

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
POSTGRADO EN INGENIERÍA VIAL

www.bdigital.ula.ve

EFECTO DE LA MOTOCICLETA EN EL TRANSITO DE CORREDOR PRINCIPAL
URBANO. CASO DE ESTUDIO EN CÚCUTA-COLOMBIA

Autor:

Ing. ADRIANO ALFONSO LEMUS QUINTERO

Tutora:

Msc. Ángela Quintero Petit

Co-Tutor:

Dr. Ing. Emilio Germán Moreno González

Junio de 2021

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
POSTGRADO EN INGENIERÍA VIAL

EFFECTO DE LA MOTOCICLETA EN EL TRANSITO DE CORREDOR PRINCIPAL
URBANO. CASO DE ESTUDIO EN CÚCUTA-COLOMBIA

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al Grado de Magister Scientiae en
Ingeniería Vial

www.bdigital.ula.ve

Autor:

Ing. ADRIANO ALFONSO LEMUS QUINTERO

Tutora:

Msc. Ángela Quintero Petit

Co-Tutor:

Dr. Ing. Emilio Germán Moreno González

Junio de 2021

CONTENIDO

RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I.....	18
EL PROBLEMA	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.3 ANTECEDENTES SOBRE FACTORES DE EQUIVALENCIA-MOTO EN COLOMBIA	21
1.4 OBJETIVOS	25
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	25
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	25
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
CAPÍTULO II	30
MARCO TEÓRICO	30
2.1 NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN DE LAS MOTOCICLETAS EN COLOMBIA	30
2.2 ANTECEDENTES GENERALES	31
2.3 BASES TEÓRICAS	40
2.3.1 <i>Legislación, regulación y medidas aplicadas</i>	40
2.3.2 <i>Conceptos clave</i>	43
2.3.3 <i>Categorías de arterial según el Highway Capacity Manual (HCM2000)</i>	45
2.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES A ESTUDIAR	47
2.5 CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS SOFTWARE APLICADOS EN LA SIMULACIÓN DEL TRÁNSITO	48
2.5.1 <i>VISSIM</i>	49
2.5.2 <i>TSIS</i>	49
CAPÍTULO III.....	51
MARCO METODOLÓGICO	51
3.1 TRAMO ARTERIAL BAJO ESTUDIO Y SU CARACTERIZACIÓN	54
3.1.1 <i>Tipos de intersecciones presentes en la arterial Diagonal Santander</i>	57
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.3 CAPTACIÓN DE DATOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	60
3.3.1 <i>Conteos de volúmenes</i>	61
3.3.2 <i>Medición de velocidad con radar</i>	63
CAPITULO IV	69
PROCESAMIENTO DE DATOS Y CALIBRACION EN VISSIM.....	69
4.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	69
4.1.1 <i>Datos de entrada</i>	69
4.1.2 <i>Procedimiento general para configurar los escenarios de simulación VISSIM</i>	70
4.2. ORGANIZACIÓN DEL VOLUMEN Y SU AJUSTE PREVIO A LA CALIBRACIÓN	81

4.2.1 Promedio del volumen por franja horaria diario.....	83
4.2.2 Calibración del software VISSIM con base en el volumen.....	88
4.3 ORGANIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS (SEGÚN VARIABILIDAD DE LA PROPORCIÓN MOTOS)	
.....	93
4.3.1 Escenarios para las franjas horarias y día pico.....	93
4.3.2 Escenario para las franjas horarias y día valle.	96
4.4 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD	99
4.4.1 Regresión lineal para el ajuste de la velocidad con radar.....	99
4.5 VELOCIDAD AJUSTADA.....	103
4.5.1 VELOCIDAD AJUSTADA PARA DÍA Y HORA PICO	103
4.5.2 Velocidad ajustada para día y hora valle.....	111
4.5.3 Distribución de velocidades usadas en VISSIM.	120
CAPITULO V.....	123
SIMULACIÓN CON VISSIM.....	123
5.1 INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN CON VISSIM.....	123
5.2 RESULTADOS DE VELOCIDAD SIMULADA CON VISSIM	123
5.3 RESULTADOS SOBRE COLAS, DEMORAS, EMISIONES Y CONSUMO DE GASOLINA EN VISSIM	124
5.4 TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE SALIDA Y NUEVOS ANÁLISIS APLICADOS.....	129
5.4.1 Análisis de las medias de velocidad resultantes en VISSIM.....	129
5.4.2 Análisis descriptivo de la velocidad mediante tablas y gráficas.	129
5.5 VELOCIDADES MEDIAS VISSIM CONSIDERANDO TODOS LOS VEHÍCULOS	130
5.6 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE VELOCIDADES MEDIAS VISSIM POR TIPO DE VEHÍCULO	132
5.7 ANÁLISIS DE LA DEMORA MEDIA VISSIM SEGÚN ESCENARIO Y TRÁNSITO MIXTO	133
5.8 ANÁLISIS DE LONGITUD DE COLA MEDIA VISSIM SEGÚN ESCENARIO Y TRÁNSITO MIXTO	134
5.9 ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO DE LA ARTERIAL SEGÚN VISSIM	135
5.10 CONFIRMACIÓN DE LA CATEGORÍA DE LA ARTERIAL SEGÚN HCM.....	136
CAPITULO VI.....	138
PROCESAMIENTO DE DATOS PARA SIMULACIÓN CON TSIS	138
6.1 ESTRUCTURACIÓN Y CODIFICACIÓN DE LA RED ARTERIAL EN TSIS	138
6.1.1 Caracterización y codificación en TSIS.....	138
6.2 PARÁMETROS ADICIONALES SOBRE TRANSPORTE PÚBLICO	140
6.2.1 Codificación de rutas y demás parámetros de transporte público	140
6.2.2 Volumen de acceso en nodos externos y porcentaje de giro en nodos internos..	143
6.3 DATA SOBRE EL CONTROL DE SEMÁFORO, FASES E INTERVALOS DE TIEMPO.....	148
6.4 ESPECIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA MOTOCICLETA EN TSIS	152
CAPITULO VII	153
SIMULACIÓN EN TSIS.....	153
7.1 RESULTADOS DE VELOCIDAD SIMULADA EN TSIS	153
7.2 ORGANIZACIÓN DE VELOCIDAD SIMULADA EN TSIS POR MODO Y ENLACES DE ARTERIAL	154

7.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE COLA Y DEMORAS POR ENLACE EN TSIS	158
CAPÍTULO VIII.....	161
VALIDACIÓN RECÍPROCA DE LOS RESULTADOS SIMULADOS	161
8.1 ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS DE VELOCIDAD Y MUESTRA UTILIZADA.....	161
8.2 VALIDACIÓN MEDIANTE COMPARACIÓN DE VELOCIDADES MEDIAS DE LAS MEDICIONES	168
8.3 CALIBRACIÓN DE LONGITUD DE COLA CON DATOS REALES VS TSIS	175
8.4 FACTORES DE EQUIVALENCIA MOTO ESTIMADOS CON VELOCIDAD MEDIA Y ÁREA EFECTIVA	178
DISCUSIÓN, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	180
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	187
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	190

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para determinación de la categoría funcional y de diseño en vías arteriales urbanas	47
Tabla 2. Variables a estudiar en la investigación.....	48
Tabla 3. Chequeo de criterios para clasificar el tramo de arterial Diagonal Santander bajo estudio	55
Tabla 4. Datos de campo, determinación del volumen no calibrado en el movimiento G7 del nodo 1.....	83
Tabla 5. Datos de campo, volumen promedio en sentido Noroccidente (dentro de la franja de medición).....	84
Tabla 6. Datos de Campo, volumen promedio en sentido Suroriente (dentro de la franja de medición).....	84
Tabla 7. Datos de Campo, volumen promedio en ambos sentidos (dentro de la franja de medición).....	85
Tabla 8. Valores que determinan el factor promedio de ajuste aplicado al volumen por franjas horarias diario.....	86
Tabla 9. Datos ajustados del volumen total en sentido Noroccidente y Suroriente (ambos sentidos)	87
Tabla 10. Volúmenes ajustados para el movimiento G7 del nodo 1	87
Tabla 11. Indicadores del estadístico GEH que define la calibración según volúmenes para el software VISSIM	92
Tabla 12. Volumen ajustado con incremento + 10 % de motos, día pico	93
Tabla 13. Volumen ajustado con disminución del -10% de motos, día pico	95
Tabla 14. Volumen ajustado con incremento de +10 % de motocicletas, día valle.	96
Tabla 15. Volumen ajustado con disminución de -10 % de motocicletas, día valle.	98
Tabla 16. Velocidad de recorrido según tiempo vs distancia y velocidad captada con radar	100
Tabla 17. Datos de velocidad de recorrido V y velocidad con radar V_{Ra} para calibración	101
Tabla 18. Velocidad ajustada en día pico para el segmento P1 considerando Autos.....	104
Tabla 19. Velocidad ajustada en día pico para el segmento P2 considerando Autos.	106
Tabla 20. Velocidad ajustada en día pico para el segmento P3, considerando Autos.	109
Tabla 21. Velocidad ajustada en día valle para el segmento P1, considerando Autos	111
Tabla 22. Velocidad ajustada en día valle para el segmento P2, considerando Autos	115
Tabla 23. Velocidad ajustada en día valle para el segmento P3, considerando Autos	118
Tabla 24. Distribución estándar de velocidad por tipo de vehículo sugerida por VISSIM.	121
Tabla 25. Distribución de velocidad más idónea aplicada por tipo de vehículo en VISSIM	121
Tabla 26. Resultados de simulación en VISSIM para escenario actual del tránsito en día pico.....	125
Tabla 27. Nomenclatura asignada a cada movimiento en los reportes de salida VISSIM..	128
Tabla 28. Velocidad media VISSIM en hora pico, considerando el subtotal de vehículos en el período	130
Tabla 29. Velocidad media VISSIM en hora valle, considerando el subtotal de vehículos en el período	131

Tabla 30. Velocidad media VISSIM simulada por tipo de vehículo y distinto escenario moto para día pico	132
Tabla 31. Demora media VISSIM según escenarios de afectación motocicleta y tránsito mixto.....	133
Tabla 32. Longitud de cola media VISSIM según afectación de motocicleta y tránsito mixto	135
Tabla 33. Análisis del nivel de servicio de la arterial con VISSIM	136
Tabla 34. Nivel de servicio por categoría de arterial urbana según HCM	136
Tabla 35. Clasificación basada en la combinación de la categoría funcional y de diseño.	137
Tabla 36. Coordenadas XY trasladadas a X'Y' de cada nodo de la red Arterial.....	139
Tabla 37. Intervalo de paso por parada en cada período para el Transporte Público.....	141
Tabla 38. Ejemplo de organización del volumen y otros parámetros de entrada al software TSIS	145
Tabla 39. Resultados de simulación de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T1 de 7:00 a 8:00 horas. Autos, camiones y buses.	155
Tabla 40. Resultados de simulación de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T2 de 8:00 a 9:00 horas. Autos, camiones y buses.	155
Tabla 41. Resultados de simulación 2 de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T2 de 8:00 a 9:00 horas. Autos, camiones y buses.	155
Tabla 42. Resultados de simulación de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T1 de 7:00 a 8:00 horas. Transporte público.	156
Tabla 43. Resultados de simulación de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T2 de 8:00 a 9:00 horas. Transporte público	156
Tabla 44. Resultados de Velocidad TSIS, Periodo T1 de 7:00- 8:00 horas CM	157
Tabla 45. Resultados de Velocidad TSIS, Periodo T2 de 8:00- 9:00 horas CM	157
Tabla 46. Resultados de Cola simulada por enlace en TSIS. Con Moto_0. En el período T1 de 7:00 a 8:00 horas	159
Tabla 47. Resultados de Cola simulada por enlace en TSIS. Con Moto_0. En el período T2 de 8:00 a 9:00 horas	159
Tabla 48. Resultados de Cola promedio y máxima simulada por escenario TSIS en el período T1 de 7:00 a 8:00 horas	159
Tabla 49. Resultados de Cola promedio y máxima simulada por escenario TSIS en el período T2 de 8:00 a 9:00 horas	160
Tabla 50. Resumen de velocidad ajustada, velocidad VISSIM y velocidad TSIS en (km/h), para franjas horarias pico y enlace 1-2 (sentido Suroriente)	162
Tabla 51. Resumen de velocidad ajustada, velocidad VISSIM y velocidad TSIS en (km/h) para franja horaria pico y enlace 2-3 (sentido Suroriente)	164
Tabla 52. Resumen de velocidad ajustada, velocidad VISSIM y velocidad TSIS para franja horaria pico y enlace 3-4 (sentido Suroriente).....	167
Tabla 53. Resumen estadístico descriptivo de las mediciones de velocidad media	168
Tabla 54. Continuación del resumen estadístico para los datos de velocidad	169
Tabla 55. Análisis de varianza ANOVA.....	170
Tabla 56. Tabla de Medias e intervalos de confianza, con un nivel del 95%.....	171
Tabla 57. Resultado de la prueba de Rangos Múltiples (método: 95,0 porcentajes LSD)..	172
Tabla 58. Diferencias estimadas entre pares de medias de escenarios simulados.....	172

Tabla 59. <i>Longitud de cola TSIS por enlace en período T1 (7:00 a 8:00 h). Ambos sentidos</i>	176
Tabla 60. <i>Longitud de cola TSIS por enlace en período T1 (13:00 a 14:00 h). Ambos sentidos</i>	177
Tabla 61. <i>Longitud de cola media máxima comparada 7:00-8:00 h hacia Noroccidente ..</i>	177
Tabla 62. <i>Longitud de cola media máxima comparada 13:00-14:00 h hacia Noroccidente</i>	177
Tabla 63. <i>Longitud de cola media máxima comparada 7:00-8:00 h hacia Suroriente</i>	177
Tabla 64. <i>Longitud de cola media máxima comparada 13:00-14:00 h hacia Suroriente ...</i>	178
Tabla 65. <i>Factores de equivalencia moto estimados con los datos simulados de velocidad media VISSIM</i>	179

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localización general de la arterial bajo estudio.	57
Figura 2. Movimientos de los vehículos en intersecciones o nodos 1, 2, 3 y 4.	58
Figura 3. Esquema del diseño metodológico seguido para alcanzar los objetivos.	60
Figura 4. Aforadores preparados para realizar conteos del volumen en subtramos de la Diagonal Santander.	61
Figura 5. Formato de registro del conteo vehicular	62
Figura 6. Aforador tomando la lectura de velocidad con radar en sección intermedia de los subtramos	63
Figura 7. Formato usado para registro de velocidad con radar	65
Figura 8. Formato usado para registro de velocidad de recorrido, comparada con datos de radar.	66
Figura 9. Formato 4 Registro de intervalos y fases de semáforos	67
Figura 10. Formato usado para registro de longitud de cola	68
Figura 11. Información procesada de la red vial y calibración en VISSIM.	69
Figura 12. Pantalla de inicio en el software VISSIM.	70
Figura 13. Pantalla que ilustra el editor de red en VISSIM.	71
Figura 14. Botones de acción rápida en VISSIM.	71
Figura 15. Construcción de subred de Arterial en VISSIM	72
Figura 16. Datos asociados al enlace de arterial en VISSIM	72
Figura 17. Proceso de conexión de enlaces en intersección de la arterial.	73
Figura 18. Dimensionamiento, tipo de comportamiento en conectores VISSIM	74
Figura 19. Composición vehicular del tránsito en VISSIM	74
Figura 20. Distribución de velocidad por tipo de vehículo en VISSIM	75
Figura 21. Entrada de vehículos y flujo de acceso en VISSIM	75
Figura 22. Definición de un movimiento o ruta en VISSIM	76
Figura 23. Definición de una cadena de movimientos o ruta en VISSIM	77
Figura 24. Selección de los nodos de Arterial para definición del control en VISSIM	78
Figura 25. Áreas de conflicto, tipo de control y configuración de tiempos en VISSIM	78
Figura 26. Asignación del control de semáforo al nodo en VISSIM	79
Figura 27. Resultados en VISSIM	80
Figura 28. Resumen de resultados de velocidad en VISSIM	80
Figura 29. Movimientos en nodos 1 y 2.	81
Figura 30. Movimientos en nodos 3 y 4.	82
Figura 31. Localización de las secciones de aforo P1, P2 y P3.	84
Figura 32. Variación del volumen promedio de franjas horarias y día de medición.	87
Figura 33. Localización de conteos de volúmenes reales para aplicar el estadístico GEH.	90
Figura 34. Localización de los puntos P1, P2 y P3 para ajuste	100
Figura 35. Calibración alcanzada entre la velocidad de recorrido y velocidad con radar.	102
Figura 36. Referenciación de la distancia base para medición de velocidad de recorrido.	103
Figura 37. Tabla resumen de resultados de velocidad simulada.	124
Figura 38. Variación velocidad VISSIM versus factor de afectación moto en hora pico.	131
Figura 39. Variación velocidad VISSIM versus factor de afectación moto en hora valle.	132

Figura 40. Velocidad media VISSIM según factor de afectación moto en día pico (distinto tipo de vehículo).....	133
Figura 41. Variación de la demora media VISSIM según factor de afectación de la motocicleta.	134
Figura 42. Longitud de cola media según factor de afectación motocicleta.	135
Figura 43. Codificación y configuración geométrica de la red que contiene la Arterial estudiada.	139
Figura 44. Codificación de rutas de transporte público en la red estudiada.	141
Figura 45. Codificación de paradas 1 y 2 de transporte público.	142
Figura 46. Codificación del camino de la ruta 1 y parada 1 asociada.	143
Figura 47. Ingreso del volumen horario en nodo externo 8001 y de porcentajes de giro en nodo interno 1, durante el período T1.	143
Figura 48. Subred arterial Diagonal Santander. Volumen de ingreso por nodos externos, distribución del volumen en nodos internos 1, 2, 3, 4 y 5.....	144
Figura 49. Diseño de fases, intervalo verde, amarillo y Ciclo del semáforo en nodo 1.....	148
Figura 50. Diseño de fases, intervalo verde, amarillo y Ciclo del semáforo en el nodo 2..	149
Figura 51. Diseño de fases, intervalo verde, amarillo y Ciclo del semáforo en el nodo 3..	150
Figura 52. Diseño de fases, intervalo verde, amarillo y Ciclo del semáforo en nodo 4.....	151
Figura 53. Rango Jerk (cambio de aceleración) y desaceleración en motocicleta.	152
Figura 54. Esquema de enlaces de la Arterial analizada.	162
Figura 55. Velocidad real (ajustada) y velocidad en cada escenario vs respuesta.	173
Figura 56. Gráfica ANOM con 95% en límites de decisión.....	174
Figura 57. Localización de puntos de longitud de cola medida.	175
Figura 58. Calibración alcanzada en la longitud de cola (en vehículos). Datos reales vs datos TSIS, sin motos.	178

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1. Datos de campo, determinación del volumen no calibrados
- ANEXO 2. Volumen promedio por franja horaria
- ANEXO 3. Volumen calibrado con variación de % de motocicleta día pico
- ANEXO 4. Volumen calibrado con variación de % de motocicleta día valle
- ANEXO 5. Velocidades ajustadas día pico por segmentos
- ANEXO 6. Velocidades ajustadas día valle por segmentos
- ANEXO 7. Datos salida día pico VISSIM con factor de afectación
- ANEXO 8. Datos salida día valle VISSIM con factor de afectación
- ANEXO 9. Resultados simulaciones en TSIS
- ANEXO 10. Resultados de velocidad TSIS por periodo y por factor de afectación
- ANEXO 11. Longitud de cola por enlace ambos sentidos
- ANEXO 12. Velocidad VISSIM y TSIS franja horarias pico-valle ambos sentidos
- ANEXO 13. Resumen estadístico descriptivo de muestras de velocidad

RESUMEN

El flujo de motocicletas ha aumentado exponencialmente en los últimos años en Colombia, evidenciándose una gran tasa de crecimiento frente a otros modos de transporte urbano motorizados. El uso de la motocicleta es potenciado principalmente por su fácil adquisición, alta necesidad de sustento económico, y constituye una excelente alternativa de transporte por su economía y gran flexibilidad en viajes puerta a puerta. Sin embargo, el alto número circulando puede ocasionar afectación importante en la operatividad y en el buen desempeño del resto de vehículos, situación que puede variar, dependiendo de la infraestructura y comportamiento de los conductores en distintos lugares. Su efecto por tanto, requiere mayor comprobación frente a distinta infraestructura, a través de estudios exhaustivos considerando las medidas de eficiencia posibles en su conjunto como la velocidad, demora y longitud de cola, variables típicamente usadas para caracterizar la capacidad y el nivel de servicio, interacción difícil de describir sin ayuda de la simulación. En consecuencia, se captan parámetros clave en campo para calibrar los softwares, se plantean distintos escenarios que van desde la condición sin motos, pasando por distintos incrementos del volumen hasta el total experimentado y valores superiores, a fin de confirmar la existencia o no de sustancial variabilidad que determine factores de equivalencia-moto, es decir, se presenta un análisis de sensibilidad de los parámetros bajo tránsito mixto y por modo. La alta fricción, presencia de rutas de transporte público y motos, hacen de la Diagonal Santander un sitio idóneo en Cúcuta para realizar el estudio. La arterial es categorizada IV según HCM, donde se observa baja afectación al tránsito mixto, según el área de ocupación efectiva de la moto observada y modelo idóneo usado de otro estudio, determinan factores de 0,0 y 0,1, respectivamente.

Descriptores: arterial, motocicleta, velocidad, demoras, longitud de cola, simulación, VISSIM, TSIS.

INTRODUCCIÓN

San José de Cúcuta es el municipio y capital del departamento del Norte de Santander, en el nordeste de Colombia, frontera con la República de Venezuela. Los principales modos de transporte en esta ciudad constituyen los vehículos particulares, taxis, Uber, las denominadas busetas (transporte público, TP), camiones, motocicletas, bicicletas y peatones. La ciudad posee una limitada red urbana con ciertos corredores viales expresos que tienen una infraestructura constituida más típicamente por arteriales y avenidas. Una de las arteriales más importantes de la ciudad por su alto flujo de vehículos y alta fricción experimentada sobre todo con gran cantidad de motocicletas es la arteria principal llamada Diagonal Santander, un sitio ideal para realizar la investigación.

El último informe de la *Federación Nacional de Comerciantes* (FENALCO) y la *Asociación Nacional de Empresarios Colombianos* (ANDI) reveló que la ciudad de Cúcuta, es una de las ciudades con mayores ventas de vehículos nuevos. La ciudad reportó un crecimiento del 16,5% en julio de 2017 y destacó la venta de hasta 2.532 vehículos, entre los que destacan los vehículos de carga menor, aquellos que permiten cualquier tipo de emprendimiento por ser un modo de transporte para llevar utensilios, herramientas y demás. Estos vehículos de carga menor incluyen las camionetas tipo Vans para el transporte de mercancía y pasajeros, las camionetas pick up y camiones pequeños.

