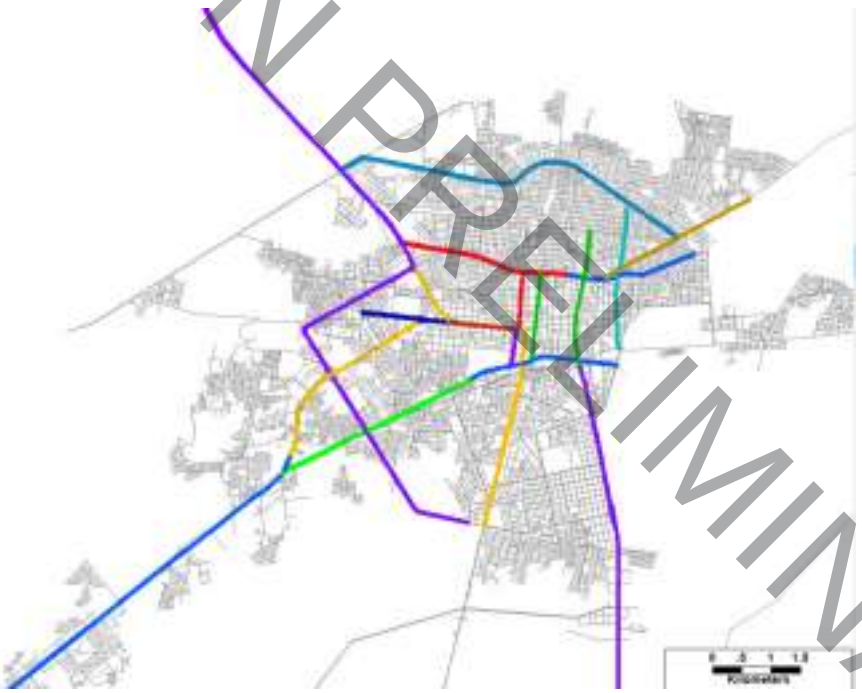
VERSIÓN PRELIMINAR

Flujo de pasajeros		

Se ha realizado el análisis de flujo vehicular, carga de pasajeros y grado de saturación promedio de las principales vías del área de estudio.

A continuación, se presentan los tramos analizados:

Figura 91: *Tramos analizados*



A) Flujos de vehículos privados:

Los resultados de la asignación de vehículos privados muestran un incremento progresivo de los flujos en los principales corredores evaluados entre 2025 y 2045. Al año horizonte, las mayores cargas se concentran en la Panamericana Norte, la Av. Francisco Bolognesi, la Av. Luis Gonzáles, la Av. Escrivá de Balaguer y la Av. Augusto B. Leguía, confirmando el rol estructurante de estos ejes en la movilidad motorizada privada de Chiclayo. Asimismo, se observa un crecimiento relevante en corredores como la Av. Víctor Raúl Haya de la Torre, la Carretera Chiclayo–Pimentel, la Av. Miguel Grau y la Av. Juan Tomis Stack, lo que evidencia una expansión de la presión vehicular hacia ejes metropolitanos y de conexión con áreas de crecimiento urbano. En conjunto, la tendencia proyectada refleja una mayor demanda sobre la red vial bajo condiciones tendenciales, por lo que estos corredores deberán ser considerados

VERSIÓN PRELIMINAR

prioritarios para la evaluación de medidas de gestión de tránsito, mejora de capacidad operativa, priorización del transporte público y estrategias de movilidad sostenible.

Para el año 2025, la Panamericana Norte registra el mayor flujo vehicular con 1,177 vehículos por hora y sentido, seguida por la Avenida Escrivá de Balaguer con 1,022 vehículos, la Avenida Luis Gonzáles con 1,001 vehículos, la Avenida Francisco Bolognesi con 992 vehículos y la Avenida Augusto B. Leguía con 971 vehículos. Estos corredores constituyen los principales ejes de circulación vehicular de la ciudad y concentran una parte importante de los desplazamientos diarios.

Asimismo, se observan flujos significativos en la Avenida Ingeniero Galo Muñoz (790 vehículos), Avenida José Leonardo Ortiz (757 vehículos), Avenida Víctor Raúl Haya de la Torre (722 vehículos), Carretera Chiclayo–Pimentel (711 vehículos), Avenida Felipe Santiago Salaverry (711 vehículos) y Avenida Sáenz Peña (685 vehículos). Estas vías cumplen una función complementaria dentro de la red vial principal, facilitando la distribución de los viajes entre los distintos sectores urbanos de la ciudad.

Hacia los escenarios futuros se observa un crecimiento sostenido de los flujos vehiculares en prácticamente todos los corredores analizados. La Panamericana Norte incrementa su flujo de 1,177 vehículos en 2025 a 1,368 vehículos en 2045, manteniéndose como el eje vial con mayor demanda vehicular. Del mismo modo, la Avenida Francisco Bolognesi aumenta de 992 a 1,224 vehículos, la Avenida Luis Gonzáles de 1,001 a 1,192 vehículos, la Avenida Escrivá de Balaguer de 1,022 a 1,180 vehículos y la Avenida Augusto B. Leguía de 971 a 1,096 vehículos.

También destacan los incrementos observados en la Avenida José Leonardo Ortiz, que pasa de 757 a 903 vehículos, la Avenida Víctor Raúl Haya de la Torre de 722 a 912 vehículos, la Carretera Chiclayo–Pimentel de 711 a 884 vehículos, y la Avenida Felipe Santiago Salaverry de 711 a 810 vehículos. Estos resultados reflejan una creciente presión vehicular sobre los principales corredores urbanos conforme aumenta la demanda de movilidad en el horizonte de análisis.

Tabla 53: *Flujos de vehículos privados en el escenario tendencial*

Avenidas	2,025	2,029	2,035	2,045
Avenida Angamos	126	150	194	270
Avenida Augusto B. Leguía	971	997	1,034	1,096
Avenida Chiclayo	579	592	609	635
Avenida Escrivá de Balaguer	1,022	1,062	1,115	1,180
Avenida Felipe Santiago Salaverry	711	729	744	810
Avenida Francisco Bolognesi	992	1,043	1,109	1,224
Avenida Ingeniero Galo Muñoz	790	801	810	816
Avenida Jorge Chávez	646	665	710	810
Avenida José Leonardo Ortíz	757	790	835	903

VERSIÓN PRELIMINAR

Avenida Juan Tomis Stack	594	615	654	729
Avenida Luis Gonzáles	1,001	1,042	1,099	1,192
Avenida Miguel Grau	620	645	691	782
Avenida Nicolás de Piérola	409	433	474	530
Avenida Paseo del Deporte	195	205	218	274
Avenida Sáenz Peña	685	719	755	813
Avenida Victor Raúl Haya de la Torre	722	760	816	912
Carretera Chiclayo - Pimentel	711	744	795	884
Panamericana Norte	1,177	1,226	1,283	1,368
Prolongación Avenida Francisco	682	706	744	809

VERSIÓN PRELIMINAR

B) Flujo de pasajeros:

Los resultados de flujos de pasajeros muestran una concentración progresiva de la demanda en los principales corredores urbanos del sistema de transporte público entre 2025 y 2045. Al año horizonte, las mayores cargas se registran en la Av. Felipe Santiago Salaverry, Av. Angamos, Av. José Leonardo Ortiz, Av. Juan Tomis Stack y Av. Víctor Raúl Haya de la Torre, lo que evidencia el rol estructurante de estos ejes en la movilidad colectiva de Chiclayo.

Para el año 2025, la Avenida Felipe Santiago Salaverry registra la mayor carga de pasajeros con 2,995 pasajeros por hora y sentido, seguida por la Avenida Angamos con 2,255 pasajeros, la Avenida José Leonardo Ortiz con 1,815 pasajeros, la Avenida Jorge Chávez con 1,750 pasajeros y la Avenida Juan Tomis Stack con 1,612 pasajeros. Estos corredores constituyen los principales ejes de movilidad urbana y concentran una proporción significativa de los desplazamientos diarios de la población.

Asimismo, se observan cargas de pasajeros importantes en la Avenida Francisco Bolognesi (1,295 pasajeros), Avenida Luis Gonzáles (1,299 pasajeros), Avenida Nicolás de Piérola (1,277 pasajeros), Avenida Víctor Raúl Haya de la Torre (1,167 pasajeros), Avenida Miguel Grau (1,148 pasajeros), Avenida Paseo del Deporte (1,037 pasajeros) y Avenida Sáenz Peña (980 pasajeros). Estas vías complementan la red principal de transporte y cumplen un rol fundamental en la distribución de los viajes dentro del área urbana.

Hacia los escenarios futuros se observa un crecimiento sostenido de la demanda de pasajeros en la mayoría de los corredores evaluados. La Avenida Felipe Santiago Salaverry incrementa su carga de 2,995 pasajeros en 2025 a 3,746 pasajeros en 2045, consolidándose como el corredor con mayor demanda de transporte público de la ciudad. De igual forma, la Avenida Angamos aumenta de 2,255 a 2,851 pasajeros, la Avenida Jorge Chávez de 1,750 a 2,262 pasajeros, la Avenida José Leonardo Ortiz de 1,815 a 2,204 pasajeros y la Avenida Juan Tomis Stack de 1,612 a 2,071 pasajeros.

También destacan los incrementos registrados en la Avenida Nicolás de Piérola, que pasa de 1,277 a 1,654 pasajeros, la Avenida Víctor Raúl Haya de la Torre de 1,167 a 1,633 pasajeros, la Avenida

Francisco Bolognesi de 1,295 a 1,619 pasajeros, y la Avenida Ingeniero Galo Muñoz de 945 a 1,276 pasajeros, evidenciando una creciente concentración de viajes en los principales corredores urbanos.

Asimismo, se observa que la distribución de pasajeros no coincide necesariamente con los corredores de mayor flujo vehicular privado, lo cual confirma la existencia de patrones diferenciados entre la movilidad motorizada individual y la demanda de transporte público. En conjunto, estos resultados permiten identificar los corredores con mayor presión futura de pasajeros y constituyen un insumo relevante para evaluar medidas de reorganización de rutas, priorización del transporte público, mejora de frecuencias, integración operacional y eventual implementación de componentes de transporte masivo o de mayor capacidad.