Por otra parte, el sistema de transporte público en Colombia es generalmente deficiente, el mal estado de la vialidad, alto precio de combustible y el factor de liquidez monetaria, son algunos aspectos que llevan al ciudadano a adquirir una motocicleta. El valor comercial de la motocicleta se estima en 550 USD promedio, la posibilidad de su adquisición en cuotas

mensuales inferiores a 27 USD, y gasto generado en el orden de 396 USD promedio anual que incluye consumo de gasolina, seguro y mantenimiento, son algunas razones que hacen que una persona con ingreso mensual de 1 salario mínimo legal vigente piense en la moto como solución de transporte (Dinero, 2014). Asimismo, el parque de motocicletas ha crecido experimentando una variación del 58,64 % en el mes de marzo entre 2020 y 2021 de forma global en Colombia, y un 63,8% si consideramos únicamente el departamento Norte de Santander que incluye a la ciudad de Cúcuta (Andemos, 2021). Una estadística que refleja la variación sustancial a pesar de la pandemia Covid-19 y que potencia el problema de tener hoy día un gran volumen de motos circulando por infraestructura antigua diseñada exclusivamente para vehículos motorizados de cuatro ruedas.

El estudio planteado muestra el efecto que ejerce el volumen de motocicletas circulando en el tránsito vehicular de arterial urbana, infraestructura que aún no se ha estudiado mucho y que para lograr caracterizarla, fue necesario medir parámetros clave operativos del tránsito mixto y aforo de ciertas medidas de eficiencia en distintos lugares de la arterial para poder realizar comprobaciones. Los parámetros reales captados permiten, en primera instancia, calibrar los software de simulación utilizados, y en segundo lugar, establecer un contraste con los resultados de simulación mediante VISSIM y TSIS, bajo distintos escenarios de volúmenes de moto y las condiciones actuales. La finalidad es cuantificar el efecto mediante un análisis de sensibilidad aplicado a la proporción del volumen en los parámetros propuestos evaluando lo que pase en cada escenario de simulación, determinando de esta forma, verificando si existen factores de ajuste mediante la interpretación de los resultados, que posibiliten precisar el efecto de la motocicleta en este tipo de arterial específica. Los alcances del estudio son útiles para develar si existe efecto o no del volumen de motocicletas circulando en subtramos de

arterial complejos con mucha fricción. Así, se trata de dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas soportados en los análisis que llevan al establecimiento de nuevas hipótesis o supuestos, que permitan consolidar nuevos enfoques de estudio y plantear mejoras en el tratamiento de la información que sobre motocicletas se van a tener en distintas infraestructuras actuales y en el futuro.

La investigación parte de la descripción del problema y su justificación, el estado del arte para definir objetivos, la metodología aplicada (parámetros, mediciones, softwares y métodos estadísticos), que lleven a los resultados esperados, y permitan establecer limitaciones y derivar las conclusiones principales.

Se contempla para ello, un contenido estructurado en cinco capítulos a saber; el **Capítulo I** hace referencia al planteamiento y formulación del problema donde se establecen las preguntas de investigación, los antecedentes relevantes sobre factores moto encontrados, objetivos generales y específicos, y justificación de la investigación. El **Capítulo II** muestra el marco teórico, donde destacan la normativa y reglamentación de motocicletas en Colombia, los antecedentes generales que ayudan a esclarecer la motivación, metodologías aplicadas y sustento epistemológico usado para la formulación de preguntas de investigación, las bases teóricas sobre legislación y medidas aplicadas para la circulación de motocicletas, conceptos clave, estudio de las categorías de arterial según HCM 2000, la definición de variables a estudiar y conceptualización de los software de simulación aplicados. El **Capítulo III** constituye el marco metodológico, inicia con una breve introducción y caracterización del tipo de investigación, la caracterización del tramo de estudio, diseño de la investigación, métodos de captación de datos e instrumentos de medición, los datos sobre semáforos y registro de longitud de cola. El **Capítulo IV** destaca el procesamiento de datos de volumen y velocidad,

parámetros usados para la calibración de VISSIM, la calibración se refiere al ajuste del volumen a un mejor promedio que permita visualizar los días pico y valle. La calibración se hace usando los datos de volumen aforados, un proceso que habilita al uso del software. El **Capítulo V** describe el proceso y preparación de los datos de entrada para evaluar los distintos escenarios en franjas horarias, tanto en hora pico como valle y día pico y valle con el software VISSIM, se muestran los resultados de la simulación de los escenarios y se determinan los resultados de salida. El **Capítulo VI** parte de la preparación previa, estructuración y codificación de la subred de arterial y escenarios para su posterior simulación con el software TSIS, herramienta de simulación que es usada para la validación de algunos parámetros clave obtenidos con VISSIM y así garantizar un resultado más robusto. El **Capítulo VII** muestra los resultados de simulación con TSIS que por ser extensos ocupan todo el capítulo en la descripción de los resultados más relevantes. El **Capítulo VIII** constituye el capítulo clave de cierre donde se aplican pruebas estadísticas que permiten comparar el parámetro velocidad obtenido con ambos software de simulación, por eso se llama de validación recíproca, esto para los distintos escenarios de motocicleta y la calibración TSIS usando datos de simulación y de campo de la longitud de colas. Los resultados del capítulo son tabulados en tablas y gráficas de manera continua lo que permite luego generar las recomendaciones y conclusiones.

Finalmente, se escriben los apartados dedicados a la discusión, limitaciones y conclusiones de la tesis

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El uso de motocicletas ha ido en aumento, en gran medida, gracias a la alta demanda de transporte público insatisfecha en los últimos años. En la literatura se observa un elevado crecimiento de la motocicleta frente al parque automotor de vehículos particulares, situación que, según los expertos, tiene que ver con su gran facilidad para ser adoptada como modo de transporte, por su bajo costo y mantenimiento, rápida movilidad, y alta rentabilidad, constituyéndose muchas veces inclusive, en un recurso ideal para obtener ingresos económicos directos, dado que es un modo con buena prestación de servicio que puede ofrecer tiempos de viaje muy competitivos, aspectos que en conjunto elevan su demanda, no solo para uso personal en viajes puerta a puerta, sino también, en la transportación eficiente de personas y mercancías en ciudades muy congestionadas.

Otro aspecto interesante, es el elevado índice de accesibilidad a la ciudad que proporciona a la población ubicada en la periferia, donde se hace difícil suministrar el servicio de transporte público y que también potencia su uso. En suma, la motocicleta representa un modo de transporte altamente flexible cuyo auge puede generar consecuencias negativas al potenciar la congestión, la contaminación, y generar externalidades sociales más serias como puede ser su elevada accidentalidad (Medicina legal, 2014), siendo este último aspecto quizá, el de mayor impacto en la circulación fluida de los vehículos.

Según lo planteado anteriormente, se hace necesario incorporar estudios que permitan medir los efectos de gran cantidad de motocicletas circulando en distintas infraestructuras

viales, un análisis, cuyos resultados permitan incorporar ideas en los nuevos diseños, inclusive en el contexto rural, tratando de lograr cada día una infraestructura que considere los elementos necesarios para determinar con precisión su capacidad sometida a un elevado número de motocicletas, para que esté dotada de un eficiente control con soporte en el entendimiento del desempeño de este modo emergente. En consecuencia, se debe afrontar las incidencias derivadas de una infraestructura que se declara a priori con deficiente capacidad, que no fue concebida para absorber gran cantidad de motos.

Si bien es cierto, evaluar el desplazamiento y la movilidad eficiente es una motivación que impulsa el desarrollo en las ciudades, también constituye una necesidad el potenciar al individuo en sus actividades cotidianas, económicas-sociales, tratando de que prevalezca siempre la movilidad colectiva sobre la individual. Sin embargo, la incapacidad que subyace en los servicios de transporte público provocan una cifra elevada de demanda insatisfecha, y este aspecto, determina un excesivo uso de la motocicleta que cada día requiere normarse y reglamentarse dentro de una infraestructura más organizada.

Es evidente que la ciudad evoluciona y tiende a una situación de incremento de los problemas de movilidad a todo nivel, donde destaca la elevada presencia y/o ocupación de los espacios públicos por parte de modos motorizados tales como el automóvil y la motocicleta. Situación que exige una mayor adecuación de infraestructura que regularmente opera de forma muy saturada, con alta fricción entre sus componentes, y que requiere mayor estudio. Se conoce que las externalidades producidas por el transporte y la movilidad constituyen un elevado problema de morbilidad o de afecciones directas a la salud pública generadas por contaminación ambiental y acústica, lo que además de ser una consecuencia de siniestralidad

muy silenciosa, tiene incidencia negativa importante en los aspectos socio-económicos que afectan tanto al individuo como al Estado.

1.2 Formulación del problema

Si bien es cierto, los trabajos de adecuación de infraestructura y el diseño de nuevos proyectos viales deben tener en cuenta una mejor movilidad que permita la dinamización y desarrollo económico de la ciudad, es necesario caracterizar los distintos tipos de infraestructura que en su mayoría experimentan nuevos componentes del tránsito aún no estudiados ampliamente. La reducción del tiempo de viaje en función de la más idónea capacidad de infraestructura parece ser una premisa que se debe impulsar para alcanzar una movilidad más sostenible.

Entre estos nuevos componentes del tránsito destacan los vehículos de dos ruedas, que son vehículos de menor tamaño que experimentan un franco crecimiento en su uso, y que merecen la pena ser estudiados para precisar su factor de equivalencia en vehículos ligeros, como unidad de medida principal de la capacidad, muy utilizado en la gestión y logística del tránsito. Entender cuál es el comportamiento real de la motocicleta frente a diversos tipos de vialidad parece vital, considerando los dispositivos de control y las interacciones con distintos vehículos que componen el tránsito, aún no estudiados. Se trata de mirar el desempeño de vehículos de menor tamaño entre los cuales destacan las motocicletas y bicicletas.

En consecuencia, el trabajo pretende dar un primer paso en el estudio del comportamiento del tránsito sometido al efecto de motocicletas, en particular, de arterial con cierta categoría, donde el uso de este modo de transporte se haga patente y esté inserta en un entorno urbano denso, intentando describir el efecto que produce el volumen de motos en

parámetros clave operativos del resto del tránsito. Como una guía para este estudio, se proponen algunas preguntas de partida las cuales deben ser respondidas en la investigación:

- ¿Cuál es el efecto que produce la circulación de motocicletas en los parámetros operativos del tránsito mixto en arterial urbana con cierta infraestructura o caracterización de la arterial?
- ¿Se puede obtener un factor equivalencia-moto en vehículo ligero que permita el ajuste adecuado de la capacidad en el corredor vial estudiado?
- ¿Cuál es el mayor impacto generado por el volúmen de motos circulando dentro del flujo vehicular de la arterial?

1.3 Antecedentes sobre factores de equivalencia-moto en Colombia

Siguiendo las directrices de lo planteado como problema y su formulación, se hace necesario antes de los objetivos, precisar los antecedentes más relevantes encontrados sobre factores. En este sentido, un estudio del factor de equivalencia en flujos interrumpidos en vías con pendiente del 0 % y tres canales por sentido, en Bogotá, es uno de los trabajos más recientes (Peña, 2015). La metodología se basa en el cálculo del factor de equivalencia mediante funciones que tienen variables de tránsito como demora, velocidad, área ocupada y densidad. A pesar de ser un buen aporte en procura de la obtención de un factor de equivalencia, resulta de difícil aplicación en casos donde el volumen de vehículos ligeros es el dato principal de entrada que ya debe considerar la influencia de motocicletas, tal cual, como ya se ha estudiado para el caso de camiones. El factor encontrado muestra poca variación frente al cambio del número de canales.

Velandia (2014) desarrolla criterios metodológicos para encontrar un factor de afectación en el tránsito de Bogotá, define a la motocicleta como un componente del tránsito en evolución que requiere más análisis técnico para precisar su verdadero efecto, y así tener una adecuada gestión de la movilidad y mejor definición de las políticas públicas a aplicar. Analiza los parámetros de operación del tránsito y logra un modelo velocidad–espacio válido donde se proponen relaciones que comparan la motocicleta con el automóvil. Los resultados determinan que existe relación del factor de afectación del tránsito, con la variación de velocidad de los vehículos de acuerdo a distintos flujos de tránsito. Si la velocidad de operación es baja los flujos de motocicletas tienen un comportamiento más similar al modelo peatonal que al vehicular. En el contexto de flujos más continuos con velocidades inferiores a 10 km/h, no aplica un factor en concreto, el parámetro base del análisis en estos casos obedece más bien al espacio utilizado, sin embargo, esta idea no es clara dado que las motos discurren entre filas de vehículos en cola. Es claro que en flujos con presencia de motocicletas la velocidad de operación constituye la base de análisis ya que representa una variable macroscópica que involucra otros factores como pendiente longitudinal, ancho de canales, estado del pavimento, entre otros. La variación de la velocidad de los vehículos en relación con la velocidad de la motocicleta lleva intrínseco el posible impacto que la moto ejerce. De esta forma, estudiar la velocidad y su variabilidad es un buen indicador del impacto en la fluidez del tránsito por presencia de motos y puede dar pie a obtener factores de equivalencia.

Un efecto de las motocicletas en el flujo de saturación es determinado cerca de semáforos en intersecciones con afluentes de dos canales. Sayago (2014) concluye que las motos tienen comportamiento diferenciado al resto de vehículos, estas se agrupan adelante en el afluente y también ocupan el espacio entre canales. Si el volumen de motos es inferior al 30 % de los

vehículos presentes en la intersección, la capacidad no se ve afectada, pero a partir de dicha proporción la afectación se hace evidente. Los aforos determinan que más del 50 % de motos pasan la línea del semáforo durante el intervalo verde antes de que el cuarto vehículo en cola cruce el pare, y a partir del cuarto vehículo se experimenta saturación del canal lo que coincide con lo sugerido por el Highway Capacity Manual (HCM). Los resultados demuestran que la metodología de cálculo de capacidad dada por este manual, al igual que la adoptada en Colombia, pueden aplicarse siempre y cuando se consideren los comportamientos particulares en cada ciudad, situación que debe ser explorada de cara al elevado crecimiento experimentado por la motocicleta. Según la simulación realizada con VISSIM se relaciona el porcentaje de motos con los flujos de saturación y se aplica un factor de equivalencia de 0,3 al volumen vehicular, se concluye que los resultados se ajustan más a la realidad sólo en afluentes de dos canales y se evidencia que las demoras se reducen notablemente sobredimensionando la capacidad. En este trabajo se destaca el uso de VISSIM como software de simulación que representa muy bien y de forma más real la circulación de las motos.

Yarce (2015) por su parte, determina los espacios efectivos, separación vehicular, intervalos y velocidad individual a través de videos. Posteriormente calcula el factor de equivalencia moto por cada tipo de vehículo analizado; encontrando para autos valores de 2,3 y 2,8, para el camión 3,0 y 3,5 y para el autobús de 3,7, resultados que provienen de dos tipos de corredores viales. Demuestra que existe un acelerado aumento de los volúmenes vehiculares, en especial de motocicletas, y que este fenómeno representa un problema de movilidad. Chanax (2015) realiza un estudio técnico desarrollando alternativas de ordenamiento vial para el mejoramiento del flujo vehicular. A pesar de ser una investigación foránea, demuestra que el flujo vehicular ha crecido tanto que desborda la capacidad de

avenidas y calles, principalmente en hora pico, lo que resulta similar en Colombia. Trata de generar parámetros que mejoren la evaluación del flujo vehicular, sin embargo, no genera un factor de equivalencia-moto.

En general, las motocicletas en los estudios de tránsito en Colombia son consideradas de acuerdo a dos lineamientos básicos: uno es no tener en cuenta el volumen de motos dentro de los flujos analizados, ni siquiera como proporción del tránsito total; o bien, utilizar un factor equivalencia-moto obtenidos en ciertos lugares, sin claridad de aplicación debido al tipo y características de la infraestructura de donde procede, lo que puede incidir en una aplicación errónea. Entre estos factores se encuentran el valor de 0,50 que fue obtenido en los estudios del STT de Medellín (2008) y el factor de 0,75 es encontrado en la ciudad de Manizales (Agudelo, 2006). En cuanto a investigaciones que determinen métodos para hallar el factor de equivalencia, Chandra y Sikdar (2000) proponen un concepto lógico que relaciona la velocidad de los modos que interactúan con sus áreas de ocupación efectiva. Y en cuanto a la definición del tamaño del área de ocupación efectiva Tan et al. (2018) proponen un modelo de regresión lineal polinómico que pudiese ser muy útil para establecer el debido contraste de resultados.

Según lo visto el factor motocicleta, dadas las diferentes condiciones que pueden darse en cuanto al tipo de infraestructura, comportamiento de conductores y complejidad de análisis, motiva al estudio de factores. Un elemento clave para mejorar las evaluaciones de capacidad usando parámetros más idóneos obtenidos mediante herramientas de simulación utilizadas ampliamente para evaluar el tránsito en infraestructuras complejas. Considerando que la facilidad de aplicación práctica de los resultados radica en encontrar un equivalente que esté más en función de vehículos ligeros, unidad de medida aplicada por excelencia en muchas metodologías de cálculo de capacidad y software de simulación.

Por otra parte, el comportamiento puede ser similar o disímil de acuerdo a la cultura de manejo de los conductores, lo que puede inferir un impacto adicional de la variabilidad en los resultados. Aunque esta situación no suele ser estándar, la idea central es lograr parametrizar factores de acuerdo al tipo de infraestructura de manera catalogada, que puedan ser usados de forma más práctica.

La motocicleta resulta un modo de transporte urbano interesante, altamente flexible, muy utilizado en zona urbana, y que lidera actualmente la distribución modal en muchas ciudades según aforos realizados recientemente. Por tanto, es un componente que debe ser considerado en los nuevos planes de desarrollo de ciudades y en nuevos diseños de la infraestructura vial, para fortalecer su inclusión con urgente regulación, mediante la aplicación de mejores procesos técnicos que garanticen una logística de circulación más segura, que potencie al transporte urbano en general y ayude a una mejor movilidad y prestación de servicios.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Determinar factores de equivalencia-moto mediante simulación microscópica y medición del efecto en parámetros operativos del tránsito en tramo de arterial de categoría IV, considerando para ello, distintos escenarios de variación del volumen de motocicletas.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar la arterial bajo estudio para enfocar adecuadamente la aplicabilidad de los resultados;
- Definir y seleccionar los parámetros clave de tránsito a estudiar;

- Realizar mediciones de campo y elegir los sitios potenciales para captación de parámetros reales (condición actual);
- Procesar y organizar los datos de entrada a utilizar en la calibración de los softwares de simulación;
- Simular los escenarios propuestos, esencialmente la variación del volumen de motos, desde una condición de operatividad sin moto, luego aplicando aumento progresivo de su volumen, hasta detectar cambios significativos en los parámetros del tránsito mixto;
- Comparar los parámetros y distribuciones de probabilidad del tránsito evaluado en cada simulación y de acuerdo al tipo de software implementado;
- Realizar el análisis estadístico, junto a la prueba de sensibilidad del volumen de motos, que permitan la comparación de manera robusta de todos los parámetros estudiados;
- Analizar los resultados de la prueba de sensibilidad practicada, observando efectos sobre la velocidad del tránsito mixto en general, para medir el comportamiento bajo los distintos escenarios y así precisar el desempeño del tránsito;
- Determinar si es posible obtener o no un factor de equivalencia-moto en función de los resultados y de acuerdo a la categoría de arterial analizada.

1.5 Justificación de la investigación

Según las diferentes autoridades de Colombia y expertos en la materia de tránsito, la congestión es consecuencia muchas veces de una falta de infraestructura adecuada que permita articular la ciudad para tener así una movilidad más eficiente y segura en todos sus modos.

Este aspecto de congestión que parece integral y complejo, constituye un problema principal que potencia el uso de modos de transporte motorizados de carácter más individual, como pueden ser el vehículo y la motocicleta, quienes en conjunto generan una elevada congestión.

Escobar (2015) revela que en la mayoría de ciudades del país, el 18 % de los habitantes cuentan con vehículo particular, y este constituye un porcentaje que va en ascenso cada año, mientras que el transporte público por su parte, tiende a bajar en su proporción de uso al punto que el 5% de la población prefiere movilizarse en motocicleta.

Como podemos ver, el tránsito en las principales ciudades de Colombia se ha complicado durante los últimos años, y para contrarrestar este efecto, se han implementado medidas restrictivas al tránsito de vehículos entre las que se encuentra como más difundida la denominada *pico y placa*. Medida que es acompañada con otras estrategias diseñadas para estimular el uso del transporte público y otros modos más sostenibles como el andar y la bicicleta, aún sin mucho éxito. Se observa claramente que resolver el tema de movilidad es importante para mejorar la calidad de vida y lograr mejor tiempo de desplazamiento y disminución de las externalidades, lo cual se complica, con una elevada ocupación del espacio en calle por uso de la motocicleta. Asimismo, para ejecutar un plan de movilidad urbana sostenible eficaz y que esté mejor estructurado, se debe soportar los estudios iniciales en técnicas con resultados precisos sobre los distintos modos que circulan para que la ciudad avance en el camino correcto hacia una mejor movilidad y prestación de servicio público de calidad.

Esta situación requiere el mejoramiento y adecuación urgente de las vías internas principales y de acceso a la ciudad, que vaya de la mano de un plan de reestructuración del transporte, estableciendo siempre una connotación más “colectiva” que individual, que ayude

a mejorar los desplazamientos de los ciudadanos. La ciudad necesita dar un paso gigante para lograr tener sistemas de transporte más eficientes, que estén adecuados al tamaño de sus calles y la trama de ciudad, sistemas que tengan altas posibilidades de financiación, en la medida que se justifiquen económicamente los proyectos de inversión.

En este sentido, la capacidad resulta un parámetro clave en estos estudios de soporte que requieren las vías urbanas para justificar las nuevas inversiones. Detectar el comportamiento preciso y amplio del tránsito es relevante para apoyar la toma de decisiones correctas en lo que respecta a esa restructuración, articulación de red viaria y del transporte sugerida. Es un parámetro esencial que no solo permite la adecuada gestión, logística y acomodo del tránsito a las distintas infraestructuras para que operen de forma más eficiente, sino además, facilita la confección de nuevas flotas de transporte público y su reordenación necesaria, quizá en un escenario en el cual las motocicletas invaden las calles generando un espacio muy reducido, situación potenciada por el hecho de constituir un modo de fácil acceso, de uso elevado en entornos urbanos densos. El tamaño relativamente pequeño de la motocicleta ofrece ventajas a costa de ocasionar otros efectos que pueden alterar el libre tránsito y producir mayor congestión tanto vehicular como peatonal. En contraparte, se evalúa positivamente la baja necesidad de tener grandes infraestructuras de estacionamiento para el vehículo, un primer aspecto que parece llamativo, y segundo, permite reducir el daño ocasionado a la calzada por excesivo tránsito de vehículos de cuatro ruedas. La motocicleta representa hoy día una fuente inagotable de movilidad individual que crece a un ritmo vertiginoso, ofrece tiempos más reducidos comparativamente en viajes urbanos residencia-trabajo, y permite gran accesibilidad al centro de ciudad y servicios desde zonas alejadas en la periferia (ANDI, 2017). Muchos

ciudadanos manifiestan que la moto representa una mayor calidad de vida, y por equidad, deben ser consideradas como modo emergente de transporte.