Tabla 54: *Flujos de pasajeros para el escenario tendencial*

Avenidas	2025	2029	2035	2045
Avenida Angamos	2,255	2,420	2,554	2,851
Avenida Augusto B. Leguia	671	683	782	829
Avenida Chiclayo	198	199	215	236
Avenida Escrivá de Balaguer	529	539	558	571
Avenida Felipe Santiago Salaverry	2,995	3,162	3,380	3,746
Avenida Francisco Bolognesi	1,295	1,340	1,418	1,619
Avenida Ingeniero Galo Muñoz	945	994	1,054	1,276
Avenida Jorge Chávez	1,750	1,878	2,028	2,262
Avenida José Leonardo Ortíz	1,815	1,892	1,958	2,204
Avenida Juan Tomis Stack	1,612	1,688	1,834	2,071
Avenida Luis Gonzáles	1,299	1,332	1,405	1,446
Avenida Miguel Grau	1,148	1,206	1,305	1,334
Avenida Nicolás de Piérola	1,277	1,350	1,481	1,654
Avenida Paseo del Deporte	1,037	1,089	1,174	1,285
Avenida Sáenz Peña	980	993	1,077	1,242
Avenida Victor Raúl Haya de la Torre	1,167	1,204	1,304	1,633
Carretera Chiclayo - Pimentel	509	540	593	693

VERSIÓN PRELIMINAR

Avenidas	2025	2029	2035	2045
Panamericana Norte	538	545	548	537
Prolongación Avenida Francisco	103	112	116	125

VERSIÓN PRELIMINAR

C) Grado de saturación:

Los resultados del grado de saturación muestran un incremento progresivo de la presión sobre la red vial entre 2025 y 2045. Si bien los valores promedio por corredor se mantienen, en la mayoría de los casos, por debajo de la saturación generalizada, los valores máximos evidencian la presencia de tramos críticos donde la relación volumen/capacidad alcanza o supera la unidad. Al año horizonte 2045, esta condición se observa principalmente en la Av. Luis Gonzáles, Av. Chiclayo, Av. Nicolás de Piérola, Av. Francisco Bolognesi, Av. Ingeniero Galo Muñoz, Av. Felipe Santiago Salaverry, Av. Sáenz Peña, Panamericana Norte y Prolongación Av. Francisco. Estos resultados indican que la problemática futura no se expresa necesariamente como una saturación homogénea de todo el corredor, sino como la formación de cuellos de botella localizados asociados a intersecciones, tramos de menor capacidad, concentración de giros, fricción lateral o superposición de flujos urbanos y metropolitanos. En consecuencia, estos ejes deben ser priorizados para el análisis de medidas de gestión de tránsito, mejora operacional, control de accesos, priorización del transporte público y redistribución de la demanda en los escenarios de intervención del PMUS.

Respecto al grado de saturación promedio, los mayores valores corresponden a la Avenida Francisco Bolognesi, que incrementa su indicador de 0.53 en 2025 a 0.63 en 2045, seguida por la Avenida Luis Gonzáles, que pasa de 0.51 a 0.60, y la Avenida Ingeniero Galo Muñoz, con valores comprendidos entre 0.49 y 0.52. También destacan la Panamericana Norte, la Prolongación Avenida Francisco, la Avenida Augusto B. Leguía y la Avenida Felipe Santiago Salaverry, cuyos grados de saturación promedio alcanzan valores cercanos o superiores a 0.48 hacia el año 2045. Estos resultados reflejan una utilización intensiva de la capacidad disponible y una creciente presión vehicular sobre dichos corredores.

Por otro lado, corredores como la Avenida Paseo del Deporte, Avenida Angamos y Avenida Nicolás de Piérola presentan los menores niveles de saturación promedio, manteniéndose por debajo de 0.35 durante todo el horizonte de análisis, lo que evidencia una adecuada disponibilidad de capacidad vial.

En relación con el grado de saturación máximo, los resultados muestran condiciones más exigentes de operación en determinados corredores. La Avenida Luis Gonzáles registra el mayor nivel de saturación de la red, alcanzando un valor de 1.24 en 2045, seguida por la Avenida Chiclayo con 1.16, la Avenida Nicolás de Piérola con 1.13, la Avenida Francisco Bolognesi y la Avenida Ingeniero Galo Muñoz con 1.10, así como la Avenida Felipe Santiago Salaverry y la Prolongación Avenida Francisco con 1.09.

Asimismo, la Panamericana Norte alcanza un grado de saturación máximo de 1.05, la Avenida Sáenz Peña de 1.04, la Avenida Felipe Santiago Salaverry de 1.09, la Avenida José Leonardo Ortiz de 1.03 y la Avenida Augusto B. Leguía de 0.75, evidenciando que varios corredores principales operan en condiciones cercanas o superiores a su capacidad durante los períodos de máxima demanda.

Los resultados también muestran que corredores como la Avenida Jorge Chávez, Avenida Juan Tomis Stack, Carretera Chiclayo–Pimentel y Avenida Paseo del Deporte presentan

niveles de saturación máximos comprendidos entre 0.89 y 0.99 hacia el año 2045, indicando una condición operativa aceptable, aunque con una tendencia creciente conforme aumenta la demanda vehicular.