Otro aspecto es la evolución del sector de la motocicleta e impacto del uso del modo que incentiva la economía. Entre los efectos positivos a nivel socioeconómico destacan; estímulo a la producción, consumo, inversión, importación-exportación, empleo, ingreso de capital y gran contribución al PIB entre otros. Si analizamos las mejoras a nivel de usuario, la moto se consolida como un modo que por su mayor flexibilidad en viajes puerta a puerta, representa una oportunidad de empleo directo para ciudadanos de bajos recursos. En consecuencia, el uso de la motocicleta se ha generalizado en los estratos más bajos de la población, el 54% de motociclistas pertenecen a los estratos 1 y 2, lo que representa un número significativo y principal razón para catalogarla como un componente importante de inclusión social y de lucha contra la pobreza. Así, la motocicleta cada año adquiere mayor presencia en las calles lo que resulta inevitable, y experimentó un crecimiento significativo entre 2003 y 2016 de más del 200 %. Su importancia social como modo de transporte parece incuestionable dado que el 59 % de los motociclistas tienen acceso al empleo, y 32,9 % de ellos, lo hace de manera autónoma.

De acuerdo a lo analizado, existen muchas razones tanto técnicas como sociales de gran impacto que justifican la investigación y que nos motivan el encontrar un factor equivalencia-moto que permita evaluar correctamente la capacidad de tránsito que ofrece la infraestructura, considerando este modo emergente. Un factor que probablemente sea variable de acuerdo a la infraestructura específica, cuya metodología sea mediante la evaluación de parámetros clave y/o medidas de eficiencia como el volumen, la velocidad, las demoras y longitud de colas, variables macroscópicas muy usadas típicamente para caracterizar el flujo vehicular.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Normativa y reglamentación de las motocicletas en Colombia

Un boletín determina que los usuarios de motocicletas representan un componente del tránsito vulnerable en los siniestros que ocurren en la red viaria de Cúcuta, proyectándose que el 54,7 % del total de siniestros tienen personas fallecidas. Se pueden ver valores en 2017 que representan el 37,2 % y en 2018 el 42,9 %, lo que refleja una tasa de crecimiento enorme cada año en la cantidad de muertos por accidentes de tránsito (ONSV, 2019). Por su parte el RUNT (2019) informa que el parque automotor nacional es de 15.337.965 vehículos, de los cuales 8.906.554 son motocicletas en circulación, es decir, un porcentaje que representa el 58 % del parque automotor total, una proporción según los expertos de tránsito, que coincide con los resultados encontrados en los aforos rutinarios.

Las autoridades de tránsito son las que ejercen funciones específicas inherentes en el territorio de su jurisdicción. Por esta razón, los procedimientos administrativos de control de tránsito y preventivos (las sanciones) son regulados por la Ley 769 de 2002, y sólo pueden ser aplicados por la autoridad de tránsito competente. Las autoridades de tránsito en su orden jerárquico son: Ministerio de Transporte; Gobernadores y Alcaldes; Organismos de Tránsito departamentales, municipales o distritales; Policía Nacional especializada en tránsito urbano y carreteras; Inspectores de Policía; Inspectores de Tránsito; Corregidores o quien haga sus veces en cada ente territorial; Superintendencia General de Puertos y Transportes; Fuerzas militares y Agentes de Tránsito y Transporte.

La ley 1239 de 2008, modifica los artículos que tienen que ver con los límites de velocidad en vías urbanas y carreteras municipales. El decreto Ley 1421 de 1993, establece franjas delante de la cola de vehículos en intersecciones para uso exclusivo de las motocicletas, una medida replicada de otros países y que es considerada como un adelanto en materia de gestión del tránsito. Asimismo supone, canales especiales para motocicletas, existencia de Institutos de investigación del Tránsito, del Transporte y de las vías, e información emanada de estudios especiales y artículos de revistas publicados.

2.2 Antecedentes generales

Centrándose más en el análisis de lo hecho hasta ahora en la medición del efecto de la motocicleta sobre el tránsito, se ha encontrado con algunos trabajos realizados en la localidad que son relevantes para la determinación de factores de equivalencia-moto para Colombia. En general, se revisan desde investigaciones enfocadas en el estudio de canales exclusivos para motocicletas hasta trabajos que incluyen el volumen y la velocidad en función del tipo de corredor. Otras más específicas, se refieren a la aplicación de métodos para determinar factores de equivalencia en vías urbanas, donde se utilizan formulaciones que relacionan la velocidad y área efectiva ocupada dentro de la corriente de tránsito.

Peña, (2015) realizó un estudio del factor de equivalencia moto en el caso de flujos interrumpidos en vías con pendiente del 0 % y tres canales por sentido de 3,25 m. La metodología aplicada se basa en el cálculo del factor equivalencia-moto usando funciones que contienen variables de tránsito tales como demora, velocidad, área ocupada y densidad, lo que resulta poco práctico de aplicar por la cantidad de variables dependientes de estas funciones, un resultado que al no representar a único factor aplicable en forma directa al volumen de tránsito en cualquier metodología de cálculo. El factor obtenido demuestra poca variabilidad

con el cambio del número de canales, no obstante, se considera que un menor número de canales induce menos velocidad.

Velandia (2014) desarrolla criterios metodológicos para incluir el factor motocicleta en estudios de tránsito en Bogotá, define a la motocicleta como un componente del tránsito en evolución que requiere mayor análisis técnico para ver su efecto en la capacidad, y así, poder tener una adecuada gestión de la movilidad y mejor definición de políticas públicas. Partiendo del análisis de los parámetros que influyen en la operación del tránsito logra un modelo válido basado en la velocidad–espacio, proponiendo relaciones que comparan a la motocicleta con el automóvil en términos del tránsito. Los resultados determinan una relación entre el factor de afectación y la variabilidad de la velocidad de operación de los vehículos, de acuerdo con las distintas corrientes de tránsito analizadas. Se determina que a una velocidad de operación baja los flujos de motocicletas tienen un comportamiento más similar al modelo peatonal que al modelo experimentado por el resto de tránsito vehicular. En el contexto de flujos más continuos con velocidades inferiores a 10 km/h, un factor de afectación no se hace evidente, el parámetro base del análisis en estos casos obedece más bien al espacio utilizado.

Parece claro que, en flujos con presencia de motocicletas la velocidad de operación constituye la base del análisis, y esta representa una variable macroscópica con otros factores intrínsecos tales como: pendiente longitudinal, ancho de canales, estado del pavimento, entre otros. La evaluación de la variación de velocidad de la motocicleta en relación con la velocidad del vehículo describe el impacto que la motocicleta ejerce en determinado tránsito. De esta forma, el evaluar la velocidad y determinar su variación es un buen indicador de la afectación que sufre la fluidez del tránsito por circulación de motocicletas.

Sayago (2014) por su parte, determina el efecto de las motocicletas en el flujo de saturación cerca de semáforos en intersecciones con afluentes de dos canales. Concluye que las motos tienen un comportamiento diferente a los demás vehículos, la motocicleta tiende a agruparse delante en el acceso y ocupando espacio entre canales. Cuando el volumen de motocicletas es inferior al 30 % del total de vehículos presentes la capacidad no se ve afectada, a partir de dicha proporción, la afectación resulta evidente en el flujo de saturación. Los resultados de los aforos realizados determinan que más del 50 % de motos cruzan la línea del semáforo durante el intervalo verde antes que el cuarto vehículo en cola pase la línea de pare. A partir del cuarto vehículo se experimenta la saturación del canal, lo que coincide con lo sugerido por el HCM (2000), los resultados demuestran que la metodología de cálculo de capacidad sugerida por el manual norteamericano, al igual que la adoptada en Colombia, puede aplicarse si se consideran los comportamientos particulares en cada ciudad de cara al elevado crecimiento del volumen de motocicletas experimentado, lo que debe explorarse más.

De los resultados de aplicar la metodología propuesta por Sayago (2014) que relaciona el porcentaje de motos con los flujos de saturación en afluente de intersección, y el aplicar un factor de equivalencia motos de 0,3 sobre el volumen vehicular simulado con el software VISSIM, se concluye que lo encontrado se ajusta más a la realidad si el acceso es de dos canales y las demoras se reducen notablemente lo que sobredimensiona el nivel de servicio. De esta experiencia destaca el uso de VISSIM como software de validación que permite representar de manera más real el movimiento de las motos.

Yarce (2015) aplica una metodología que consiste en el cálculo de los espacios efectivos de los vehículos con muestras de videos. Se determinó en este caso las separaciones vehiculares, brechas, intervalo y velocidad individual, para posteriormente calcular los

factores de equivalencia-moto en cada tipo de vehículo analizado; encontrando para autos valores entre 2,3 y 2,8, para el camión 3,0 y 3,5 y para el autobús de 3,7, resultados que provienen de dos tipos de corredores viales carreras 63 y 64C, respectivamente. Resultado aplicable a la ciudad de Medellín donde existe un acelerado aumento en los volúmenes de motocicletas, que se traduce en un problema de movilidad.

Chanax (2015) realiza un estudio técnico donde desarrolla alternativas para el ordenamiento vial y mejoramiento del flujo vehicular en la calzada. Demuestra que el flujo vehicular en la ciudad de Guatemala ha crecido tanto que desborda la capacidad de las avenidas y calles, principalmente en hora pico. La investigación pretende generar alternativas y parámetros de solución que mejoren el flujo, dándole un mejor enfoque a la planificación y el ordenamiento vehicular en arterias y calles principales del área metropolitana. El autor no genera un estudio claro que tipifique posibles factores de equivalencia-moto que ayuden a las evaluaciones del tránsito en ciudades colombianas. Concluye que la problemática del flujo vehicular es provocada por falta de cultura, poco o nulo conocimiento en señalización del tránsito y mal comportamiento del conductor y/o peatón en el sistema vial del casco urbano. Propone soluciones cualitativas a estas deficiencias y debilidades, entre las que destacan la educación vial, la adecuada señalización en las intersecciones y la reducción de cuellos de botella en puntos específicos de la calzada. No obstante, el trabajo permite describir problemas de tránsito que parecen similares en su contexto, lo que puede predecir, que los resultados alcanzados pudiesen tener repercusiones internacionales y que tengan generalización en el futuro.

Otro aspecto relevante de discusión son las externalidades sociales generadas y posible impacto de medidas de segregación de la motocicleta del resto del tránsito. En este sentido, el

Instituto de investigación del desarrollo, prevención de la violencia y promoción de la convivencia social (CISALVA, 2013), en conjunto con el Grupo de Investigación de Tránsito, Transporte y Vías (GITTV) desarrollaron un estudio para evaluar el impacto de la implementación de una moto-vía en la ciudad de Cali, donde se estudiaron parámetros como el flujo, la velocidad y aspectos de seguridad de sus usuarios. Asimismo, se analizaron los elementos urbanísticos y de seguridad propios de la infraestructura vial de cara a la implementación de una moto-vía trazada desde la calle 70 con carrera 27 hasta la Carrera 15, infraestructura perteneciente al centro urbano. El estudio se basó en observaciones de campo, conteos y encuestas de interceptación en vía pública, seleccionando para ello, ocho puntos de observación. Se concluye que para la mayoría de motociclistas la moto-vía resulta segura y eficaz lo que permite su implementación y replicación en la región. Los incidentes de tránsito (daños a terceros, lesiones y muertes) evidencian una reducción cercana al 50 %, destacando las incidencias sin muertes. La implementación de la moto-vía parece determinante para disminuir el número de muertes en moto.

En Colombia, los análisis de volúmenes de motocicletas dentro de los estudios de tránsito se estilan bajo dos lineamientos básicos a seguir: uno es no considerar la motocicleta dentro de los estudios, ni siquiera como proporción del tránsito expresado en vehículos totales ligeros; o bien, utilizar un factor equivalencia-moto preestablecido sin soporte claro de donde proceden, y, por ende, no se conoce bien donde aplicarlo. Entre algunos factores empleados se encuentra un valor de 0,50 como factor de equivalencia-moto en vehículo liviano (STT Medellín, 2008), y el factor encontrado en la ciudad de Manizales de 0,75 (Agudelo, 2006).

En cuanto a metodologías usadas para simulación del tránsito mixto Santiago y Rath (1990), quienes desarrollan un estudio patrocinado por el Departamento de Transporte de la

Administración Federal de Carreteras de EE. UU, donde presentan un Sistema Integrado de Software de Tránsito (TSIS, de sus siglas en inglés), plataforma que contiene un conjunto avanzado de programas y modelos computacionales utilizados para la representación de cualquier infraestructura vial, donde se ponga a prueba estrategias de análisis en el control del tránsito en la red, que es clave. El sistema está soportado por un software integrador de varios modelos ampliamente usados para la simulación del tránsito y optimización de semáforos, con utilidades que facilitan la tarea en los procesos de carga y recuperación de datos sobre una red de autopistas y calles. La literatura de soporte del software proporciona información técnica que permite adaptar TSIS a cualquier necesidad de simulación donde existan detalles difíciles de recrear en prototipos informáticos. Por su alto desarrollo especializado en los temas de análisis de tránsito de autopistas, corredores viales principales y calles, este sistema se completó y fue lanzado al mercado por los centros de distribución, en específico, la Universidad de Florida (McTRANS) y la Universidad de Kansas (PCtrans), en los Estados Unidos.

De los resultados obtenidos sobre calibración de TSIS, Moreno (2006) propone una metodología orientada no solo a la calibración, sino también a alcanzar la validación de la herramienta de simulación microscópica de tránsito NETSIM, uno de los modelos soportado por TSIS, muy conocido en la buena predicción del comportamiento del tránsito en redes urbanas. El autor evalúa el potencial del software en el análisis de corredores densos con alto grado de fricción, define los alcances y limitaciones, estudiando la gran mayoría de parámetros que intervienen en la simulación del tránsito. Las mediciones fueron realizadas en días típicos laborales de la semana, considerando el tiempo de recorrido como principal parámetro a calibrar. Propone dos arteriales principales de la red urbana central de la ciudad de Mérida-

Venezuela, generando un total de 36 escenarios simulados. El tiempo de recorrido fue primero calibrado en un tramo específico de arterial, y posteriormente fue validado en otra arterial de características similares de tránsito y fricción. Al final destaca, los criterios asumidos para lograr buenos resultados en la calibración y validación, un resultado que garantiza su aplicación en el estudio de corredores urbanos.

Sánchez y Hernández (2015) realizan un análisis operacional de corredor vial que conduce al Norte de Cali en Colombia, en la zona conocida como Sameco del Departamento del Valle del Cauca. Se trata de un escenario futuro de mejoramiento usando herramienta de modelación, donde identifican la situación actual del volumen de tránsito considerando las condiciones geométricas y de volumen preexistente a través de aforos realizados en la zona de influencia. Se establece un estudio enmarcado en las franjas horarias pico donde se caracteriza el flujo vehicular y la velocidad de recorrido. Los datos recolectados se introducen en TSIS para la modelación tanto del tránsito actual como del tránsito futuro proyectado a 20 años. Se realiza la caracterización del nivel de servicio, y a partir de este escenario inicial, se plantea la implementación de un tercer carril soportado en el estudio del comportamiento del tránsito en la vía tras modificar algunas características y de acuerdo al nivel de servicio futuro. En este caso fue necesario conocer la tasa de crecimiento y las series históricas de los volúmenes en la zona para poder proyectar el tránsito. Los análisis comparativos de los resultados de las simulaciones de acuerdo a los escenarios propuestos, derivan en buenas conclusiones y recomendaciones generales, que hacen pensar en su alta viabilidad de aplicación en estudios de tránsito urbano.

Según lo visto en la literatura, la afectación de las motocicletas en el tránsito de acuerdo al estudio de velocidad obtenido en ejercicios de validación, no representa una variación

importante de acuerdo al cambio en número de canales; no obstante, se considera a menor número de canales, menor factor de afectación para velocidades bajas en la corriente de tránsito, un resultado que se debería comprobar. La aplicación de factores de equivalencia eficientes, dadas las diferentes condiciones que pueden darse, propone elaborar más estudios en distinta infraestructura, aplicando herramientas de software avanzados que permitan medir el efecto real de la motocicleta en las distintas corrientes vehiculares que se puedan dar, y que lleve a encontrar un equivalente-moto práctico en vehículos ligeros.

Por otro lado, se observa que los conductores de motocicleta realizan maniobras riesgosas que pueden inferir un impacto adicional al tránsito, que, aunque esta situación no suele ser estándar, se logre parametrizar según los análisis que se hagan. La motocicleta es un modo de transporte urbano de fácil adquisición por parte de la población, que en un escenario regular, se puede fortalecer su inclusión mediante un adecuado análisis para la consecución de normas y regulaciones que garanticen la circulación segura, lo que potenciaría el transporte en general y ayudaría a mejorar la movilidad.

Desde el punto de vista ambiental, el uso de motocicletas en vías urbanas no sólo podría disminuir las emisiones emitidas por el tránsito, sino que podría aportar en la reducción de la congestión, en el uso del espacio y operación eficiente, evidenciando desplazamientos con menores tiempos de recorrido. A este modo emergente hay que prestarle la atención necesaria, ya que representa un vehículo con ventajas competitivas, que genera un crecimiento del parque automotor importante, situación que a la postre puede inducir a los nuevos usuarios a usarla sin la concomitante eficiencia de los procesos de regulación y control del tránsito.

Cualquier medida o estrategia de regulación y control que altere el balance operativo entre el transporte público y privado debe contemplar la inclusión de la motocicleta como

elemento de transporte para que no aumenten las externalidades, genere problemas sociales que afecte la función de este vehículo en la ciudad. Las soluciones de movilidad en todo caso deben favorecer el desarrollo urbano de manera sostenible, en donde los estudios de tránsito como herramientas de análisis, no deben enfocarse sólo al vehículo particular y el camión, sino además, considere otros componentes de la movilidad urbana y actores de la misma.

La función de la administración pública debe ser integral. Antes de formular, exigir y hacer cumplir normas de tránsito o aplicar medidas que potencien la movilidad, se debe analizar las implicaciones que el cumplimiento de la misma tiene sobre la congestión y el modelo de ciudad planeado. La motocicleta es un vehículo emergente que según estadísticas de la Cámara de la Industria Automotriz de la Asociación Nacional de Empresarios (ANDI, 2017), ha crecido entre el período 2010-2016 en un 42,8 %, lo que representa una tasa de crecimiento promedio anual de 6,11 % muy significativa. Acevedo et al. (2009) proyecta para 2040, un aumento sostenido de viajes en motocicleta de la mano a un crecimiento exponencial en vehículo particular lo que hace disminuir los viajes en transporte público, una situación altamente negativa ante una mayor necesidad de transporte, gran expansión del territorio y economía informal, que no parece tener reversa, a menos que las fuerzas del mercado y gobierno lo impidan. Según datos del registro del parque automotor (RUNT, 2017) se puede deducir que el punto de inflexión entre el crecimiento de motocicletas y el de automóviles se dio en 2010, constituyendo el año en que el número de motocicletas sobrepasó el de automóviles, pasando en concreto de un 32,7 % del parque automotor total (en 2002) a un 56,2 % (en 2016) en Colombia, manteniendo una tasa de uso en zonas rurales muy similar al de zonas urbanas, en el orden de un 31,5% y 27,9% del total del parque automotor, respectivamente.

Finalmente, la revisión de literatura, exploración de resultados y antecedentes sobre metodologías aplicadas, en conjunto, definen los parámetros, criterios a seguir y planteamientos a estudiar sobre la motocicleta como modo que afecta la corriente de tránsito, en procura de, definir las acciones necesarias para obtener factores de equivalencia-moto de manera exitosa.

2.3 Bases teóricas

En este apartado se realiza un arqueo de información de carácter teórico necesario para aclarar sobre legislación y regulación de la motocicleta, medidas aplicadas, conceptos necesarios de entender y metodologías seguidas para la caracterización adecuada de la infraestructura, entre otros aspectos de interés.

2.3.1 Legislación, regulación y medidas aplicadas.

Del estudio de la legislación, normativas y entes encargados de su aplicación en materia de la gestión del tránsito, la Secretaria de Tránsito y Transporte de Cúcuta es una dependencia de la Gobernación y está encargada de dar a conocer las disposiciones del Código Nacional de Tránsito. Asimismo, es responsable de la aplicación y regulación de la norma, control y funcionamiento del tránsito y transporte terrestre público y privado. Es responsable de la movilidad eficiente de los usuarios en las diferentes vías del Municipio con el fin de reducir la accidentalidad. Por tanto, desarrolla programas y aplica medidas de regulación del tránsito entre las cuales se encuentran:

- Campañas de información para establecer cultura y conciencia ciudadana en el cumplimiento de las normas de tránsito;
- Operativos de movilidad para el control de la policía de tránsito;

- Multas y comparendos aplicados a conductores infractores;
- Promoción de la importancia del correcto uso del casco en los motociclistas;
- Regulación y ordenamiento en vía pública para garantizar el adecuado desplazamiento vehicular y peatonal, prevención, seguridad, fluidez y confort; entre ellas, la restricción "pico y placa" aplicada a vehículos particulares (automóvil, motocicleta, camioneta, camión y volqueta), a vehículos de servicio público y vehículos con matrícula extranjera;
- El día sin carro, consiste en una restricción vehicular en periodos y horarios establecidos, donde se restringe la circulación de vehículos entre las 07:00 hasta las 19:00 horas (Sistema de calidad y control interno de la Alcaldía, decreto 0239 del 04 de abril de 2017).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), los accidentes de tránsito son causantes de 1.2 millones de muertes anuales y representan la principal causa de deceso entre jóvenes de 15 a 29 años en todo el mundo. El 23 % de todas estas muertes se concentra en los motociclistas, 22 % en los peatones, y 4 % en los ciclistas. Es decir, un 49 % de todas las muertes por accidentes viales son usuarios vulnerables de la vía pública.

El Código Nacional de Tránsito Colombiano mediante la Ley 769 de 2002, regula la circulación de peatones, conductores, motociclistas y ciclistas, por vías públicas o privadas. Asimismo, la actuación y procedimientos que competen a las autoridades de tránsito, constituyéndose en los lineamientos que permiten garantizar una circulación segura. Esta Ley supone entre sus disposiciones y artículos, la obligatoriedad de transitar por canales demarcados, la utilización de canales y normas generales para bicicletas, triciclos y motocicletas. La ley 1239 de (2008) por su parte, modifica los Artículos 106 y 107 de la Ley

769 del 2 de agosto de 2002, que tiene que ver con los límites de velocidad en vías urbanas y carreteras municipales, nacionales y departamentales. El Artículo 106 se refiere a los límites de velocidad en vías urbanas y carreteras municipales, y el Artículo 107, establece los límites de velocidad autorizados en carreteras nacionales y departamentales. El Concejo Distrital propone según el Artículo 12 del Decreto Ley 1421 de (1993), las zonas adelantadas para uso exclusivo de motocicletas. En el Artículo 1, se crea el canal exclusivo para motos en las principales vías de Bogotá, que son definidos por la Secretaría de Movilidad. En el Artículo 2, se entiende por "*zonas adelantadas*" la franja paralela y contigua al paso peatonal señalizada horizontal y verticalmente. El Artículo 3 define las dimensiones y especificaciones técnicas de estas zonas y el Artículo 4, declara que cuando el semáforo está en rojo, las motocicletas deben movilizarse y disponerse por delante de los vehículos, ocupando estas franjas exclusivas.

Según el reporte de gestión de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga en 2016, se plantea como estrategia, la reorganización del flujo vehicular implementándose la demarcación horizontal de un canal preferencial para uso de motocicletas sobre la carrera 27. Los datos técnicos del tramo piloto para la circulación de las motocicletas por canal central son: longitud de 1,8 km, ancho de calzada de 10 m, tres canales de circulación, pendiente menor al 3 %, ancho de separador de 1,8 m, en una vía donde se experimentan 90.000 vehículos por día y 8.700 vehículos por hora. En concreto, se implementa un canal preferencial central en sentido Sur-Norte para mejorar el comportamiento de los motociclistas y se prevé, la participación de agentes de tránsito acompañados de un equipo de profesionales tales como psicólogos, pedagogos y licenciados en comunicación, haciéndose toda una campaña de educación en la vía. Otra ciudad como Medellín, pionera en temas de implementación de modernos sistemas de transporte, toma la iniciativa para la creación de canales piloto

especiales para uso exclusivo de las motocicletas. El objeto que se persigue es el de reducir la gran cantidad de accidentes de tránsito que ocurren en la ciudad.

2.3.2 Conceptos clave.

La infraestructura vial de una ciudad se puede representar mediante una red de arterias e intersecciones que proveen una cierta capacidad de transporte urbano. En un momento dado, las características de diseño, estructura de red y sus elementos, en conjunto con su nivel de utilización, determinan lo que generalmente se llama “nivel de servicio”, el cual puede ser representado en términos de parámetros operacionales y costos en tiempo que representa para los distintos usuarios. Dichos costos, denominados “costos de transporte” pueden ser modificados a largo plazo a través de cambios en la infraestructura, modificaciones a la estructura de red vial o el rediseño de sus elementos, que en conjunto son conocidos como proyectos de vialidad urbana.

La estimación de parámetros de tránsito es una de las labores más decisivas para el proceso de diseño y simulación de alternativas a implementar en el futuro. Sin embargo, la experiencia en Colombia no es muy amplia, por lo que se requiere emplear en muchos casos, parámetros que son estimados en otros lugares y países. Si se efectúa más estudio, en el sentido de que a posteriori se midieran algunos de los parámetros y magnitudes más importantes, podría obtenerse una valiosa experiencia que permita modificar parámetros que se utilizan en la actualidad de forma inadecuada. Sin una investigación que inicie con la estimación de valores que después se compruebe que se comportan satisfactoriamente, no es posible elaborar antecedentes para una evaluación y diseño de capacidad más fiable. Sin embargo, es importante la coherencia entre los valores que se asumen en un estudio y los que se asuman en otro. Puede que los factores encontrados hasta ahora subestimen o sobredimensionen en algún caso, y si ese error sistemático prevalece, impide las mejores decisiones. Entre los parámetros

más importantes a determinar como objetivo en trabajo futuro está la capacidad, la velocidad y demoras que permite cierto corredor vial por elevada circulación de motos.

En este contexto, es menester aclarar algunos conceptos clave para la comprensión adecuada de los resultados. El volumen y flujo, por su parte, son parámetros que cuantifican el número de vehículos que pasan sobre una sección determinada de la vía durante un intervalo de tiempo específico, ambos son valores del volumen que pasa con cierta diferencia en sus conceptos, que se definen a continuación:

- **Volumen:** número total de vehículos que pasan por una sección determinada de la vía durante un periodo de tiempo específico. El intervalo de tiempo puede ser variable, típicamente se expresa en vehículos por hora.
- **Tasa de flujo:** tasa equivalente por hora en la cual los vehículos pasan por una sección determinada de la vía durante un intervalo de tiempo menor a la hora, usualmente 15 minutos. Se puede expresar en unidades [veh/hora] teniendo en cuenta que no representa exactamente el número de vehículos por hora.

Por otro lado, para caracterizar la velocidad operativa de distintos usuarios en una vía se debe utilizar un valor representativo. Debido a la amplia diversidad de velocidades entre los modos presentes en una corriente de tránsito, los parámetros básicos de velocidad aplicables en calles urbanas son los siguientes:

- **Velocidad media:** longitud del segmento dividido entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que atraviesan el segmento estudiado, incluyendo en lo posible el menos tiempo de demora en nuestro caso, y en zona densamente urbana. Para logra este aspecto

la velocidad representativa es tomada en la parte media del subtramo lo más distante del semáforo.

- **Velocidad flujo libre:** velocidad promedio de vehículos en un segmento dado, medida en condiciones de bajo volumen, donde los conductores experimentan la velocidad deseada e hipotéticamente, no se encuentran limitados por presencia de otros vehículos o dispositivos de control de tránsito (semáforos, rotondas o señales de pare).

En tercera instancia, la demora es una importante medida del desempeño del tránsito para evaluar sus componentes en un sistema de flujo interrumpido. Existen varios tipos de demora; la demora por control es una medida principal del servicio y es aquella provocada por presencia de un dispositivo que reparte un intervalo verde de paso en intersecciones, incluye la demora por desaceleración de los vehículos llegando, el tiempo de detención, el tiempo moviéndose hacia adelante en la cola y tiempo necesario para acelerar y volver nuevamente a la velocidad deseada. Otros tipos de demora utilizados son los siguientes:

- **Demora geométrica:** aquella causada por las características geométricas de la vía.
- **Demora por incidente:** tiempo adicional de viaje experimentado por un incidente.
- **Demora por tránsito:** causada por la interacción entre vehículos, obligando a los conductores a reducir su velocidad por debajo de la velocidad en flujo libre.
- **Demora total:** sumatoria de todas las demoras mencionadas anteriormente.

2.3.3 Categorías de arterial según el Highway Capacity Manual (HCM2000).

En cuanto a las bases teóricas para categorizar la arterial estudiada se usaron los criterios más difundidos a nivel internacional, y que permiten a futuro, no sólo clasificar la arterial

estudiada sino también poder explicar las limitaciones de aplicación de los resultados alcanzados.

La determinación del nivel de servicio en vías urbanas conlleva una metodología específica que está muy desarrollada en el Highway Capacity Manual (HCM) como manual de capacidad más difundido a nivel mundial. De acuerdo a lo expresado en este documento, el nivel de servicio de una vía urbana puede determinarse mediante dos métodos a saber; el primero a través de la medición y análisis de la velocidad media de operación de los vehículos en segmentos de vía, y el segundo, a través del estudio de las demoras de los vehículos que circulan por determinada cadena de intersecciones. En este caso se trabajó con el primer método, considerando la velocidad medida en la parte media de cada segmento de la arterial junto a los datos de cada control, parámetros de entrada que son necesarios en los procesos de micro modelación con ambos software (VISSIM y TSIS).

La clasificación de vías urbanas en el HCM está dada de acuerdo a criterios específicos de su categoría funcional, la cual a su vez están asociadas a criterios dados bajo distintas categoría de diseño. Para proporcionar más claridad sobre ambos aspectos, estas categoría se conceptualizan seguidamente, y cada categoría, es detallada en la Tabla 1 donde se establecen los criterios de clasificación en el caso de arterias urbanas:

- **Categoría funcional:** permite clasificar las vías urbanas en: *arteria principal*, *arteria menor o secundaria*. Los criterios importantes para su definición son: *movilidad*, *accesibilidad* *puntos conectados* y *viajes de servicio predominantes*.

- **Categoría de diseño:** hace referencia a cuatro categorías a saber: *alta velocidad* (categoría I), *suburbana* (categoría II), *intermedia* (categoría III) y *urbana* (categoría IV). Los criterios para clasificar bajo este aspecto tienen que ver con la *densidad de accesos*, *tipo*

de arteria, estacionamiento, giros la izquierda segregados, semáforos, límite de velocidad, actividad peatonal y desarrollo urbano lateral.

Tabla 1. Criterios para determinación de la categoría funcional y de diseño en vías arteriales urbanas

CATEGORÍA FUNCIONAL				
Criterio	Arteria principal		Arteria menor	
Movilidad	Muy importante		Importante	
Accesibilidad	Muy poco importante		Sustancial	
Puntos conectados	Autopistas, centro de actividades, principales generadores de transito		Arterias principales	
Viajes de servicio predominantes	Largos entre principales puntos y generadores de viaje, de entrada, salida y de paso por la ciudad		De longitud moderada dentro de áreas geográficas relativamente pequeñas	
CATEGORÍA DE DISEÑO				
Criterio	Alta – velocidad	Suburbana	Intermedia	Urbana
Vías de entrada/densidad acceso	Muy baja densidad	Densidad baja	Densidad moderada	Alta densidad
Tipo de arteria	Varios canales divididos. No divididos o de 2 canales con berma	Varios canales divididos. No divididos o de 2 canales con berma	Varios canales divididos. No divididos o de 2 canales, un solo sentido	Dos o más canales, un solo sentido
Estacionamiento	No	No	Algunos	Significante
GI exclusivo	Si	Si	Usualmente	Algunos
Semáforos / km	1-3	2-8	6-16	10-19
Límite de velocidad km/h	72-89	64-72	48-64	40-56
Actividad peatonal	Muy poco	Poco	Algunos	Usualmente
Desarrollo urbano lateral	Densidad baja	Baja o media densidad	Densidad moderada	Alta densidad

Fuente: Chapter 10. Urban Street concepts. p 10-6 (HCM 2000)

2.4 Definición de variables a estudiar

Una variable es una característica, cualidad, magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios en el tiempo. Por tanto, puede ser objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación. Para el estudio citado, el sistema de variable puede ser de tipo cuantitativo y cualitativo, donde se tienen en cuenta otros elementos a definir tales como: población, tamaño de muestra, diseño del experimento y método de captación de datos; aspectos que son definidos y desarrollados más adelante, para alcanzar resultados válidos con suficiente soporte científico y en forma robusta. Entre las variables de estudio propuestas están:

volumen de tránsito, velocidad de recorrido, demoras, longitud de cola y nivel de servicio, como variables más esenciales para describir el comportamiento. La Tabla 2 muestra las variables a considerar para estudiar el desempeño del tránsito bajo el efecto de motocicletas, objetivo principal en la investigación.

Tabla 2. Variables a estudiar en la investigación

Variable estudiada	Unidad de medida	Descripción de la variable
Volumen de tránsito	veh/h	Número de vehículos que pasan por un punto o sección de la vía durante un periodo de tiempo específico.
Demoras	seg	Tiempo de parada de un vehículo; en cola, mientras recorre un segmento de vía o a la espera del intervalo verde para cruzar la intersección.
Longitud de cola	vehículos	Cantidad de vehículos en cola que ocupa un canal, usualmente se genera al inicio del intervalo rojo.
Velocidad de recorrido	km/h	Relación entre espacio recorrido y tiempo transcurrido por un vehículo o persona, usualmente se expresa en km/h y m/s, respectivamente.
Nivel de servicio	A,B,C,D,E,F (HCM)	Calidad de servicio; describe las condiciones de operación del flujo vehicular y otras variables enmarcadas por un rango de valores, según apreciación de los motoristas y/o pasajeros.

2.5 Conceptualización de los software aplicados en la simulación del tránsito

Dentro de algunos de los software más avanzados en la simulación de tránsito se encuentran algunos, que aunque no son los únicos que existen, se tienen a disposición para el estudio propuesto. El usar ambos software puede ser clave en la validación reciproca de los resultados y así darle mayor robustez.

2.5.1 VISSIM.

En primera instancia tenemos a VISSIM, una herramienta de software para la simulación microscópica y multimodal del tránsito, desarrollada por la empresa Planung Transport Verkehr AG en Karlsruhe, Alemania. Su acrónimo deriva de la expresión en alemán “Verkehr In Städten - SIMulation”, en castellano “Simulación de tránsito en ciudades”. El fundamento teórico de VISSIM se sitúa en la universidad de Karlsruhe en los años 80 y su primera aparición como herramienta comercial en entorno Windows de Microsoft fue en el año 1992, con la versión 2.03.

Actualmente lidera el mercado mundial y constituye un modelo de micro simulación de componentes del tránsito (vehículos, bicicletas, peatones, etc.). Sus características (físicas y psicológicas) y su interacción mutua y con elementos viales son modelizadas con reglas, algoritmos y modelos de comportamiento. Es un modelo de micro simulación del tránsito dinámico (que evoluciona en el tiempo), discreto (el estado de las variables cambia instantáneamente en tiempos puntuales, normalmente fijos) y estocástico (con resultados aleatorios).

2.5.2 TSIS.

NETSIM-CORSIM que está soportado en el Traffic Software Integrated System TSIS es un programa de simulación de tránsito microscópico diseñado para red de calles urbanas, de autopistas y sistemas combinados calles-autopistas. Permite definir y administrar proyectos para análisis del tránsito sobre una red codificada que da facilidad para el acceso de los datos para ejecutar la simulación basada en modelos y generar resultados complejos que pueden ser luego interpretados. TSIS representa un Sistema Integrador de Softwares de simulación y optimización del tránsito en una red soportada por una *Graphical User Interface* (GUI) y un

editor de datos de entrada conocido como TRAFEDIT. Para el desarrollo del análisis se ha usado la última versión TSIS 6.3 y actualizaciones recientes en 2021. Contiene mejoras que incluyen el editor de calles, de autopistas, carriles HOT, plazas de peaje avanzadas, alineación interactiva de canales en TSIS Next, control de cruce adaptativo y correcciones de errores, entre otras novedades.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El enfoque del problema planteado supone estudiar herramientas y métodos que permitan obtener buenos resultados en la consecución del objetivo. Medir el efecto de las motocicletas sobre el resto del tránsito en una arteria principal urbana con diversos tipos de vehículos y flujos de tránsito, requiere realizar un trabajo arduo de planeación para garantizar que las variables fundamentales que sean captadas permitan el éxito esperado. La caracterización del buen o mal desempeño del tránsito frente a un incremento vertiginoso de motocicletas, aunado al hecho de que los conductores no siguen unas reglas claras y seguras, son aspectos que obligan a medir con exactitud las variables y llegar a determinar un efecto real de este fenómeno. Las motocicletas son capaces de rebasar los vehículos desde cualquier parte de la calzada mientras haya lugar para hacerlo y considerando los distintos arreglos de los vehículos en la calle. Esto hace que los movimientos sean impredecibles, lo que al final puede producir maniobras riesgosas con alta probabilidad de accidente, donde se ven involucrados tanto vehículos como peatones.

En cuanto a la naturaleza de investigación y metodología científica Cervo y Alcino (1980) definen la investigación como una actividad encaminada a la solución de problemas con el objetivo de hallar respuestas a preguntas formuladas mediante el empleo de métodos científicos. Por consiguiente, la investigación implica el descubrimiento de algún aspecto de la realidad que produce un nuevo conocimiento de aplicación inmediata e implica la solución de un problema. Fidias (2006) aclara que el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio. El nivel de investigación que

se aborda en este caso es de tipo resolutivo y está encaminado a la explicación detallada del fenómeno de tránsito que representa la motocicleta y será evaluado mediante métodos científicos.

La metodología implementada se define de tipo cuantitativo, donde se pretende coleccionar y analizar datos primarios procedentes de campo que permitan realizar los análisis. Para tal fin se tienen en cuenta elementos clave como: población, muestra, diseño del experimento, métodos de captación de datos y valoración estadística; partes del análisis que deben ser bien definidos para alcanzar resultados válidos y robustos. La revisión bibliográfica resulta útil para este fin, la obtención de la información primaria y secundaria es soportada por el material investigativo proveniente de libros, artículos de revista, manuales, códigos y decretos sobre reglamentación del tránsito para entender aspectos de su comportamiento. La calidad de los datos de campo es valorada antes de ser introducida en los softwares de simulación utilizados (VISSIM y TSIS en este caso), lo que requiere procesar una cantidad de datos detallados de la Arterial que deben ser rigurosamente tratados antes y después de cada ejecución de los escenarios, con la finalidad de obtener resultados que puedan ser luego modelados en gráficas, e interpretados, mediante pruebas estadísticas.

En general, el aspecto estructural de la investigación obliga a considerar los siguientes componentes y etapas relevantes:

- **Población:** red de infraestructura vial de la ciudad de Cúcuta-Colombia;
- **Muestra:** tramo de arterial urbano de la red de infraestructura vial de la ciudad de Cúcuta-Colombia que incluye todas características de red urbana circundante;

- **Captación de datos:** los procedimientos llevados a cabo para lograr la captura de datos cuantitativos necesarios sobre el corredor; implica la obtención de variables como: volumen, tiempo de recorrido, velocidad, demoras, longitud de colas, etc;
- **Análisis de datos:** implica la organización previa de los datos de campo, y de entrada a cada simulación, su posterior análisis estadístico con pruebas de validez de los resultados;
- **Resultados:** consecuencia directa que representa la culminación de cada proceso, es el análisis sustancialmente comparativo de los distintos escenarios para dar respuesta a las preguntas de investigación y objetivos, que definan no solo el propio alcance e impacto, sino futuros desarrollos de investigación.

La población bien pudiese representar la red viaria de la ciudad entera, y la muestra representa un corredor vial principal inserto en la ciudad, tramo de arterial que se ha elegido teniendo en cuenta los criterios esenciales a estudiar y que implica variables como velocidad, accesibilidad, infraestructura vial y peatonal, circulación de distintos vehículos, lo que incluye especialmente a la motocicleta.

La metodología propuesta para hallar un factor de equivalencia-moto que permita un mejor ajuste de la capacidad en vías urbanas con alta circulación de motocicletas, será aplicada a una vía urbana de categoría IV según el HCM, equiparable a una vía con velocidades entre 10 y 100 km/h, concebida por el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2013) en Colombia, como vías de flujo discontinuo propio de vías urbanas.

3.1 Tramo arterial bajo estudio y su caracterización

Según el plan de ordenamiento territorial del municipio de San José de Cúcuta, el sistema de red vial central se subdivide en tres grandes clases; sistema principal, secundario y terciario. La localización del estudio se da dentro de un sistema de red urbana donde la arterial *Diagonal Santander* constituye un tramo importante, comprendido entre la intersección Avenida 2 con Calle 5 e intersección Arterial Diagonal con Calle 9, es uno de los tramos más cargados de motocicletas inserto en la red central urbana donde el entorno es de crecimiento desordenado, aspecto muy característico del centro de ciudad. La arterial tiene poca articulación con su red colindante, lo que repercute negativamente en la movilidad.

En función del planteamiento de futuras soluciones para este eje principal de movilidad, se prevé incorporar iniciativas diversas que van desde la ejecución de grandes proyectos para lograr la gestión y consolidación de un sistema de transporte colectivo a gran escala y nuevo terminal de transportes, hasta obras de mantenimiento y mejoramiento de la vialidad. Además, se debe reorganizar la ciudad estableciendo el control y vigilancia de rutas metropolitanas, e incluso, la implementación de medidas que aporten a la cultura ciudadana sobre sostenibilidad y permita mayor uso de espacio público.

El tramo de arterial estudiada se corresponde con una vía urbana tipo expresa que alimenta el sistema principal de la ciudad, y aunque está destinada a dar movilidad, en algunos tramos de ella se aprecia el constante estacionamiento de vehículos en un costado y alta fricción. En la Tabla 3 se indican los criterios definidos para clasificar la arterial urbana estudiada de acuerdo a su categoría funcional y de diseño. Chequeando cada uno de los criterios dados en la Tabla 1 anterior, se identifican los criterios en cuanto a la categoría funcional y de diseño de la arterial *Diagonal Santander*.

Tabla 3. *Chequeo de criterios para clasificar el tramo de arterial Diagonal Santander bajo estudio*

En cuanto a categoría funcional	En cuanto a categoría de diseño
✓ Movilidad importante, vía expresa urbana que alimenta el resto del sistema	✓ Alta densidad acceso
✓ Da acceso sustancial, demasiados accesos y salidas	✓ Arteria de 2 canales
✓ Conecta con arterial principal como es el caso de la Avenida Cero	✓ Estacionamiento en la calle, eventual en algunos casos
✓ Viajes de longitud moderada dentro de la ciudad.	✓ Giros a la izquierda exclusivos; algunos casos movimientos G1 y G9
	✓ Semáforos / km valor entre 10-19
	✓ Velocidad máxima de 42,49 km/h, valor dentro del rango 40-56 km/h
	✓ Usual actividad peatonal
	✓ Desarrollo lateral denso; comercio, centros recreativos, educativos (oficina de transporte urbano, Estadio, centro olímpico, Universidad de Pamplona, entre otros).

Se debe seleccionar un tramo con características idóneas que permita obtener buenos resultados en la cuantificación precisa el efecto de la motocicleta, un lugar donde se pueda observar el comportamiento de las variables clave para medir el desempeño del resto de vehículos involucrados en la corriente de tránsito. En consecuencia, se debe seleccionar un tramo de vía donde se manifieste un flujo discontinuo por efecto de control de semáforo, que represente una vía principal urbana con gran flujo de vehículos compuesto por distintos modos de transporte, que incluya especialmente gran cantidad de motocicletas circulando a lo largo

del tramo de arterial estudiado, es decir, que sea una zona propicia para realizar las mediciones del grado de afectación que tiene este modo particular.

En este sentido, una vez fue visualizada la ciudad mediante exploración directa, se determina que la arterial denominada *Diagonal Santander* cumple los criterios esenciales de estudio antes enunciados. La arterial compone la red vial de mayor jerarquía en Cúcuta y constituye un corredor importante que sirve a la movilidad y accesibilidad en pleno ámbito urbano. Se seleccionó un tramo arterial de casi un kilómetro, que presenta dificultades en el tránsito diario con presencia de motocicletas, transporte público, donde se tomaron todas las variables por sentido de circulación aplicando aforos por tipo de vehículo.

De esta forma, se corresponde con una vía tipo *Arterial de categoría IV* según los criterios de clasificación estudiados del *Highway Capacity Manual* de los EE. UU (HCM, 2000). Por otra parte, según el acuerdo 089 de la Alcaldía de Cúcuta en el Norte de Santander (2011), la arterial *Diagonal Santander* conforma el sistema de red urbana de movilidad más importante que conecta el centro de la ciudad con nodos clave circundantes y es lugar de concentración importante de actividades económicas a mayor escala. Por esta razón, su perfil de tránsito, capacidad del viario y escala de conexión están orientados en teoría, a permitir un tránsito con fluidez para garantizar alta movilidad y buenos estándares de desempeño.

La arterial *Diagonal Santander* cuenta con dos canales por sentido y separador central. Su forma dentro de la red de la ciudad, representa un eje vial trazado en diagonal y en dirección Noroccidente – Suroriente, de allí el origen de su nombre. La figura 1 muestra el mapa de ubicación de la arteria a estudiar, donde se visualiza un entorno urbano de densidad variable y un esquema en planta más detallado de cada intersección con sus afluentes que determinan los movimientos y cruces difíciles que están involucrados.

Como se puede observar, la longitud de arterial estudiada denota la existencia de cuatro intersecciones con control de semáforo prefijado y una tipología de intersección en cruz con infinidad de accesos a nivel que no siguen la forma tradicional ortogonal, una forma ocasionada por la misma trazabilidad de la arteria diagonal dentro de una red reticular típica de zonas urbanas americanas.