Tabla 55: *Grado de saturación en el escenario tendencial*

Vías	Grado de saturación promedio				Grado de saturación máxima			
	2025	2029	2035	2045	2025	2029	2035	2045
Avenida Angamos	0.26	0.27	0.28	0.31	0.42	0.42	0.43	0.42
Avenida Augusto B. Leguía	0.44	0.45	0.46	0.49	0.68	0.71	0.72	0.75
Avenida Chiclayo	0.31	0.32	0.33	0.35	1.07	1.10	1.13	1.16
Avenida Escrivá de Balaguer	0.42	0.43	0.45	0.48	0.64	0.64	0.66	0.68
Avenida Felipe Santiago Salave	0.45	0.46	0.47	0.48	0.99	1.01	1.04	1.09
Avenida Francisco Bolognesi	0.53	0.55	0.58	0.63	1.04	1.09	1.16	1.29
Avenida Ingeniero Galo Muñoz	0.49	0.50	0.51	0.52	1.05	1.06	1.08	1.10
Avenida Jorge Chávez	0.40	0.42	0.44	0.46	0.78	0.79	0.82	0.86
Avenida José Leonardo Ortiz	0.42	0.43	0.45	0.48	0.83	0.87	0.92	1.03
Avenida Juan Tomis Stack	0.38	0.39	0.41	0.44	0.85	0.87	0.92	0.99
Avenida Luis Gonzáles	0.51	0.53	0.55	0.60	1.00	1.04	1.12	1.24
Avenida Miguel Grau	0.35	0.37	0.39	0.43	0.64	0.67	0.69	0.75
Avenida Nicolás de Piérola	0.25	0.27	0.29	0.32	0.98	1.02	1.06	1.13
Avenida Paseo del Deporte	0.20	0.21	0.22	0.25	0.74	0.76	0.79	0.84
Avenida Sáenz Peña	0.39	0.40	0.42	0.45	0.96	0.97	0.99	1.04
Avenida Víctor Raúl Haya de la torre	0.33	0.34	0.36	0.40	0.48	0.49	0.53	0.60
Carretera Chiclayo - Pimentel	0.33	0.35	0.37	0.41	0.72	0.73	0.75	0.79
Panamericana Norte	0.45	0.46	0.49	0.53	0.85	0.88	0.94	1.05
Prolongación Avenida Francisco	0.44	0.46	0.48	0.53	0.97	1.00	1.03	1.09

VERSIÓN PRELIMINAR

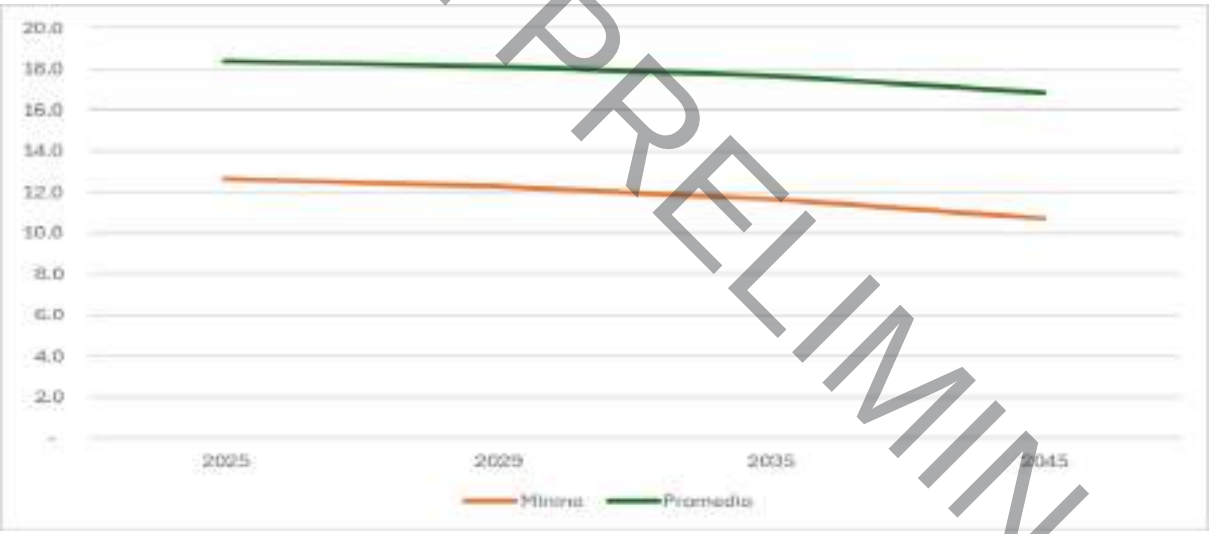
D) Velocidad de las rutas en transporte público- colectivo

Los resultados de velocidad del transporte público evidencian una reducción progresiva del desempeño operacional del sistema en el escenario tendencial. La velocidad promedio disminuye de 18.4 km/h en 2025 a 16.8 km/h en 2045, mientras que la velocidad mínima se reduce de 12.6 km/h a 10.7 km/h en el mismo periodo. Esta tendencia refleja el efecto del incremento de la demanda y de la congestión sobre un sistema de transporte público que opera principalmente en condiciones de circulación mixta, sin medidas significativas de prioridad operacional. En consecuencia, la reducción de velocidades puede generar mayores tiempos de viaje, menor regularidad del servicio y una pérdida gradual de competitividad del transporte público, reforzando la necesidad de evaluar medidas de priorización, gestión de corredores, reorganización de rutas y mejora de la operación en los escenarios de intervención del PMUS.