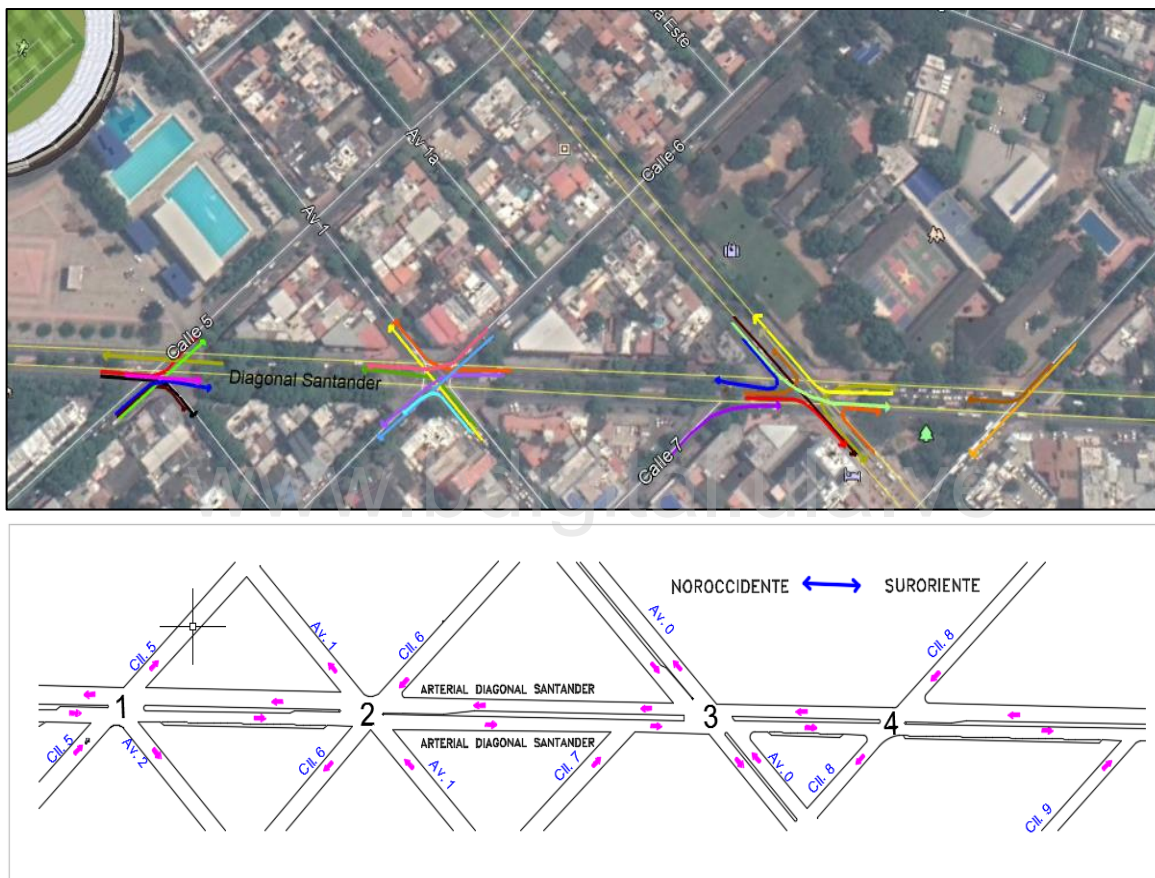


Figura 1 - Localización general de la arterial bajo estudio.

Fuente: Google Earth - AutoCad

3.1.1 Tipos de intersecciones presentes en la arterial Diagonal Santander

El tramo de arterial delimitado por cuatro intersecciones consecutivas que denotaremos con los números 1, 2, 3 y 4, son intersecciones controladas por semáforos de tiempo prefijado, en cuanto al funcionamiento y diseño de sus fases. La Figura 2 muestra en detalle todos los

nodos (intersecciones) y de acuerdo a la forma como confluyen los afluentes se describen los movimientos de giro que se permiten.

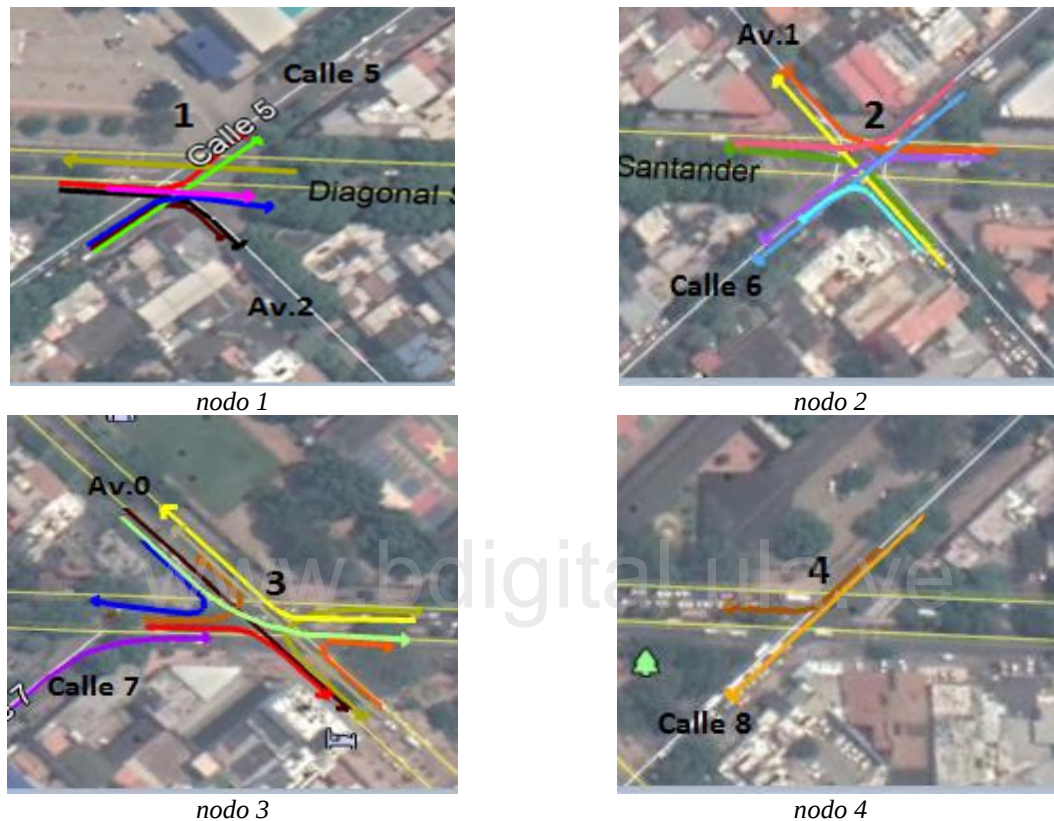


Figura 2. Movimientos de los vehículos en intersecciones o nodos 1, 2, 3 y 4.
Fuente: Google Earth

Las intersecciones están dispuestas a lo largo de la arterial con separación variable y la caracterización de estos nodos, afluentes que convergen y giros permitidos, son detallados:

- **Nodo 1:** Cruce de los afluentes en Calle 5, Avenida 2 y Diagonal Santander;
- **Nodo 2:** Cruce de los afluentes en Calle 6, Avenida 1 y Diagonal Santander;
- **Nodo 3:** Uno de los nodos más complejos; representa el cruce de Calle 7 con Avenida Cero y Diagonal Santander, estas últimas calles son vías de mayor jerarquía;

- **Nodo 4:** Constituye un cruce más sencillo a la salida del tramo estudiado, donde la Calle 8 converge con la Diagonal Santander.

Es de hacer notar, vistos los esquemas de giro permitidos en cada nodo, la alta complejidad en la circulación que estos movimientos experimentan y los demás problemas añadidos que se pueden evidenciar a nivel del control eficiente del paso por las intersecciones.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación o la estrategia a seguir para resolver el problema está determinado por el origen de los datos, los cuales hemos dicho que pueden ser primarios o secundarios. Se logra la recolección de información de datos cuantitativos directamente en el tramo de vía seleccionado captando la realidad del comportamiento de los parámetros, recordando como variables a estimar: el volumen, la velocidad y tiempo de recorrido, demora, y longitud de cola, esencialmente.

Esta información primaria se colecta en distintos subtramos dentro del tramo de arterial seleccionado para tener una variedad de puntos o secciones de medición, donde se prevé la existencia de dos canales, intersecciones con control de semáforo distante e importante circulación de motocicletas. En este sentido, Sabino (2002) propone para las labores de campo distintas herramientas de captación como encuestas, estudio de casos y validación de la información después de haberse levantado. La revisión documental se enfoca, como ya hemos dicho, en el análisis de manuales y contenido bibliográfico que permite construir la información necesaria para interpretar el camino a seguir en el alcance del objetivo. Incluye notoriamente tanto las herramientas de construcción manual, y aquellas informáticas, que ayuden a describir un análisis más complejo practicado sobre el tránsito y distintas variables

en los escenarios propuestos. Entre las herramientas informáticas destacan los softwares VISSIM y TSIS, recursos de análisis del tránsito. La figura 3 muestra, en este caso, el esquema de diseño metodológico seguido en la investigación.

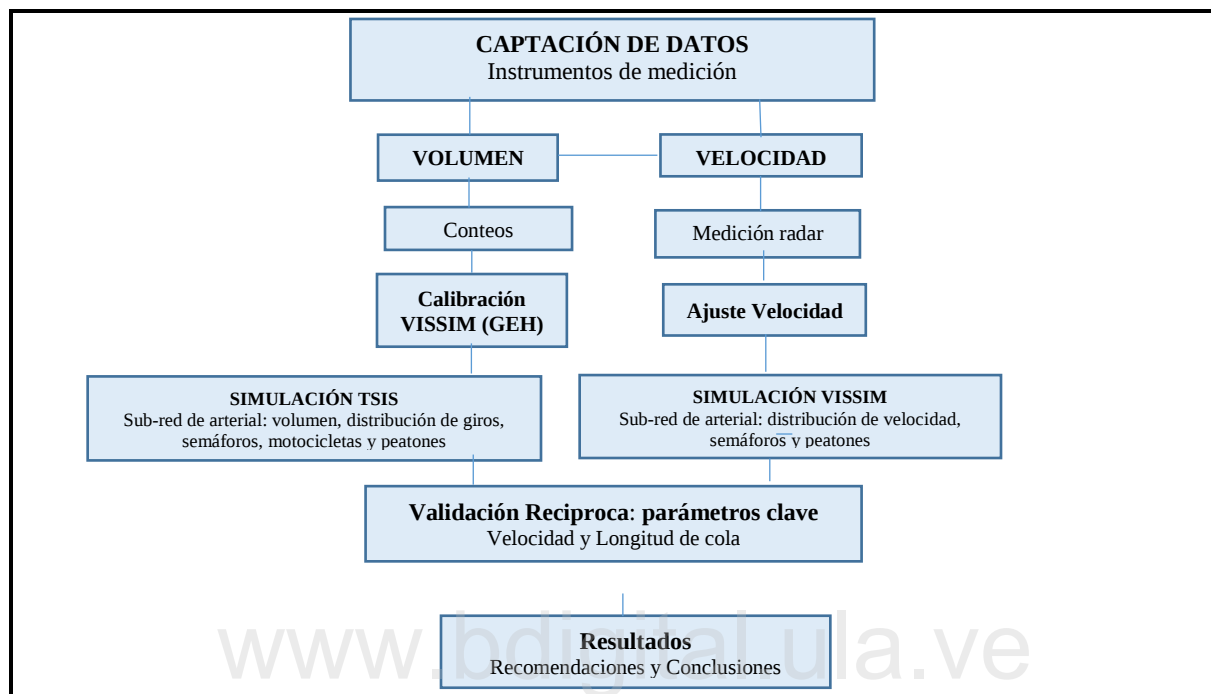


Figura 3. Esquema del diseño metodológico seguido para alcanzar los objetivos.

3.3 Captación de datos e instrumentos de medición

La técnica de recolección de los datos implica la observación directa en campo y esta se desarrolló de la manera siguiente:

Se ubican dentro del tramo a estudiar los subtramos de arterial a medir, se definen las longitudes y posteriormente se hace un reconocimiento de las variables de la intersección que implican, control y diseño del semáforo, ubicación y funcionamiento de paradas de transporte público en los enlaces, existencia de bahías, anchos de calzada, y todos los aspectos de geometría de calle.

En esta etapa se realiza también el conteo manual de vehículos y peatones durante una semana laboral. Los instrumentos que fueron diseñados y aplicados de manera específica, se muestran y explican más adelante, con ellos se recoge toda la data necesaria para tener cada parámetro o variable necesaria para los estudios.

3.3.1 Conteos de volúmenes

Los conteos se realizaron para los diferentes movimientos permitidos en intersecciones o nodos descritos sobre la arterial, con la finalidad de determinar la distribución del tránsito por modo de transporte en cada nodo, obteniéndose también el volumen total de vehículos que entran y salen de la arterial por los distintos nodos externos, y demás valores que son necesarios en los procesos de simulación de la subred de arterial.

En la figura 4 se observan los aforadores entrenados previamente para realizar las labores de toma de datos de los volúmenes de tránsito.



Figura 4. Aforadores preparados para realizar conteos del volumen en subtramos de la Diagonal Santander.

Los instrumentos de recolección de la información de tránsito fueron diseñados especialmente, bajo distintos formatos y estos son explicados seguidamente:

▪ Formato usado para registro de datos del conteo vehicular

El instrumento utilizado en el conteo vehicular es un formato probado en la práctica para registrar el tránsito de acuerdo al modo, sentido de circulación y localización de la medida.

Los criterios a evaluar están descritos detalladamente a pie del formato. Véase la figura 5.

	1 "EFECTO DE LA MOTOCICLETA EN EL TRÁNSITO DE CORREDOR PRINCIPAL URBANO CASO DE ESTUDIO EN CUCUTA - COLOMBIA" 2					
	3 ADRIANO ALFONSO LEMUS QUINTERO TESISTA POSGRADO MAESTRIA EN INGENIERIA VIAL UNIVERSIDAD DE LOS ANDES MÉRIDA VENEZUELA					
	4 Formato Aforo Vehicular					
	5 Sentido			9 Fecha		
	6 Clima			10 Ubicación		
7 Aforador			11 Aforador			
8 Coordinador			11 Tramo de Carretera			
12 Hora	13 					
	14 Automoviles	TP (B600- B900)	Camiones C2-P	Camiones C2-G	Motocicletas	Bicicletas
						
Peatones						
(Empty grid for data recording)						
15 OBSERVACIONES:						

1 Icono Universidad de Los Andes 2 Título y lugar de la medición 3 Autor de la investigación 4 Tipo de formato 5 Sentido o movimiento del flujo vehicular 6 Clima, estado del tiempo durante la medición 7 Aforador, quien realiza la medición 8 Coordinador (autor) 9 Fecha y día de medición 10 Ubicación (ciudad) donde se realiza la medición 11 Tramo, punto o localización del aforador 12 Hora, Intervalo de medición 13 Figura del tipo de vehículo 14 Especificación del tipo de vehículo 15 Observaciones.

Figura 5. Formato de registro del conteo vehicular

3.3.2 Medición de velocidad con radar.

Se realiza la captación de velocidad en campo mediante uso del radar, y para ello, se toman en cuenta los puntos intermedios en tres segmentos distintos por sentido analizado, subtramos distantes de las intersecciones, evitando efectos de frenado y generación de colas muy próximas al semáforo, considerando los distintos tipos de vehículos y condiciones prevalecientes de circulación. Para este registro se emplea al igual que en el proceso anterior de conteos, un formato especial, las velocidades son obtenidas con radar y simultáneamente de forma manual.

Las velocidades captadas con radar son ajustadas de acuerdo a los datos de velocidad obtenidos con la técnica de Distancia fija versus Tiempo, medición simultanea realizada entre puntos fijos del recorrido. En suma, la velocidad requiere formatos específicos; uno para registro de las velocidades con radar y otro para los datos que permiten el cálculo de velocidad de recorrido. La figura 6 muestra el aforador de velocidad con radar en campo.

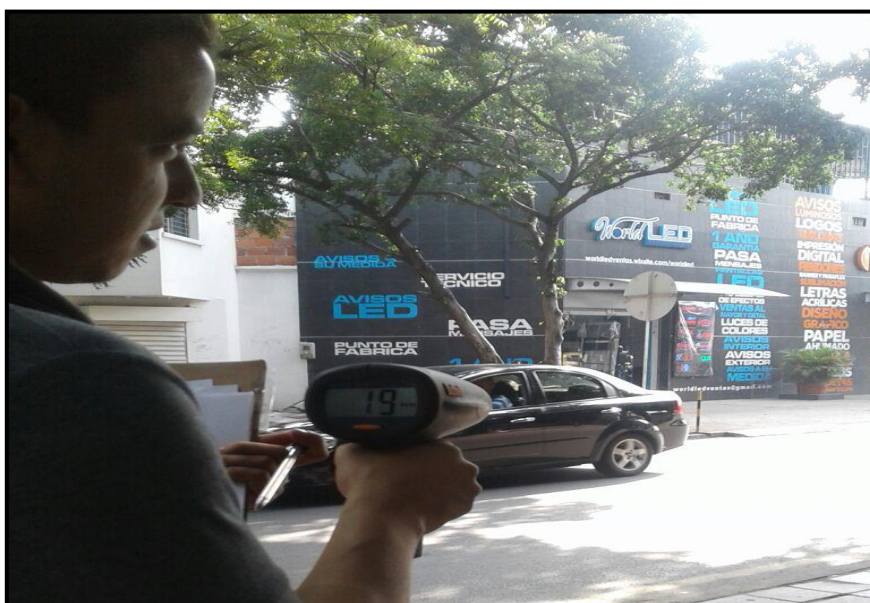


Figura 6. Aforador tomando la lectura de velocidad con radar en sección intermedia de los subtramos

▪ Formato usado para registro de datos de velocidad con radar

El instrumento usado para el registro de velocidad con radar permite identificar la velocidad puntual por tipo de vehículo, valor que, tomado en medio del segmento analizado equipararse a la velocidad espacial de los vehículos considerando el recorrido en el segmento. La figura 7 muestra el detalle del formato utilizado.

		1 EFECTO DE LA MOTOCICLETA EN EL TRÁNSITO ACTUAL DE CORREDOR PRINCIPAL URBANO CASO DE ESTUDIO EN CUCUTA - COLOMBIA"				2
		ADRIANO ALFONSO LEMUS QUINTERO TESISISTA POSGRADO MAESTRIA EN INGENIERIA VIAL UNIVERSIDAD DE LOS ANDES MÉRIDA VENEZUELA				3
4 Formato registro de Velocidad						
5 Fecha		6 Hora				
7 Clima		8 Tramo de estudio				
9 Sentido						
10 Aforador						
11 Coordinador						
12 Características de la Vía						
13						
14						
13 Tipo de vehiculo		14 Registro de Velocidad		15		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
15 Observaciones						

1 Logo de la Universidad 2 Título y lugar de medición 3 Autor de la investigación 4 Tipo de formato 5 Fecha del día de medición 6 Hora, intervalo de tiempo de medición 7 Clima, estado del tiempo de medición 8 Tramo, punto o localización del aforador 9 Sentido o movimiento del flujo vehicular 10 Aforador, quien realiza la medición 11 Coordinador (autor) 12 Característica de la vía, el tipo y condiciones de la misma 13 Tipo de vehículo 14 Velocidad tomada con radar Bushel 15 Observaciones, cualquier novedad o inquietud será registrada en este campo.

Figura 7. Formato usado para registro de velocidad con radar

- **Formato usado para registro de velocidad de recorrido**

Este formato sirve para la toma de datos requeridos en el cálculo de la velocidad de recorrido, facilita no solo el cálculo de la velocidad de recorrido sino además incorpora la velocidad con radar a los efectos de procesar el ajuste del parámetro definitivo de velocidad a utilizarse en el proceso de simulación más adelante. Véase la figura 8.

[illegible]

1 Logo de la Universidad 2 Título y lugar de medición 3 Autor de la investigación 4 Tipo de formato 5 Fecha del día de medición 6 Ruta o lugar de medición 7 Aforador, quien realiza la medición 8 Coordinador (autor) 9 Clima, estado del tiempo durante la medición 10 Ubicación, registro de dirección y ciudad donde se realiza la medición 11 Punto de inicio del recorrido del vehículo 12 Punto final de recorrido del vehículo 13 Tiempo de recorrido 14 Distancia de recorrido en el sentido del flujo vehicular (m) 15 Velocidad de recorrido, se calcula dividiendo la casilla 11 entre la 12 16 Velocidad capturada con el radar Bushel 17 Incidencias durante la medición. 18. Códigos de incidencias.

Figura 8. Formato usado para registro de velocidad de recorrido, comparada con datos de radar.

Datos sobre semáforos y registro de la longitud de cola

Para incorporar el efecto de semáforos, se registran los parámetros de funcionamiento bajo la condición actual, datos invariantes en escenarios de simulación por el tipo de semáforo. Esencialmente, se registran los intervalos en cada fase del semáforo en tiempos fijos.

Formato usado para registro de intervalos del semáforo

Permite el acopio de información sobre datos del semáforo. Véase la figura 9.

		EFFECTO DE LA MOTOCICLETA EN EL TRÁNSITO ACTUAL DE CORREDOR PRINCIPAL URBANO CASO DE ESTUDIO EN CUCUTA - COLOMBIA"			2
		ADRIANO ALFONSO LEMUS QUINTERO			3
		TESISTA POSGRADO MAESTRIA EN INGENIERIA VIAL UNIVERSIDAD DE LOS ANDES MÉRIDA VENEZUELA			4
Formato Registro de tiempo y fases de semáforo					
Fecha	5		Clima	9	
Ruta	6		Ubicación	10	
Aforador	7				
Aforador	8				
Coordinador	11	12			13
Ubicación	Tiempo de semaforo en amarillo	Tiempo de semaforo en verde	Tiempo de semaforo en rojo	Tiempo total	
Observaciones:					14

1 Icono de la Universidad 2 Título y lugar de medición 3 Autor de la investigación 4 Tipo de formato 5 Fecha del día de medición 6 Ruta o lugar de medición 7 Aforador, quien realiza la medición 8 Coordinador (autor) 9 Clima, estado del tiempo de la medición 10 Ubicación, registro de dirección y ciudad donde se realiza medición 11 Ubicación del semáforo 12 Tiempos amarillo, rojo, verde 13 Tiempo total la sumatoria de los tiempos amarillo, verde y rojo 14 Observaciones, cualquier novedad o inquietud será registrada en este campo

Figura 9. Formato 4 Registro de intervalos y fases de semáforos

- **Formato usado para registro de la longitud de cola**

Se prevé el registro del número de vehículos en cola simultáneo a la medición del resto de parámetros en cada subtramo de arterial, son los vehículos que quedan al final del periodo t_3 (que inicia en amarillo) justo después que el último vehículo cruce, constituye la demanda acumulada insatisfecha durante el periodo $t_2 + t_3$, un parámetro clave para la calibración.

[illegible]

1 Icono de la Universidad 2 Título y lugar de la medición 3 Autor de la investigación 4 Tipo de formato 5 Sentido orientación 6 Clima, estado del tiempo durante la medición 7 Aforador, quien realiza la medición 8 Coordinador (autor) 9 Fecha del día de medición 10 Ubicación.

registro de dirección y ciudad donde se realiza la investigación **11** Tramo de carretera, lugar de la arterial donde se toma la muestra **12** Tipo de vehículo **13** Canal de medición de la cola.