Tabla 56: Velocidad del transporte público para el escenario tendencial

	Estadístico	2025	2029	2035	2045
Velocidad en transporte público	Mínimo	12.6	12.3	11.7	10.7
	Promedio	18.4	18.1	17.7	16.8

Figura 92: Tendencia de la *velocidad del transporte público proyectado*



E) Tiempos de viaje del sistema

Los resultados de tiempos de viaje del sistema muestran un incremento progresivo del tiempo total promedio en el escenario tendencial, pasando de 64.98 minutos en 2025 a 68.0 minutos en 2045. Este aumento se explica principalmente por el mayor tiempo en vehículo, que crece de 28 a 30 minutos promedio, asociado al efecto de la congestión y a la reducción de velocidades operativas en la red. Los tiempos de espera inicial, espera por transferencia y penalidades de transbordo se mantienen relativamente estables durante el periodo analizado, mientras que los tiempos de caminata de acceso y transferencia presentan incrementos moderados. En conjunto, estos resultados evidencian que, bajo condiciones tendenciales, el sistema de transporte público experimentaría una pérdida gradual de eficiencia, expresada en mayores tiempos generalizados de viaje y menor competitividad frente a otros modos, lo que refuerza la necesidad de evaluar medidas de

VERSION PRELIMINAR

priorización, reorganización operacional, mejora de accesibilidad y reducción de tiempos de viaje en los escenarios de intervención del PMUS.

Tabla 57: Tiempos de viaje del sistema para el escenario tendencial

Tiempos	2025		2029		2035		2045	
	Total	Promedio	Total	Promedio	Total	Promedio	Total	Promedio
Tiempo en el vehículo	236,724	28	238,624	28	246,402	29	251,406	30
Tiempo espera inicial	25,796	3	25,660	3	25,279	3	25,365	3
Tiempo espera transferencia	8,341	1	8,438	1	8,377	1	8,511	1
Transfer Penalty Time	11,531	1	11,553	1	11,488	1	11,496	1
Tiempo de transferencia de caminata	4,622	1	4,777	1	4,665	1	4,963	1
Tiempo de acceso de caminata	265,747	25	269,713	25	276,676	26	282,235	26
Tiempo de salida de caminata	138,402	16	138,060	16	138,176	16	139,915	16
Total Time	696,068	64.98	702,819	65.6	715,486	66.8	728,157	68.0

13 Repositorio y formatos de entrega

Los datos utilizados en el modelo se encuentran en la siguiente base de datos.

Link: *https://drive.google.com/drive/folders/1eneg27csPpd2T7DY04UsKHwztiNqdt6_*

Anexo 01: "Memoria Técnica de Proyecciones Tendenciales del PMUS Chiclayo"

14 Conclusiones y recomendaciones

14.1 Conclusiones

- El Modelo Estratégico de Transporte de Chiclayo —MET Chiclayo— se consolida como una herramienta técnica robusta, reproducible y trazable para representar la movilidad urbana, metropolitana y regional del área funcional de estudio. Su desarrollo en TransCAD 10.0, bajo un enfoque macroscópico, multimodal y secuencial de cuatro etapas con retroalimentación, permite integrar de manera consistente la generación, distribución, partición modal y asignación de viajes, constituyéndose en la base cuantitativa para el diagnóstico, la estructuración del escenario base 2025, el análisis del escenario tendencial y la posterior evaluación de escenarios del PMUS.
- La estructura territorial del modelo presenta un nivel de desagregación adecuado para fines de planificación estratégica. El MET se organiza en 104 Zonas de Análisis de Tránsito (ZAT), conformadas por 98 zonas internas y 6 zonas externas, cada una vinculada a centroides y conectores hacia la red vial. Esta configuración permite representar tanto la movilidad interna del continuo urbano conformado por Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria, Pimentel y

VERSIÓN PRELIMINAR

Pomalca, como los flujos metropolitanos, regionales e interprovinciales que inciden sobre la dinámica de movilidad de la ciudad.