Figura 10. *Formato usado para registro de longitud de cola*

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO IV

PROCESAMIENTO DE DATOS Y CALIBRACION EN VISSIM

4.1 Procesamiento de la información

Después de la captación de datos sigue el proceso de tratamiento de los mismos en forma de tabulación, a manera de resumen en material continuo, para posteriormente desarrollar el análisis estadístico e interpretación de los resultados. La información en VISSIM implica distintos aspectos presentes en el subsistema de la red vial. Véase la figura 11.

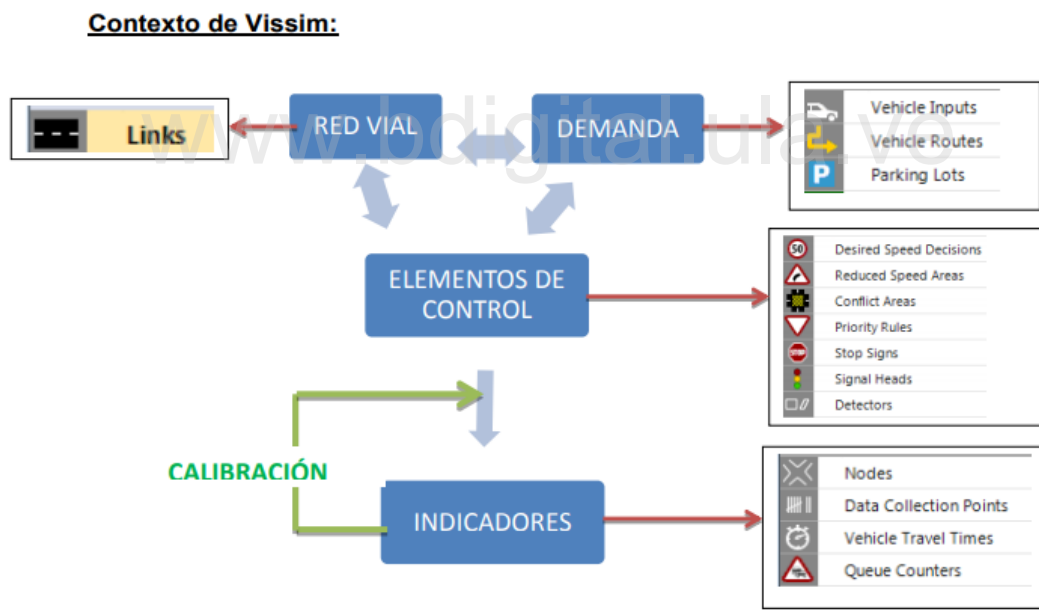


Figura 11. Información procesada de la red vial y calibración en VISSIM.
Fuente: PTV Vissim versión 11.0

4.1.1 Datos de entrada.

Se realizó la aplicación de instrumentos para levantamiento de información tales como: tipo de vehículo, volumen, tiempo de recorrido, velocidad y demoras. La interfaz resulta muy

intuitiva y amigable. Véase en la figura 12, la interfaz de la pantalla de inicio en el software VISSIM.

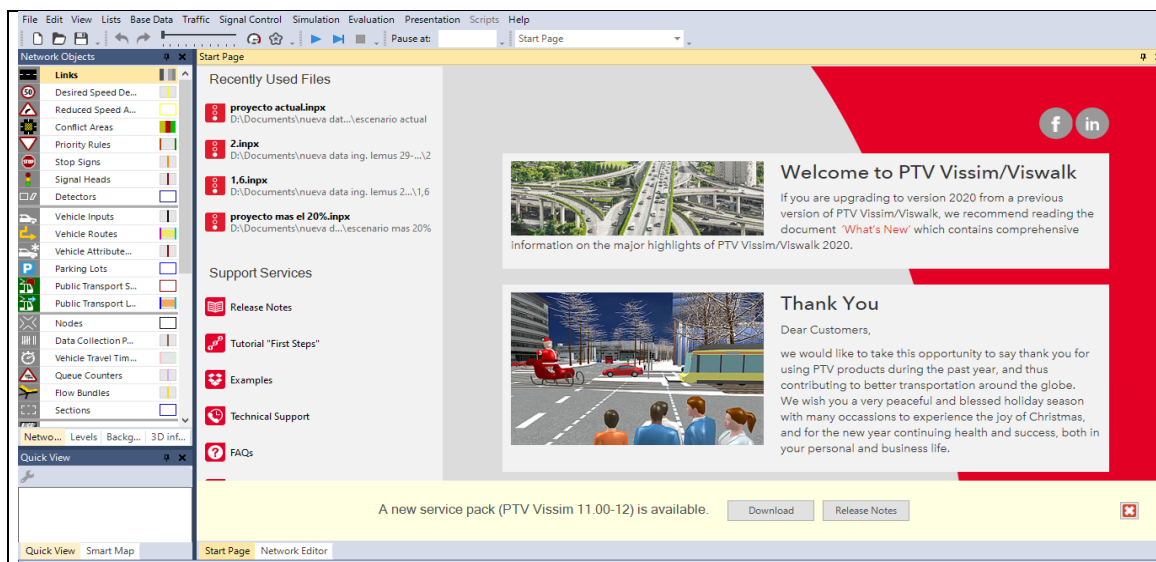


Figura 12. Pantalla de inicio en el software VISSIM.

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

4.1.2 Procedimiento general para configurar los escenarios de simulación VISSIM.

A continuación, se listan los pasos seguidos en VISSIM de forma sucinta para entender el procedimiento previo necesario para realizar todos los análisis de los parámetros operativos en la arterial de acuerdo a los distintos escenarios de simulación.

- Ubicación y referenciación del tramo de estudio en la Diagonal Santander entre Av3 – y Calle 10”. Arterial localizada en el Departamento Norte de Santander, ciudad de Cúcuta. En la figura 13 se muestra el sector donde se encuentra la subred bajo estudio.

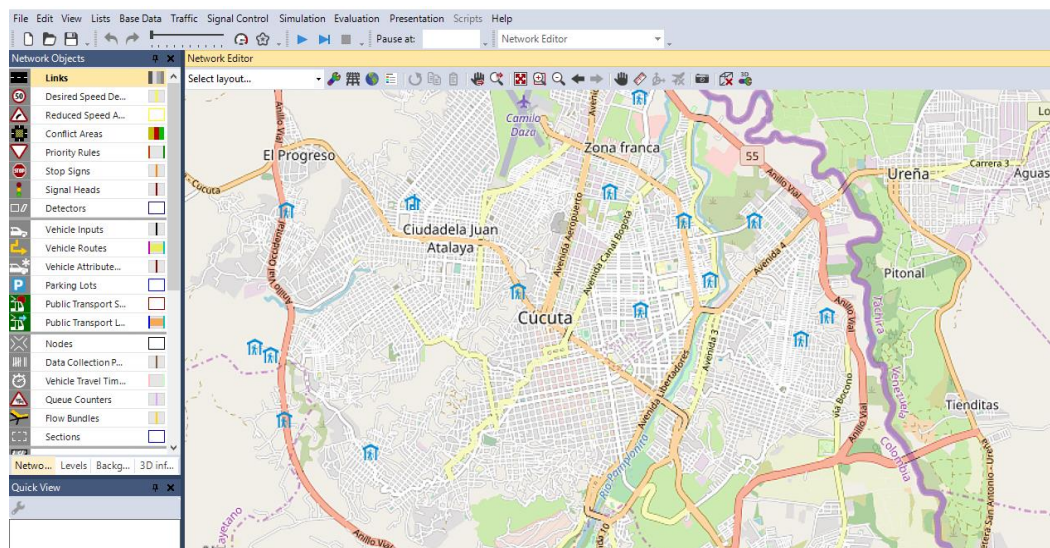


Figura 13. Pantalla que ilustra el editor de red en VISSIM.

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- La figura 14 permite visualizar los botones de acción rápida más comunes, donde destaca el botón rápido para la creación del archivo VISSIM y activación de ventana para entrada de los datos; y de creación de un nuevo proyecto de estudio.

Botón de acción rápida	Descripción de la acción
	Crea un nuevo archivo de red en VISSIM
	Abre un archivo de red en VISSIM existente
	Guarda un archivo de red en VISSIM en una ruta/nombre dada
	Genera una vista previa para control de impresión
	Ejecuta la acción de imprimir

Figura 14. Botones de acción rápida en VISSIM.

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Con la opción Links se crean los enlaces que componen la sub-red de Arterial a analizar. La figura 15 muestra una interfaz muy intuitiva, de fácil acceso para el usuario.

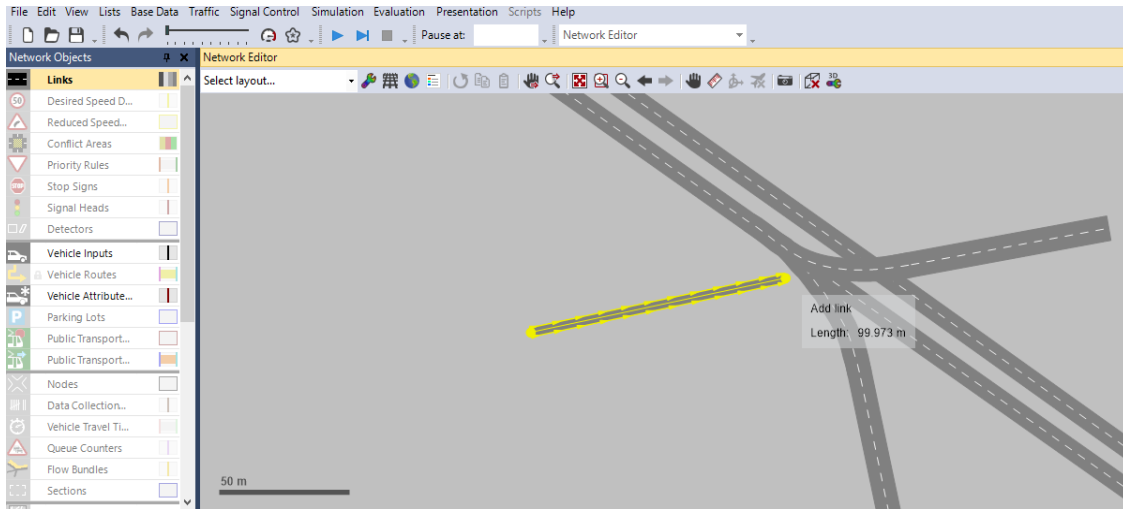


Figura 15. Construcción de subred de Arterial en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Posteriormente se introducen los datos geométricos, como cantidad y ancho de canal por enlace. La figura 16 muestra otros datos asociados a cada enlace que deben ser configurados de acuerdo a las condiciones reales de campo.

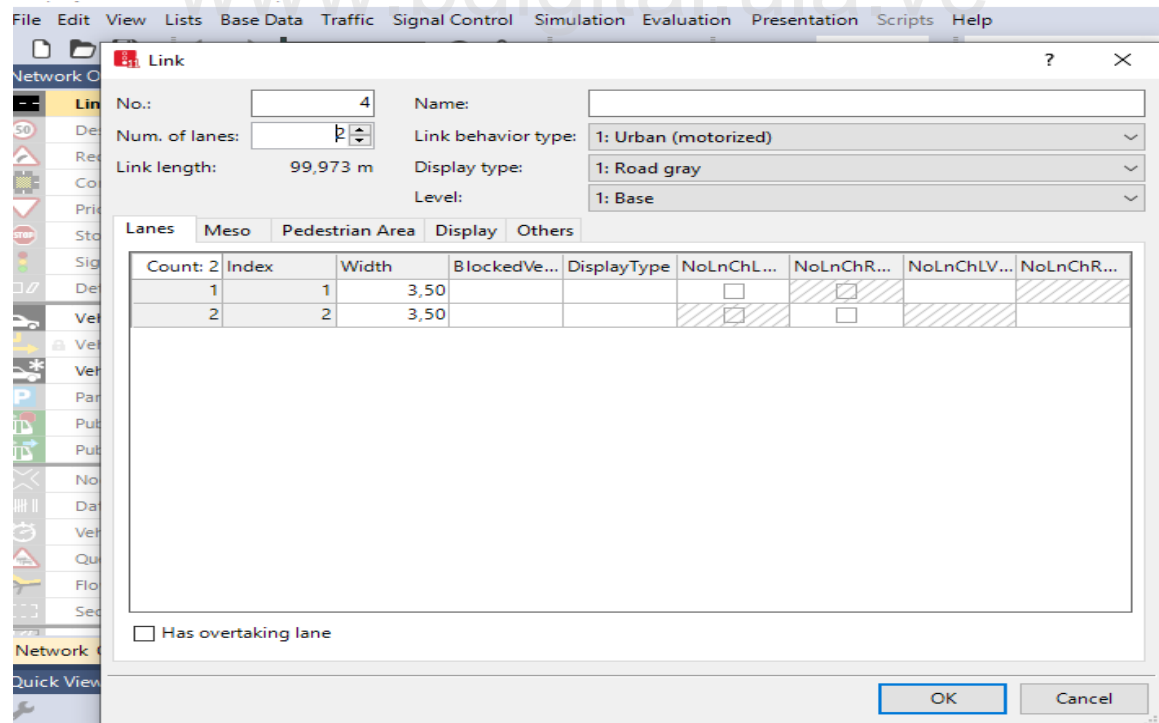


Figura 16. Datos asociados al enlace de arterial en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Luego se conectan los accesos con clic derecho sostenido para garantizar el tránsito fluido de vehículos en las direcciones conectadas; Se da nombre al conector o enlace con su dimensionamiento, tipo de comportamiento, etc. Véase las figuras 17 y 18.

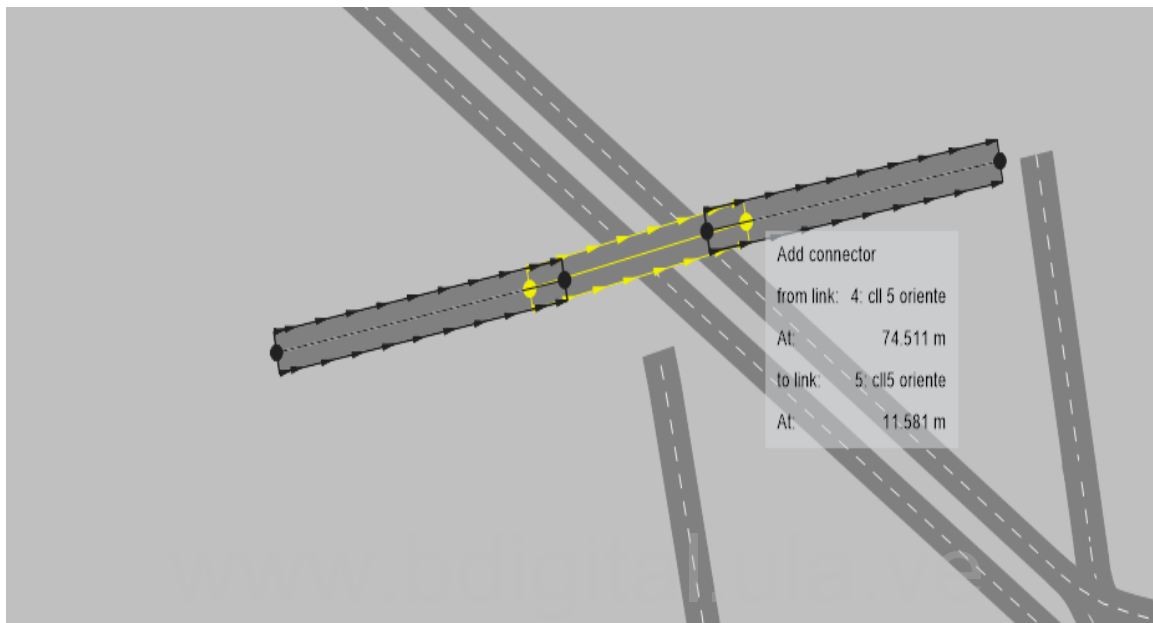


Figura 17. *Proceso de conexión de enlaces en intersección de la arterial.*
Fuente: PTV Vissim versión 11.0

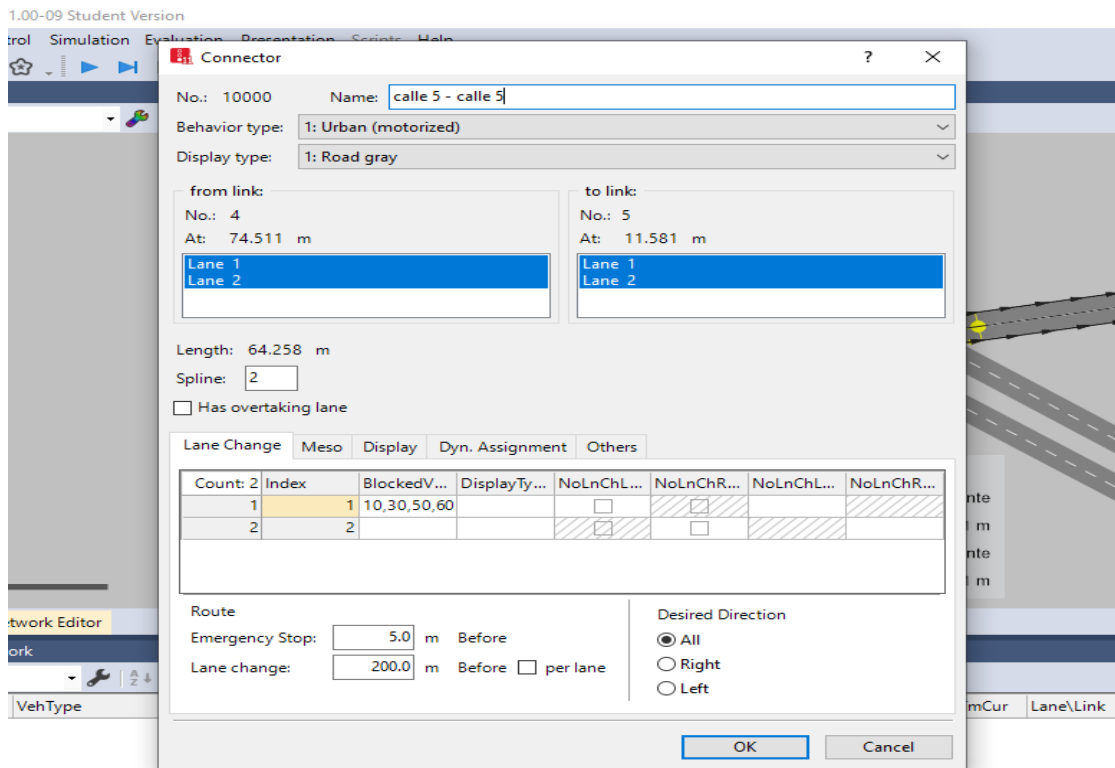


Figura 18. Dimensionamiento, tipo de comportamiento en conectores VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Se procede a añadir la composición vehicular; donde se definen los tipos de vehículos que van a circular por la subred, flujo vehicular y distribución de velocidad para cada tipo de vehículo. Véase detalles de estas ventanas en las figuras 19 y 20.

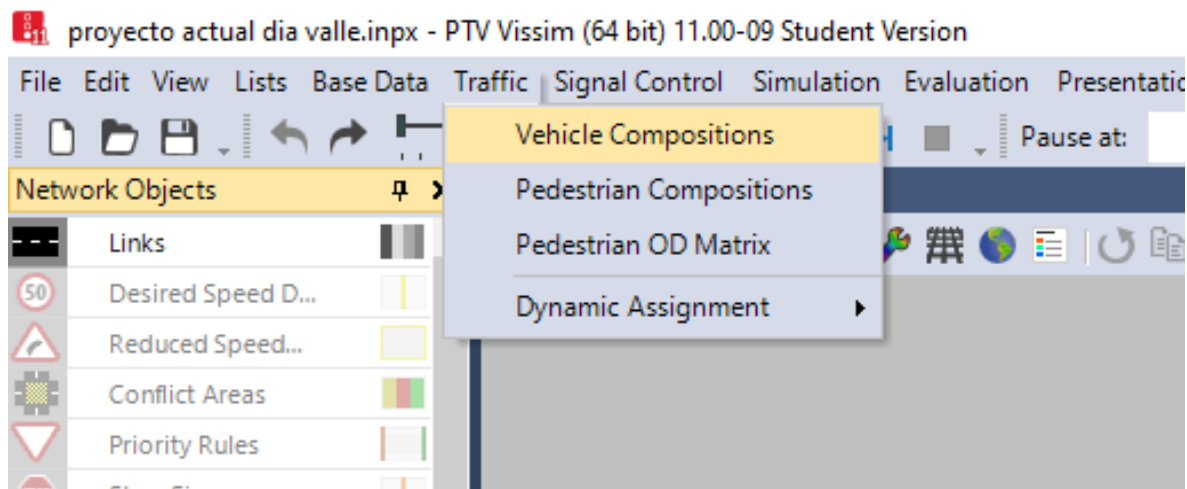


Figura 19. Composición vehicular del tránsito en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

Count	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	10: car	1051: cv100	21,000
2	300: Bus	1052: cv300	14,000
3	630: moto	1054: cv630	19,000

Figura 20. Distribución de velocidad por tipo de vehículo en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Luego, se da entrada de vehículos con la opción *vehicle input*; con las teclas control y clic derecho sostenido se selecciona la entrada de vehículos, posteriormente se activa una ventana para añadir el flujo total por cada acceso. Véase la figura 21.

t	No	Name	Link	Volume(t)	VehComp(t)
1	1	4: cll 5 oriente	11: oriente calle 5	197,0	11: oriente calle 5
2	3	6: cll6 occidente	225,0	4: occidente cll6a	
3	5	10: cll7 noroccidente	28,0	3: oriente - noroccidente cll7	
4	6	11: av0 Norte sur	173,0	6: AV-O Norte	
5	7	13: av0 sur-norte	305,0	8: AV-O Sur	
6	8	15: cll8 oriente	121,0	5: occidente cll8	

Figura 21. Entrada de vehículos y flujo de acceso en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Se define el sentido o las rutas que estos vehículos tienen disponibles de acuerdo a los movimientos observados en nuestro tramo de Arterial; en la figura 22 se muestra un ejemplo de configuración de un movimiento a la izquierda permitido en el nodo 1.

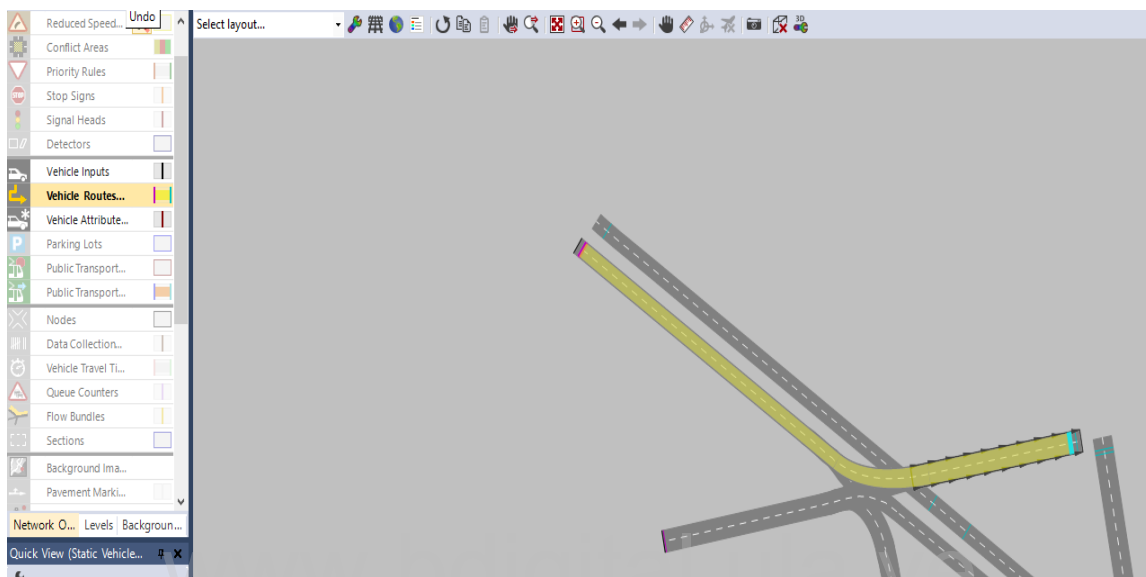


Figura 22. Definición de un movimiento o ruta en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Se considera la existencia de transporte público mediante codificando de su ruta y paradas.

Véase la figura 23.

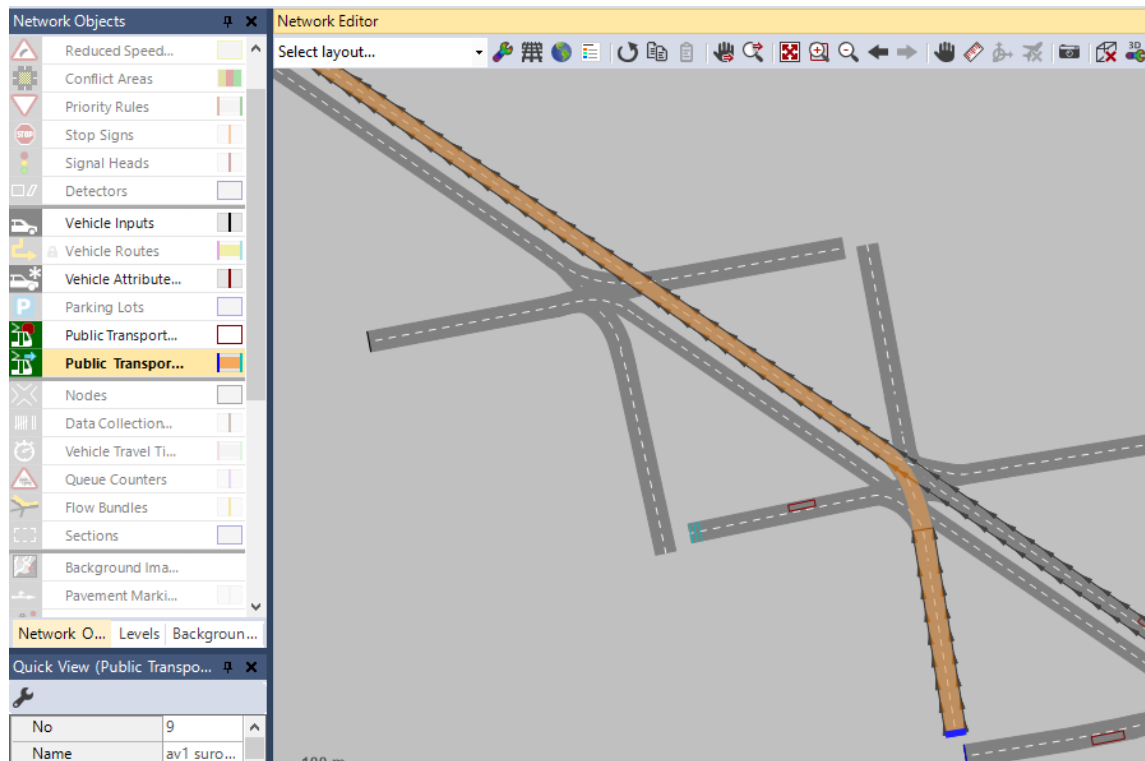


Figura 23. Definición de una cadena de movimientos o ruta en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Luego se seleccionan los diferentes nodos que presenta la sub red en estudio. La figura 24 muestra la selección de los nodos 1, 2 y 3 del tramo de arterial analizado

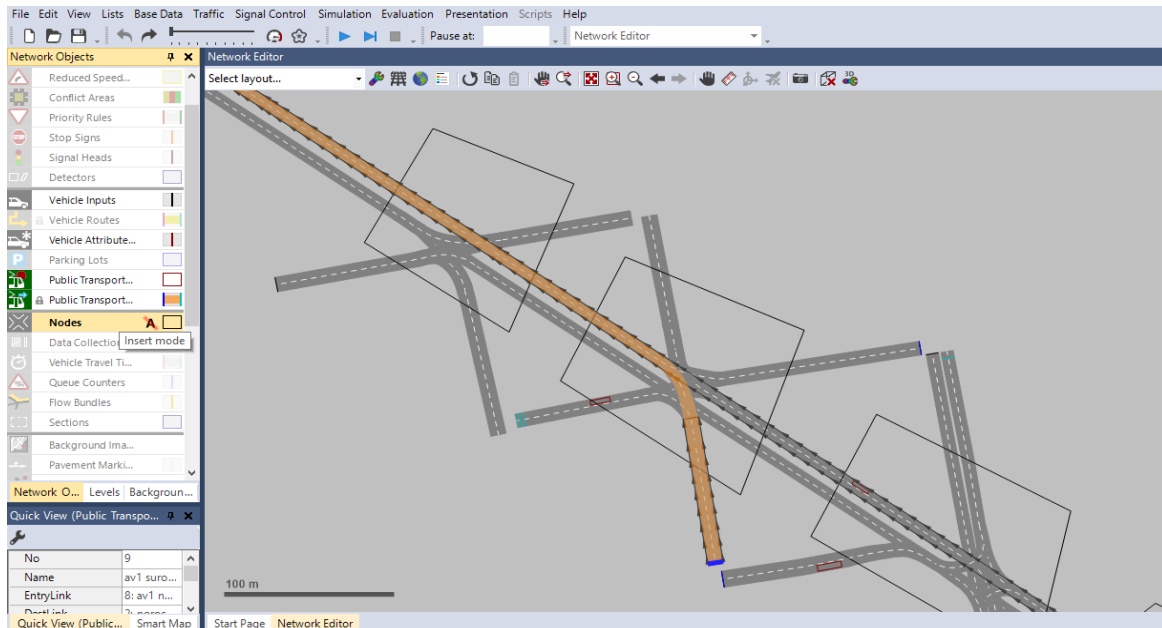


Figura 24. Selección de los nodos de Arterial para definición del control en VISSIM

Fuente: PTV Vissim

- Se definen las áreas de conflicto; se coloca el control de tránsito correspondiente a cada intersección hasta definir los tiempos de semáforo. Véase la figura 25.

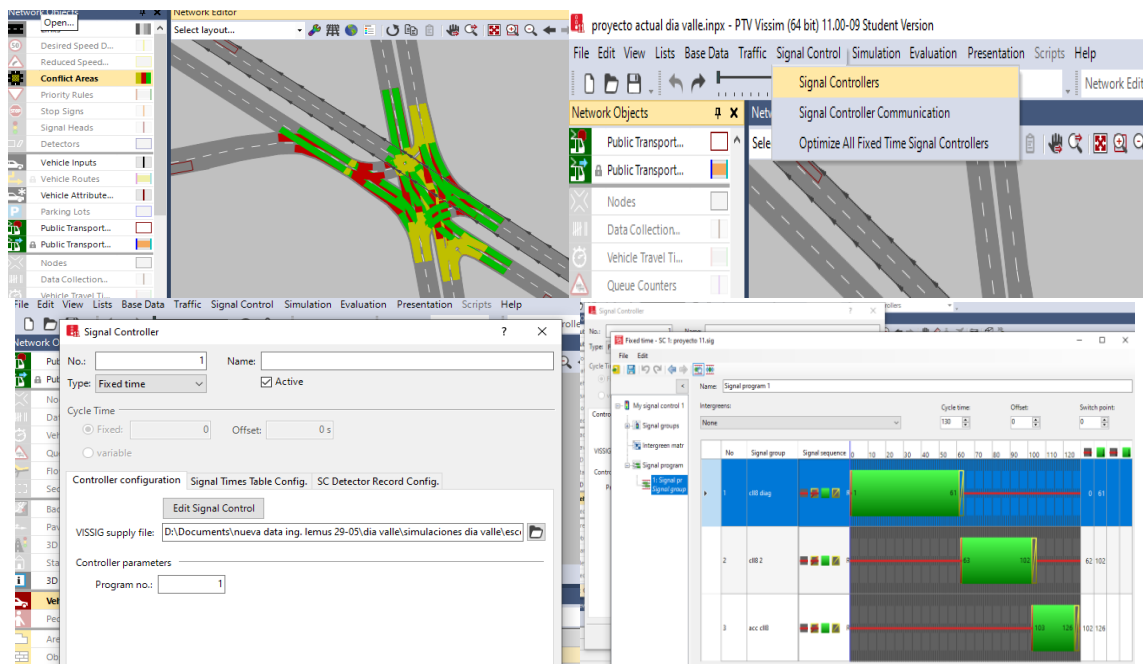


Figura 25. Áreas de conflicto, tipo de control y configuración de tiempos en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Con Signal Heads se añade a la subred el semáforo configurado. Véase la figura 26.

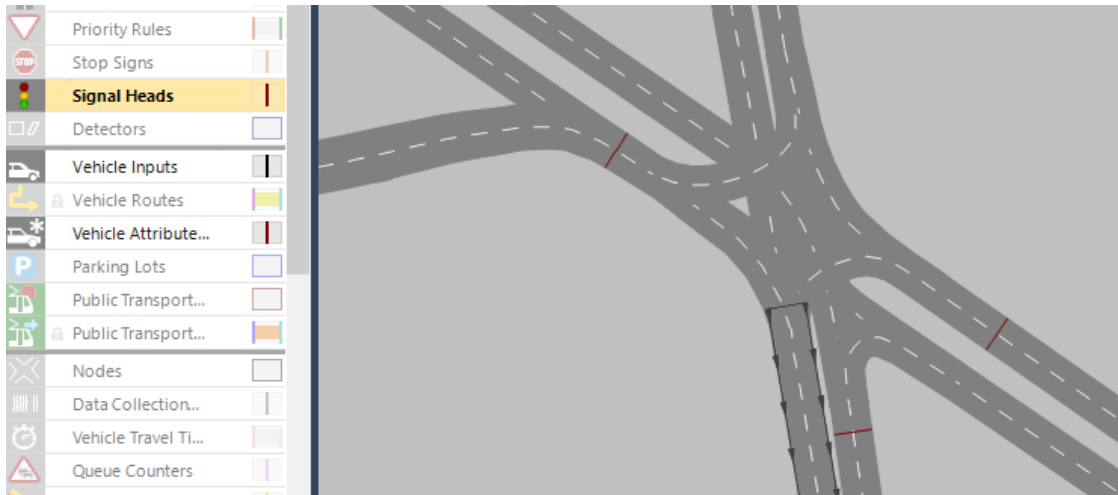


Figura 26. Asignación del control de semáforo al nodo en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

- Se guarda cada escenario a simular y dando play al set de datos configurado se ejecuta la simulación. Finalmente, se pueden visualizar los resultados en cada set de datos o escenario simulado. Véase la figura 27.

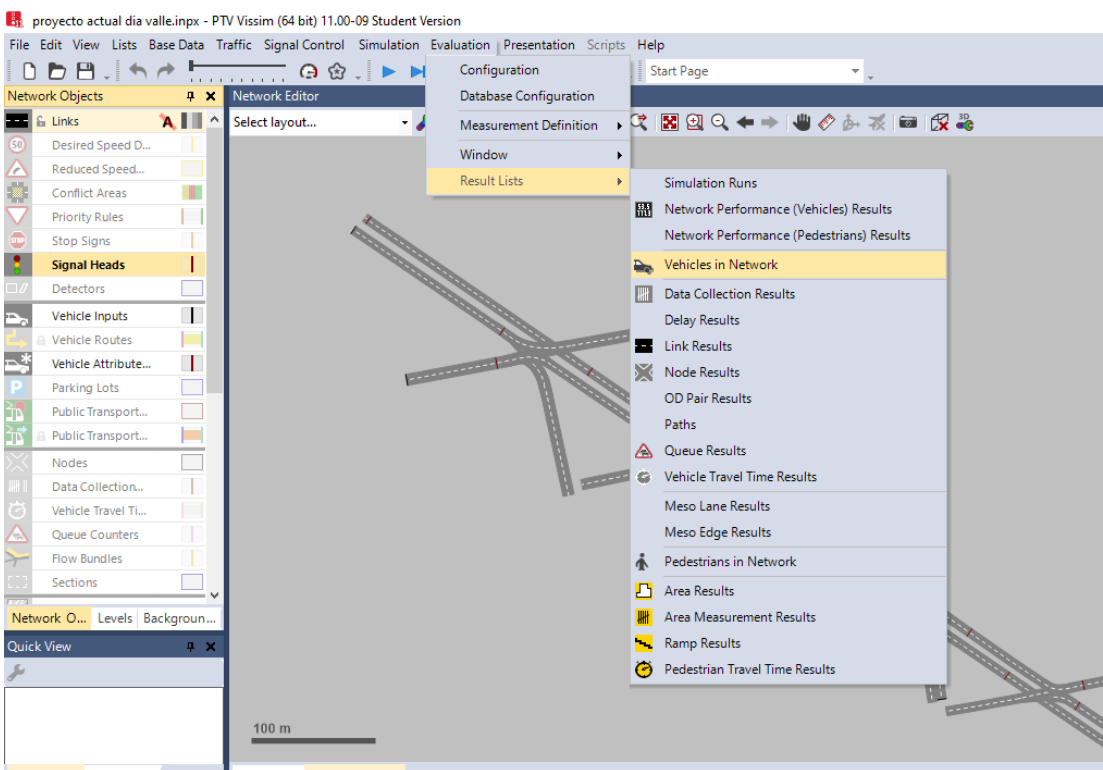


Figura 27. Resultados en VISSIM

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

La figura 28 muestra un ejemplo de los resultados de simulación del parámetro velocidad donde se describen diversos tipos de variables tales como: velocidad (*Speed*); velocidad deseada (*deSpeed*); velocidad teórica (*Speed theor*); y velocidad diferencial (*Speed Diff*).

Vehicles In Network												
Select layout...												
Count: 16	No	VehType	Lane	Pos	Speed	DesSpeed	Acceleration	LnChg	SpeedTheor	SpeedDiff	VehType	Lane\Link
1	1	630: MOTO	1 - 1	254,554	44,18	44,18	0,00	None	44,18	44,18	630: MOTO	1: surorient
2	2	630: MOTO	8 - 1	105,825	0,00	44,75	0,00	None	44,75	0,00	630: MOTO	8: AV 0 NORTE
3	3	630: MOTO	6 - 1	74,585	0,00	41,52	0,00	None	41,52	0,00	630: MOTO	6: AV 1
4	4	630: MOTO	1 - 1	180,987	42,89	42,89	0,00	None	42,89	-1,29	630: MOTO	1: surorient
5	5	630: MOTO	6 - 1	54,325	0,00	43,32	0,00	None	43,32	0,00	630: MOTO	6: AV 1
6	6	100: Car	3 - 1	80,213	0,92	33,30	-0,37	None	33,30	1,06	100: Car	3: calle 5
7	7	630: MOTO	2 - 1	138,019	40,36	41,21	0,18	None	41,21	0,00	630: MOTO	2: noroccidente
8	8	100: Car	1 - 1	96,212	30,82	30,82	0,00	None	30,82	-12,07	100: Car	1: surorient
9	9	630: MOTO	9 - 1	44,451	0,00	43,87	0,00	None	43,87	0,00	630: MOTO	9: AV 0 SUR
10	10	100: Car	2 - 1	101,429	34,61	33,76	-0,10	None	33,76	-5,65	100: Car	2: noroccidente
11	11	300: Bus	1 - 1	68,569	31,41	31,41	0,00	None	31,41	31,41	300: Bus	1: surorient
12	12	630: MOTO	2 - 1	75,745	36,75	43,27	-0,01	None	43,27	2,11	630: MOTO	2: noroccidente
13	13	630: MOTO	1 - 1	45,416	30,23	41,46	0,00	None	41,46	-1,18	630: MOTO	1: surorient

Figura 28. Resumen de resultados de velocidad en VISSIM.

Fuente: PTV Vissim versión 11.0

4.2. Organización del volumen y su ajuste previo a la calibración

Se obtiene la información que puede observarse en las tablas que contienen los datos de campo para entrada del volumen a VISSIM. En ellas se aprecia el total de acuerdo a las diferentes clases de vehículos y de acuerdo al movimiento realizado, bien sea el volumen de acceso a la arterial (datos aún sin ajustar). Se realizan los conteos de automóviles, transporte público, camiones tipo C2-P, camiones C2-G, motocicletas, bicicletas y peatones; en dos franjas horarias y periodos de 15 minutos, durante una semana. Esta información se puede ver en la tabla 4 y el total de estas tablas en Anexo 1, que muestran los datos recolectados en campo para cada uno de los movimientos codificados como G1, G2, G3, G4, G5, G6 y G7. Estos movimientos del tránsito se encuentran detallados en las figuras 29 y 30 y forman parte de la descripción de las intersecciones o nodos ya descritos en párrafos anteriores. Los datos que son franjas horarias, son tomados considerando el día pico de la semana. En la figura 29 se observan los movimientos codificados para los nodos 1 y 2, y la figura 30 corresponde a los movimientos codificados para los nodos 3 y 4, como ejemplo.

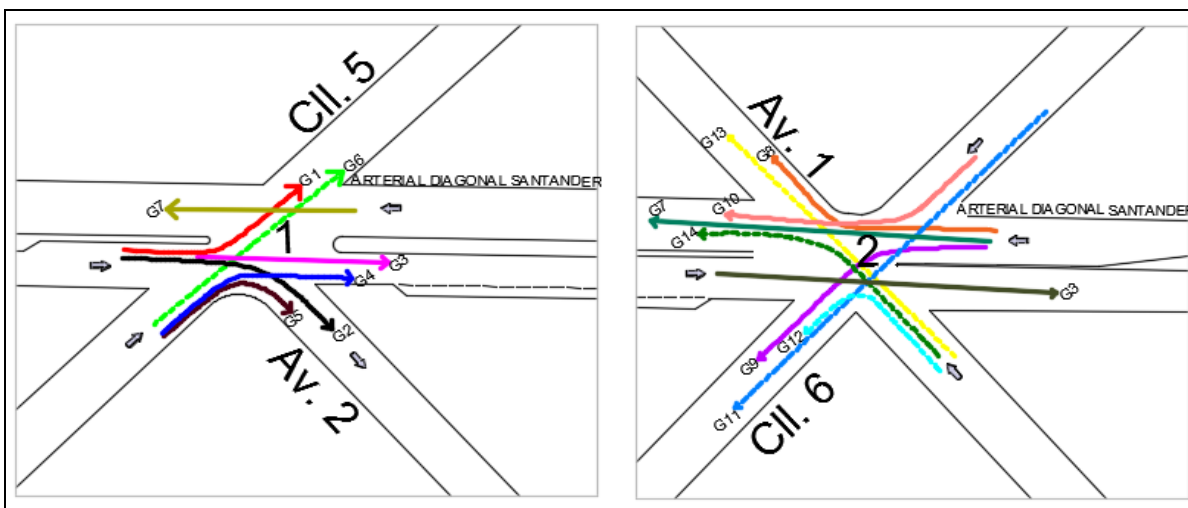


Figura 29. Movimientos en nodos 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia

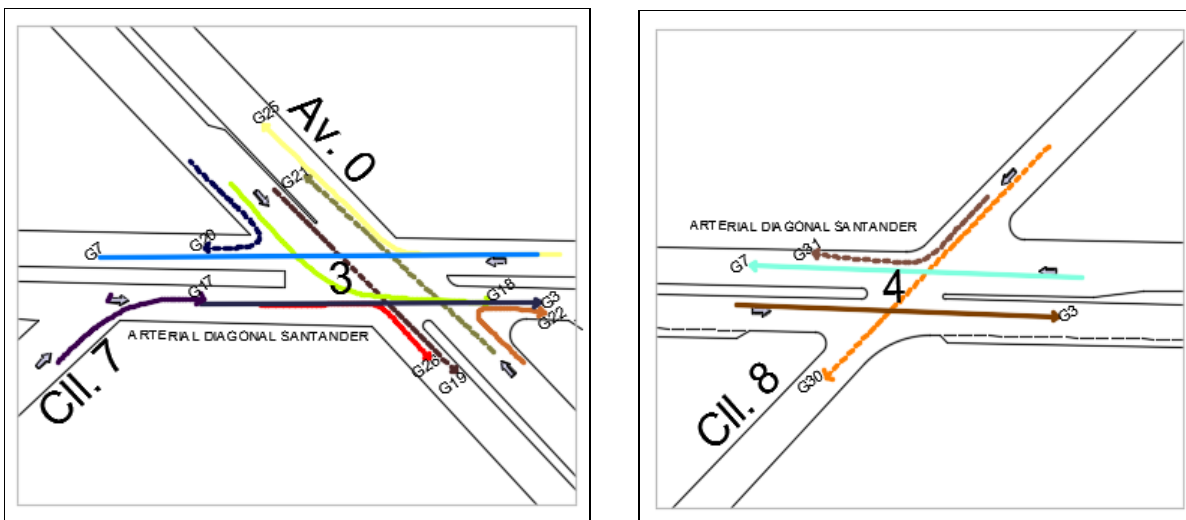


Figura 30. Movimientos en nodos 3 y 4.

La Tabla 4 muestra un ejemplo de tabulación de datos de campo de volúmenes aún no ajustados mediante el proceso de calibración, y corresponden a valores obtenidos en campo para el movimiento G7 del nodo 1. Los valores corresponden a los distintos modos o tipos de vehículos encontrados como son: automóvil, transporte público (TP), camión (C2-P y C2-G), motocicleta y bicicleta. Donde además, y como información adicional, se estima el conteo de peatones. Como ejemplo, se resalta la medición de vehículos en el periodo de tiempo entre 7:00 y 7:15, donde el conteo por tipo de vehículo corresponde a: 180 autos, 41 unidades de transporte público, 8 camiones C2-P y 1 camión C2-G, 72 motocicletas y 1 bicicleta, representando un total de 303 vehículos.

Posteriormente se totalizan las columnas registrando un total general correspondiente a las dos franjas horarias de 7:00 a 10:00 horas (por la mañana) y de 13:00 a 16:00 horas (por la tarde), donde los resultados generales por tipo de vehículo corresponden a 1.352 autos, 177 unidades de transporte público, 38 camiones C2-P y 8 C2-G, 805 motocicletas, 28 bicicletas y 138 peatones.