- El modelo de oferta fue construido sobre una base geográfica integrada y georreferenciada, que articula red vial, red de transporte público, zonificación, centroides, conectores y atributos operacionales. La red vial modelada cuenta con 19,442 enlaces y una longitud aproximada de 1,587 km, mientras que la red de transporte público incorpora 100 rutas direccionales, configuradas con atributos de trazado, frecuencia, capacidad, velocidad, tarifa y operación. Esta estructura permite representar adecuadamente las condiciones físicas y funcionales del sistema de transporte en el año base y proyectar su desempeño bajo condiciones futuras.
- La formulación de la demanda cuenta con una base empírica sólida, sustentada principalmente en la Encuesta Origen-Destino a Hogares 2025, con 4,514 hogares encuestados y 21,784 viajes registrados, complementada con encuestas de interceptación, aforos vehiculares, estudios de Frecuencia y Ocupación Visual (FOV), inventario de rutas, mediciones de tiempos de viaje, velocidades observadas y estudios de transporte de carga. La Hora de Máxima Demanda fue identificada entre las 07:30 y 08:30 horas, período adoptado para la calibración del escenario base.
- La etapa de generación permitió estimar viajes producidos y atraídos de manera segmentada por nivel socioeconómico, disponibilidad de automóvil y motivo de viaje. La producción fue estimada mediante tasas diferenciadas por tipo de hogar, mientras que la atracción incorporó variables de uso del suelo, tales como comercio, educación, salud, industria y recreación. El posterior balance de producciones y atracciones permitió obtener vectores consistentes para alimentar la etapa de distribución.
- La distribución de viajes fue desarrollada mediante un modelo gravitacional con función Gamma calibrada por nivel socioeconómico y motivo de viaje. Los resultados muestran una adecuada reproducción de la distribución observada de tiempos de viaje, lo que confirma que la matriz distribuida representa de manera razonable la interacción espacial entre las ZAT, la localización de actividades y las condiciones de accesibilidad del sistema urbano de Chiclayo.
- La partición modal fue implementada mediante un modelo Logit jerárquico, considerando la competencia entre transporte privado, taxi y transporte público colectivo. La inclusión de variables como tiempo de viaje, costo, caminata, espera y transbordos permitió representar con mayor realismo la elección modal de los usuarios. En términos agregados, el reparto modal modelado en la HPM presenta una correspondencia satisfactoria con la información observada en la EODH.
- La calibración del escenario base alcanzó resultados aceptables para un modelo estratégico de transporte. La comparación entre flujos observados y modelados permitió verificar la consistencia de las asignaciones de transporte privado, transporte público y carga, utilizando indicadores como el coeficiente de determinación R^2, el estadístico GEH y la comparación directa en puntos de control. En particular, la calibración del transporte público mostró una adecuada reproducción de las cargas observadas, con un R^2 cercano a 0.94.
- Los resultados del escenario base 2025 evidencian que Chiclayo presenta una estructura de movilidad predominantemente radial y centralizada, con concentración de flujos hacia el núcleo urbano y presión sobre corredores estructurantes. La red vial muestra mayores niveles de saturación y menores velocidades en los accesos al centro y en sectores de alta actividad urbana, mientras que las zonas periféricas presentan condiciones relativamente más fluidas. Este patrón confirma la dependencia del sistema respecto a un número limitado de ejes principales.

VERSIÓN PRELIMINAR

- El transporte público de Chiclayo se caracteriza por una oferta fragmentada, con predominio de servicios de baja y mediana capacidad, principalmente autos colectivos y rutas tipo CR. Si bien la red presenta una cobertura amplia, las velocidades comerciales del orden de 15 km/h reflejan la influencia de la fricción vial, las detenciones frecuentes, la superposición de rutas y las condiciones operativas propias de un sistema superficial no priorizado.
- El transporte de carga constituye un componente relevante dentro del funcionamiento vial urbano. La asignación multiclase permite diferenciar la incidencia de vehículos de carga ligera y pesada sobre la red, evidenciando su concentración en accesos y corredores de mayor jerarquía. Esto confirma que la red vial de Chiclayo cumple simultáneamente funciones urbanas, metropolitanas, regionales y logísticas, generando impactos diferenciados sobre la capacidad y el desempeño de la infraestructura.
- El escenario tendencial permite establecer una línea base futura de comparación para evaluar la evolución del sistema de movilidad en ausencia de intervenciones estructurantes del PMUS. Sus resultados evidencian un incremento progresivo de la presión vehicular sobre los principales corredores, especialmente en la Panamericana Norte, Av. Francisco Bolognesi, Av. Luis Gonzáles, Av. Escrivá de Balaguer y Av. Augusto B. Leguía, que al año 2045 concentran los mayores flujos de vehículos privados entre los ejes evaluados.
- En el escenario tendencial, la demanda de pasajeros se concentra principalmente en corredores urbanos de alta interacción funcional. Al año 2045 destacan la Av. Felipe Santiago Salaverry, Av. Angamos, Av. José Leonardo Ortiz, Av. Juan Tomis Stack y Av. Víctor Raúl Haya de la Torre, lo que evidencia que los corredores de mayor presión de pasajeros no necesariamente coinciden con los corredores de mayor flujo vehicular privado. Esta diferencia confirma la necesidad de evaluar estrategias diferenciadas para la movilidad individual motorizada y para el transporte público colectivo.
- Los resultados del grado de saturación del escenario tendencial muestran que la problemática futura no se expresaría necesariamente como una saturación homogénea de toda la red, sino como la aparición o intensificación de cuellos de botella localizados. Al año 2045, los mayores niveles de saturación máxima se observan en corredores como Av. Luis Gonzáles, Av. Chiclayo, Av. Nicolás de Piérola, Av. Francisco Bolognesi, Av. Ingeniero Galo Muñoz, Av. Felipe Santiago Salaverry y Prolongación Av. Francisco, donde la relación volumen/capacidad alcanza o supera la unidad en determinados tramos.
- El escenario tendencial evidencia una pérdida progresiva de desempeño operacional del transporte público. La velocidad promedio disminuye de 18.4 km/h en 2025 a 16.8 km/h en 2045, mientras que la velocidad mínima se reduce de 12.6 km/h a 10.7 km/h. Esta tendencia refleja el efecto acumulado del crecimiento de la demanda, la operación en tráfico mixto, la fricción vial y la ausencia de medidas significativas de prioridad para el transporte público.
- Los tiempos de viaje del sistema también presentan un deterioro gradual en el escenario tendencial. El tiempo total promedio aumenta de 64.98 minutos en 2025 a 68.0 minutos en 2045, explicado principalmente por el incremento del tiempo en vehículo y por ligeros aumentos en los tiempos de acceso y transferencia peatonal. En contraste, los tiempos de espera inicial, espera por transferencia y penalidades de transbordo se mantienen relativamente estables. Esto evidencia que el principal deterioro futuro se asocia a la pérdida de velocidad comercial y a la presión creciente sobre la red vial.
- En conjunto, el MET Chiclayo no debe entenderse únicamente como un ejercicio de simulación, sino como una herramienta estratégica de soporte a la decisión. Su principal fortaleza radica en integrar territorio, demanda, oferta, costos generalizados, desempeño de red y resultados de asignación dentro de una estructura analítica común, capaz de sustentar

VERSIÓN PRELIMINAR

técnicamente la priorización de medidas, la comparación de escenarios y la formulación posterior de propuestas del PMUS.

14.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar el escenario base 2025 calibrado como referencia oficial para la formulación, comparación y evaluación de los escenarios tendenciales y prospectivos del PMUS. Cualquier actualización futura deberá preservar la trazabilidad entre los insumos del año base, las matrices calibradas, la red de oferta, los parámetros de modelación y los resultados obtenidos.

- Se recomienda utilizar el escenario tendencial como línea base futura de comparación para la evaluación de las propuestas del PMUS. Este escenario permite identificar qué problemas se mantendrían o agravarían en ausencia de intervenciones estructurantes, medidas de gestión o mejoras operacionales, por lo que debe servir como referencia para medir los beneficios relativos de cada alternativa de intervención.

- Para la evaluación de escenarios futuros, se recomienda mantener la lógica del modelo secuencial de cuatro etapas con retroalimentación, de modo que los cambios en la red, los tiempos de viaje, los costos generalizados y la congestión sean reincorporados en las etapas de distribución y partición modal. Esta condición es fundamental para asegurar consistencia entre demanda proyectada y desempeño de la oferta.

- Se recomienda emplear el método PIVOT para la construcción de matrices futuras, preservando la estructura espacial calibrada del año base e incorporando de manera controlada los crecimientos de demanda derivados de los escenarios urbanos, socioeconómicos y de transporte. Este enfoque permitirá reducir distorsiones en los pares OD y mantener coherencia con los patrones observados.

- Desde el punto de vista de la gestión vial, se recomienda priorizar el análisis de intervenciones en los accesos al centro urbano, corredores estructurantes e intersecciones críticas donde el modelo evidencia mayores niveles de carga, saturación y pérdida de velocidad. En particular, los resultados del escenario tendencial sugieren prestar especial atención a corredores como Panamericana Norte, Av. Francisco Bolognesi, Av. Luis Gonzáles, Av. Escrivá de Balaguer, Av. Augusto B. Leguía, Av. Chiclayo, Av. Nicolás de Piérola y Av. Ingeniero Galo Muñoz.

- En materia de transporte público, se recomienda que los escenarios del PMUS evalúen una transición progresiva desde la estructura actual, fragmentada y dominada por servicios de menor capacidad, hacia una red más integrada, jerarquizada y eficiente. Para ello deberán analizarse medidas de reorganización de rutas, reducción de superposiciones, fortalecimiento de corredores principales, mejora de frecuencias, integración operativa y priorización del transporte público.

- Se recomienda priorizar el análisis de mejora del transporte público en los corredores que concentran mayores cargas de pasajeros en el escenario tendencial, tales como Av. Felipe Santiago Salaverry, Av. Angamos, Av. José Leonardo Ortiz, Av. Juan Tomis

VERSIÓN PRELIMINAR

Stack, Av. Víctor Raúl Haya de la Torre, Av. Luis Gonzáles, Av. Miguel Grau y Av. Francisco Bolognesi. Estos ejes deben evaluarse como posibles corredores de reorganización, priorización operacional, mejora de capacidad, gestión de paraderos e integración de servicios.

- Considerando la reducción proyectada de velocidades del transporte público en el escenario tendencial, se recomienda evaluar medidas de prioridad operacional, tales como tratamiento preferencial en corredores críticos, control de estacionamiento en vía, gestión de paraderos, ordenamiento de giros, reducción de interferencias laterales, mejora de intersecciones y gestión del tráfico en corredores con alta superposición de rutas.
- Se recomienda que las propuestas de transporte público no se limiten a cambios de itinerario o flota, sino que incorporen mejoras integrales en la experiencia del usuario. El modelo evidencia que la elección modal depende no solo del tiempo en vehículo, sino también de la caminata, espera, transbordos, tarifa y accesibilidad. Por ello, las medidas deberán considerar infraestructura de paraderos, accesos peatonales, conectividad entre servicios, información al usuario y reducción de fricciones operativas.
- Se recomienda que los escenarios prospectivos del PMUS sean evaluados comparativamente frente al escenario tendencial mediante indicadores homogéneos, tales como carga vehicular, carga de pasajeros, grado de saturación, velocidad del transporte público, tiempo total de viaje, tiempo en vehículo, tiempo de espera, tiempo de acceso, transbordos, costo generalizado y desempeño por corredor. Esto permitirá cuantificar con mayor claridad el efecto de cada intervención.
- Respecto al transporte de carga, se recomienda evaluar medidas específicas de gestión logística urbana, considerando horarios, corredores preferentes, zonas de carga y descarga, accesos regionales y restricciones operativas diferenciadas por tipología vehicular. Esta línea de análisis permitirá reducir conflictos entre flujos de mercancías, transporte público, transporte privado y movilidad peatonal en áreas urbanas consolidadas.
- Se recomienda incorporar análisis de sensibilidad asociados a tarifas, tiempos de viaje, tiempos de espera, tiempos de acceso, penalidades por transferencia y costo generalizado en los siguientes entregables de evaluación de alternativas. Estos análisis permitirán verificar la respuesta de la demanda frente a políticas tarifarias, integración operacional, mejoras de velocidad y cambios en la calidad del servicio.
- Se recomienda institucionalizar un esquema de actualización periódica del modelo, incorporando nuevas campañas de aforos, FOV, tiempos de viaje, encuestas origen-destino, información operacional del transporte público y registros de cambios en la red vial y el uso del suelo. Esta actualización permitirá mantener la vigencia del MET como herramienta de planificación y seguimiento del PMUS.
- Para garantizar la sostenibilidad técnica del modelo, se recomienda mantener un repositorio ordenado y auditable que incluya archivos nativos de TransCAD,

VERSIÓN PRELIMINAR

matrices, redes, capas geográficas, bases de datos, parámetros, macros, resultados intermedios y salidas finales. Este repositorio deberá permitir la replicabilidad de las corridas y facilitar futuras actualizaciones por parte de la Municipalidad Provincial de Chiclayo, PROMOVILIDAD y los equipos técnicos responsables.

- Se recomienda complementar el uso del MET con estudios operacionales específicos cuando se requiera tomar decisiones de diseño detallado. El modelo estratégico es adecuado para analizar redes, corredores, escenarios y patrones agregados de movilidad, pero no reemplaza estudios de microsimulación, diseño semafórico, análisis geométrico de intersecciones, dimensionamiento operativo de rutas, ubicación definitiva de paraderos o programación detallada de servicios.
- Finalmente, se recomienda articular los resultados del modelo con un sistema de indicadores de seguimiento del PMUS, incluyendo reparto modal, tiempos de viaje, velocidad comercial, accesibilidad, cobertura del transporte público, saturación vial, seguridad vial, emisiones, calidad del espacio público y desempeño de modos sostenibles. De esta manera, el MET podrá utilizarse no solo como herramienta de diagnóstico y evaluación de escenarios, sino también como instrumento de monitoreo de la implementación del plan.

15 Bibliografía

Caliper Corporation. (s.f.). *TransCAD Transportation Planning Software*. Caliper Corporation.

Caliper Corporation. (s.f.). *TransCAD Travel Demand Modeling*. Caliper Corporation.

Caliper Corporation. (s.f.). *TransCAD User's Guide / Travel Demand Modeling Procedures*. Caliper Corporation.

Caliper Corporation. (s.f.). *GISDK: Geographic Information System Developer's Kit – TransCAD*. Caliper Corporation.

Caliper Corporation. (2025). *Some of What's New in TransCAD 10.0*. Caliper Corporation.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2025). *Guía Técnica para la Elaboración de Modelos de Transporte*. Resolución Directoral N.° 015-2025-MTC/18. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2023). *Manual para la elaboración de Planes Reguladores de Rutas*. Resolución Directoral N.° 14-2023-MTC/18. Lima, Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2024). *Manual para la elaboración de Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. Resolución Ministerial N.° 229-2024-VIVIENDA. Lima, Perú.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones; PROMOVILIDAD; KfW. (2025). *Términos de Referencia del Servicio de Consultoría para la Elaboración del Plan de Movilidad Urbana Sostenible de la ciudad de Chiclayo y actividades de comunicación y visibilidad*. Lima, Perú.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Lima, Perú.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2025). *Perú: Población total proyectada al 30 de junio de cada año, según departamento, provincia y distrito, 2018–2026*. Lima, Perú.

VERSIÓN PRELIMINAR

Municipalidad Provincial de Chiclayo. (2022). *Plan de Desarrollo Metropolitano Chiclayo–Lambayeque 2022–2032*. Chiclayo, Perú.

Municipalidad Provincial de Chiclayo. (2024). *Actualización parcial del Plan de Desarrollo Metropolitano Chiclayo–Lambayeque 2022–2042*. Chiclayo, Perú.

OpenStreetMap Contributors. (2025). *OpenStreetMap geographic data*. OpenStreetMap Foundation.

Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport*. 4th Edition. John Wiley & Sons.

Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press.

Sheffi, Y. (1985). *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods*. Prentice-Hall.

Bureau of Public Roads. (1964). *Traffic Assignment Manual*. U.S. Department of Commerce, Urban Planning Division.

Transportation Research Board. (2016). *Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.

Havers, G. E. (1970). The GEH statistic for traffic model validation. *Traffic Engineering and Control*

VERSIÓN PRELIMINAR