Tabla 4. Datos de campo, determinación del volumen no calibrado en el movimiento G7 del nodo 1

Hora	Autos	TP	C2-P	C2-G	Motocicletas	Bicicletas	Peatones*	Total
7:00 - 7:15	180	41	8	1	72	1	7	303
7:15-7:30	72	0	2	0	134	2	11	215
7:45-8:00	66	1	1	1	44	2	15	115
8:15-8:30	105	0	0	0	0	0	0	105
8:45-9:00	131	5	3	0	110	3	4	252
9:15-9:30	105	0	0	0	0	0	0	105
9:45-10:00	74	2	2	0	72	1	8	151
13:00-13:15	69	1	1	1	85	5	4	162
13:15-13:30	45	1	1	2	39	3	10	91
13:45-14:00	92	14	5	0	47	2	23	160
14:15-14:30	89	33	0	0	57	1	8	180
14:45-15:00	52	25	1	1	27	1	18	107
15:15-15:30	180	41	8	1	72	1	7	303
15:45-16:00	92	13	6	1	46	1	23	159
Subtotal períodos	1352	177	38	8	805	28	138	2408

* Los peatones no cuentan para la suma del volumen total.

En total se tienen 2.408 vehículos mixtos observados dentro del período de medición del volumen en el movimiento G7 del nodo 1. Los resultados encontrados para el resto de movimientos y nodos pueden ser vistos en el *Anexo 1: Datos de campo, determinación de volumen no calibrados*

4.2.1 Promedio del volumen por franja horaria diario

Una vez organizados los volúmenes vehiculares observados, se realiza el proceso de ajuste del volumen obtenido por franjas horarias para obtener un promedio del subtotal de esas franjas diario con los conteos tomados en las tres secciones de aforo. La figura 31 representa las secciones aforadas denotadas como puntos P1, P2 y P3. Se distinguen los segmentos con color para diferenciar el sentido de circulación de los vehículos aforados sobre la arterial. Así, el azul representa los datos tomados en sentido Noroccidente y el verde en sentido Suroriente.

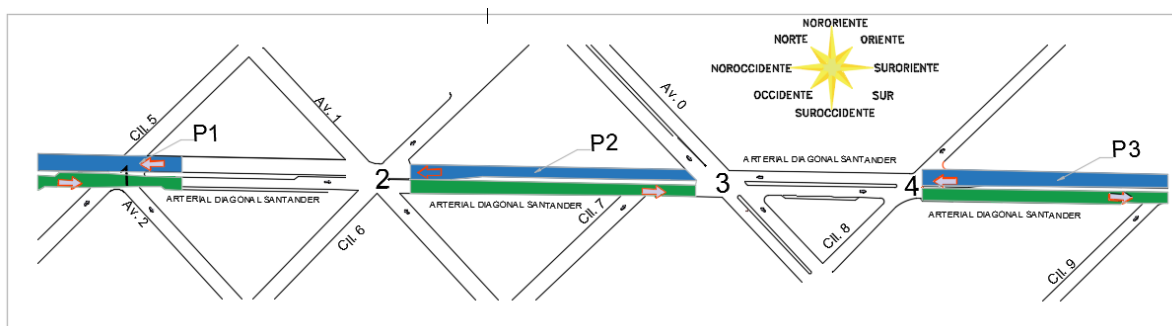


Figura 31. Localización de las secciones de aforo P1, P2 y P3.

La Tabla 5 contiene los datos de campo de volúmenes promedio medidos sobre la arterial en distintos periodos de tiempo y en sentido Noroccidente. Conteo realizado en distintos días de la semana y en las secciones P1, P2 y P3; como ejemplo, un valor de 475 vehículos promedio corresponde al periodo de 7:00 a 8:00 horas y 2.683 vehículos corresponde a la suma de los promedios de volumen en cada periodo para el día Jueves 08.

Tabla 5. Datos de campo, volumen promedio en sentido Noroccidente (dentro de la franja de medición)

Hora	Jueves 08	Viernes 09	Sábado 10	Domingo 11	Lunes 12	Martes 13
7:00 - 8:00	475	406	494	366	324	469
8:00-9:00	312	487	398	279	381	258
9:00-10:00	585	544	318	325	308	427
13:00-14:00	238	504	437	258	312	290
14:00-15:00	577	323	351	346	350	330
15:00-16:00	496	303	388	373	319	448
Subtotal períodos	2683	2567	2386	1947	1994	2222

La Tabla 6 contiene los datos de campo sobre volúmenes promedio en el sentido Suroriente. Análogamente, un valor de 521 vehículos corresponde al promedio de volumen que pasa en el periodo de 7:00 a 8:00 horas, y 2.214 vehículos a la suma de períodos para el día Jueves 08.

Tabla 6. Datos de Campo, volumen promedio en sentido Suroriente (dentro de la franja de medición)

Hora	Jueves 08	Viernes 09	Sábado 10	Domingo 11	Lunes 12	Martes 13
7:00 - 8:00	521	455	213	249	272	234
8:00-9:00	242	360	264	239	225	257
9:00-10:00	445	314	212	223	245	222
13:00-14:00	236	417	244	244	257	196
14:00-15:00	471	272	272	222	228	265
15:00-16:00	299	497	225	254	239	202
Subtotal períodos	2214	2315	1430	1431	1466	1376

La Tabla 7 recoge los datos de volúmenes promedio considerando ambos sentidos donde un valor de 996 vehículos es el promedio para el periodo 7:00 a 8:00 horas y 4.897 vehículos corresponde a la suma de los períodos para el día Jueves 08, como ejemplo.

Tabla 7. Datos de Campo, volumen promedio en ambos sentidos (dentro de la franja de medición)

Hora	Jueves 08	Viernes 09	Sábado 10	Domingo 11	Lunes 12	Martes 13
7:00 - 8:00	996	861	707	615	596	703
8:00-9:00	554	847	662	518	606	515
9:00-10:00	1030	858	530	548	553	649
13:00-14:00	474	921	681	502	569	486
14:00-15:00	1048	595	623	568	578	595
15:00-16:00	795	800	613	627	558	650
Subtotal períodos	4897	4882	3816	3378	3460	3598

El procedimiento implementado para hallar un ajuste es el siguiente:

Los conteos son ajustados considerando un factor encontrado en los tramos P1,P2 y P3, cada volumen es ajustado en cada uno de los movimientos, para ingresarlos al VISSIM.

1. Se realizan los conteos en los puntos de aforo establecidos, tanto en sentido Noroccidente como Suroriente (Tablas 5 y 6).

2. Posterior al conteo y considerando los resultados globales de la Tabla 7 se trasladan los subtotales de las franjas horarias que representan los conteos del día, a la Tabla 8, valores que se corresponden al tránsito por franjas diario (TFD).

3. Se calcula el transito promedio por franjas de la semana (TPFS) como sigue:

$$TPFS: \frac{TFS}{7}$$

4. Luego el factor de ajuste del volumen por franjas diario TFD será el inverso de la relación TFD/TPFS:

$$Fajuste: \frac{1}{(TFD/TPFS)}$$

5. Para obtener el factor de ajuste global se usa el promedio de los factores calculados.

La Tabla 8 muestra los volúmenes promedio en las franjas horarias, resumidos de los tres puntos de aforo (P1, P2 y P3), lo que permite estimar un factor de ajuste promedio de aplicación más global. Y la Tabla 9 resume los volúmenes promedio ajustados con el factor promedio global para tener una medida del volumen por día de medición en ambos sentidos.

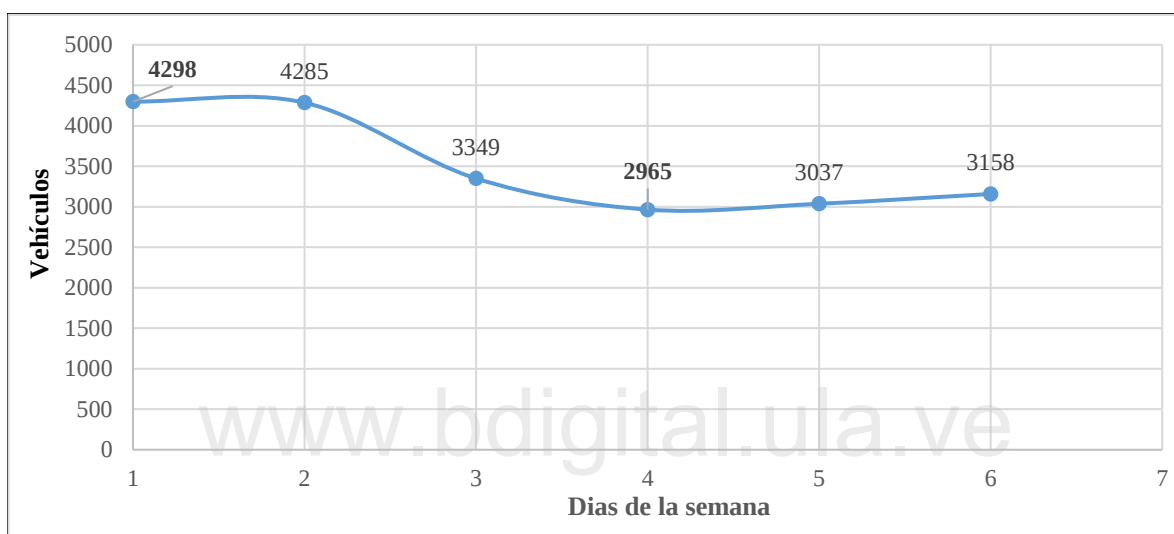
Tabla 8. Valores que determinan el factor promedio de ajuste aplicado al volumen por franjas horarias diario

Días de la semana	TFD (vehículos)	TFD/TPFS	Factor de ajuste
Jueves 08	4897	1,43	0,70
Viernes 09	4882	1,42	0,70
Sábado 10	3816	1,11	0,90
Domingo 11	3378	0,98	1,02
Lunes 12	3460	1,01	0,99
Martes 13	3598	1,05	0,95
Subtotal	24031		
TPFS	3433		
Factor promedio global	0,87774826		

Tabla 9. Datos ajustados del volumen total en sentido Noroccidente y Suroriente (ambos sentidos)

Hora	Jueves 08	Viernes 09	Sábado 10	Domingo 11	Lunes 12	Martes 13
Promedio global del período	4.298	4.285	3.349	2.965	3.037	3.158

La figura 32 representa los volúmenes promedios globales correspondientes a la suma de volúmenes promedio en cada período de medición y de acuerdo al día de la semana para ambos sentidos de la arterial. Esta gráfica permite identificar el día pico y día valle.

**Figura 32.** Variación del volumen promedio de franjas horarias y día de medición.

La Tabla 10 muestra como ejemplo, los volúmenes vehiculares ajustados al subtotal de las franjas horarias por día para el movimiento G7 del nodo 1. Se realiza el ajuste afectando cada uno de los datos de volúmenes de vehículos por el factor global de 0,87774826, teniendo en cuenta la tipología de vehículos encontrados. Para el resto de movimientos y nodos, los datos son tabulados y pueden ser vistos en *Anexo 2: Volúmenes promedios por franjas horarias ajustados*

Tabla 10. Volúmenes ajustados para el movimiento G7 del nodo 1

Hora	Automóvil	TP	C2-P	C2-G	Motocicletas	Bicicletas	Peatones	Total
7:00 - 7:15	158	36	7	1	63	1	7	266
7:15-7:30	63	0	2	0	118	6	11	189

Hora	Automóvil	TP	C2-P	C2-G	Motocicletas	Bicicletas	Peatones	Total
7:45-8:00	58	1	1	1	39	2	15	102
8:15-8:30	92	0	0	0	0	0	0	92
8:45-9:00	115	4	3	0	97	3	4	222
9:15-9:30	92	0	0	0	0	0	0	92
9:45-10:00	65	2	2	0	63	1	8	133
13:00-13:15	61	1	1	1	75	4	4	143
13:15-13:30	42	1	1	2	34	3	10	83
13:45-14:00	81	12	4	0	41	2	23	140
14:15-14:30	78	29	0	0	50	0	8	157
14:45-15:00	46	22	1	1	24	0	18	94
15:15-15:30	158	36	7	1	63	1	7	266
15:45-16:00	81	12	4	0	41	2	23	140
Subtotal	1190	56	33	7	708	25	138	2257

4.2.2 Calibración del software VISSIM con base en el volumen.

El procedimiento de calibración tipifica realizarlo con el volumen o con el promedio de velocidad. En este caso lo aplicamos al volumen utilizando el estadístico GEH, un índice utilizado ampliamente en modelización de transporte y tránsito para comparar dos conjuntos de datos sobre volúmenes vehiculares. Es una fórmula empírica que ha resultado útil para una variedad de propósitos de análisis y calibración. La expresión de cálculo del estadístico GEH es la siguiente:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde M representa el volumen de tránsito del modelo, en este caso, el volumen simulado por VISSIM, y C corresponde al conteo de vehículos proveniente de campo, aquel considerado como volumen real (o conteo inicial). Utilizando el estadístico GEH se evitan fallos que pueden ocurrir al utilizar proporciones pequeñas cuando se compara dos conjuntos de datos de volúmenes. El uso de GEH como criterio de aceptación de la modelización de la

demanda de viajes está reconocido en el Manual de Diseño de Carreteras y Puentes (DMRB, de sus siglas en inglés), por la Agencia de Carreteras del Reino Unido en las normas de modelización con micro simulación de Wisconsi, en las normas de modelización del tránsito para el transporte de Londres y por otros entes altamente representativos.

Una vez establecidos ambos valores de volumen necesarios, se realiza el proceso de calibración mediante el índice GEH con base a los resultados de conteos realizados (datos de campo en ida y vuelta) y volúmenes simulados según cada escenario propuesto para evaluación de motocicletas, los cuales se detallan a continuación para su mejor comprensión:

- Factor de afectación ($F = 1,0$) que corresponde al escenario actual con afectación del volumen total de motocicletas (autos y motocicletas actuales);
- Factor de afectación ($F = 0,0$) que corresponde al escenario actual sin considerar las motocicletas (sólo autos actuales);
- Factor de afectación ($F = 0,2$) que corresponde al escenario actual de autos y 20 % de motocicletas actuales (autos + 20 % de las motocicletas actuales);
- Factor de afectación ($F = 0,6$) que corresponde al escenario actual de autos y 60% de motocicleta (autos + 60 % de las motocicletas actuales);
- Factor de afectación ($F = 1,2$) que corresponde al escenario actual de autos y motocicletas al que se le añade 20 % más de motocicletas;
- Factor de afectación ($F = 1,6$) que corresponde al escenario actual de autos y motocicletas al que se le añade 60 % de más de motocicletas;

- Factor de afectación ($F = 2,0$) que corresponde al escenario actual de autos y motocicletas al que se le añade un 100% más de motocicletas.

En la modelización del tránsito del escenario actual sin motocicletas se planifican seis puntos para obtener el estadístico GEH como veremos más adelante. Los criterios de evaluación del estadístico definen que si el valor es inferior a 5.0 se considera que existe buena aproximación entre lo modelado y lo medido en unidades veh/h (en este umbral, a los flujos de duración más largos o más cortos se les tendría que convertir en equivalentes por hora). Según el manual DMRB el 85% de los volúmenes en un modelo de tránsito deberían tener un valor GEH menor que 5.0, aunque también un rango entre 5.0 y 10.0 puede garantizar resultados moderados que enfoquen bien la investigación.

Si el valor GEH es muy superior a 10.0 existe alta probabilidad que existan problemas con los datos o con el modelo de predicción (un error simple sería en la entrada de datos, otro más complejo, un problema de calibración). En la arterial se tienen tres puntos de aforo por sentido de circulación (P1, P2 y P3) localizados en sentido Noroccidente, y al Suroriente (P4, P5 y P6) para un total de seis puntos. Véase la figura 33.

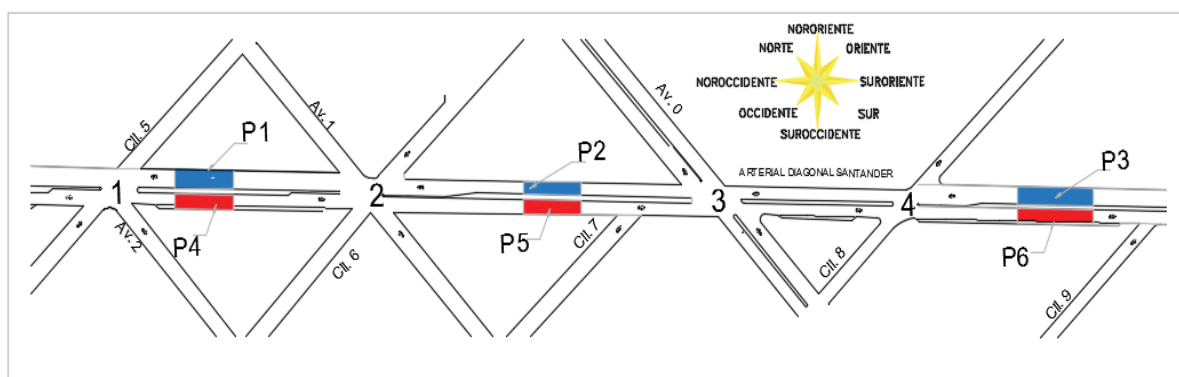


Figura 33. Localización de conteos de volúmenes reales para aplicar el estadístico GEH

En la Tabla 11 se muestran los volúmenes de campo (C) y volúmenes simulados (M) de acuerdo a los puntos o secciones de vía aforadas. Así, mediante aplicación de ambos valores en Ecuación 1, se obtiene el valor de estadístico GEH correspondiente.

Se observan diferencias entre los volúmenes de campo y simulados, los valores simulados resultan siempre menor a los de campo; esto se debe a que VISSIM descuenta al volumen C los de salida de la red y simula el restante, es decir, el volumen simulado disminuye. Los factores superiores e iguales a 1,0 muestran como ya se explicó baja calibración y los estadísticos GEH entre **0,0** y **0,6** parecen indicar una calibración más aceptable como se puede ver.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 11. Indicadores del estadístico GEH que define la calibración según volúmenes para el software VISSIM

Factor (con base en la proporción de motos)	1,0			0,0*			0,2*			0,6*			1,2			1,6			2,0		
Mediciones	C	M	GEH	C	M	GEH	C	M	GEH	C	M	GEH	C	M	GEH	C	M	GEH	C	M	GEH
P1	259	93	13	125	53	8	152	70	8	205	85	10	420	91	21	473	95	22	527	101	24
P2	138	61	8	83	7	11	94	25	9	116	49	7	204	15	18	226	16	19	248	17	20
P3	250	44	17	175	34	14	190	37	14	220	34	17	340	35	22	370	42	23	400	46	24
P4	221	33	17	117	14	13	138	16	14	179	93	7	346	38	22	387	46	23	429	27	27
P5	211	92	10	124	51	8	141	55	9	176	72	9	315	98	15	350	107	16	385	52	23
P6	201	44	14	152	61	9	162	77	8	181	93	8	260	122	10	279	144	9	299	113	13
GEH Promedio	13.0			10.5			10.3			9.7			18.0			18.7			21.8		

* El software VISSIM calibra moderadamente para los factores 0,0; 0,2 y 0,6

4.3 Organización de los escenarios (según variabilidad de la proporción motos)

4.3.1 Escenarios para las franjas horarias y día pico.

En los datos de entrada de volumen a VISSIM se diseñan los diferentes escenarios usando los valores de campo calibrados para automóviles, transporte público, camiones C2-P y C2-G; y se adiciona para cada escenario el porcentaje de afectación por motocicletas, incrementando la cantidad de motocicletas en +10%, +20%, +30%, +40%, e igual disminuyendo, la cantidad de motocicletas en -10%, -20%, -30%, -40%, intentando hacer así, un análisis de sensibilidad en los nuevos factores de afectación simulados.

Para cada escenario quedan fijos los volúmenes ajustados de automóviles, transporte público, camiones C2-P y C2-G, correspondientes a la situación actual. Como ejemplo se tiene la Tabla 12, donde se observan los volúmenes calibrados con incremento del 10% de motos. Estos corresponden a los escenarios 1 y 5, como codificación general utilizada.

Asimismo, y en la misma tabla se muestra el incremento del +10% de motocicletas por movimiento, y como ejemplo, puede observarse que en el movimiento G18, donde se contaron 511 motocicletas, considerando un factor de afectación de 1,0 lo que equivale al escenario actual, el 10% de este valor corresponde a 51,1 que se adiciona al valor inicial para generar el nuevo escenario con 562,1 motocicletas. Este valor es redondeado a 562 y se obtiene en el movimiento G18 un total de 1.167 vehículos registrados. El mismo procedimiento de incremento es realizado para el resto de movimientos.

Tabla 12. Volumen ajustado con incremento + 10 % de motos, día pico

Movimiento	Modo de Transporte – Factor de afectación +10% motocicletas							Total
	Motocicletas	Autos	TP	C2-P	C2-G	Bicicletas	+10%	
G6	685	606	119	1	1	2	754	1483
G5	606	479	2	6	1	2	667	1157
G4	505	484	77	2	1	4	556	1124
Subtotal	1796	1569	198	12		8	1976	3763

Movimiento	Modo de Transporte – Factor de afectación +10% motocicletas							Total
	Motocicletas	Autos	TP	C2-P	C2-G	Bicicletas	+10%	
G25	584	339	25	0	0	5	642	1011
G17	390	534	294	2	3	10	429	1272
Subtotal	974	873	319	5		15	1071	2283
G11	0	297	0	0	0	0	0	297
G10	631	441	134	5	2	9	694	1285
Subtotal	631	738	134	7		9	694	1582
G30	652	344	73	0	3	9	717	1146
G31	783	641	238	4	2	9	861	1755
Subtotal	1435	985	311	9		18	1579	2902
G18	511	490	111	2	0	2	562	1167
G19	812	513	191	8	3	13	893	1621
Subtotal	1323	1003	302	13		15	1455	2788
G12	554	333	26	2	0	9	609	979
G13	675	742	139	4	10	5	743	1643
G14	442	448	139	7	4	6	486	1090
Subtotal	1671	1523	304	27		20	1838	3712
G21	618	476	39	4	4	8	680	1211
G22	651	641	194	7	2	3	716	1563
G20	592	326	124	1	4	0	651	1106
Subtotal	1861	1443	357	22		11	2047	3880
G9	594	450	93	3	2	8	653	1209
G7	931	1308	163	34	13	38	1024	2580
Subtotal	1525	1758	256	52		46	1678	3790
G2	574	328	64	6	0	19	631	1048
G1	569	356	97	3	0	3	626	1085
G26	523	582	97	5	1	2	575	1262
G3	1010	1405	258	58	25	44	1111	2901
Subtotal	2676	2671	516	98		68	2944	6297

Nota: La columna Movimiento obedece al código del movimiento (véanse figuras 29 y 30);

TP: transporte público; C2-P: camión pequeño de dos ejes; C2-G: camión grande de dos ejes (1 tándem). El factor de afectación obedece a la proporción de motocicletas incrementada o disminuida del volumen existente. La columna total representa el total de tránsito mixto.

En la Tabla 13, en sentido contrario, se disminuye el volumen de motocicletas por movimiento en un -10 %, en día pico. Si analizamos el caso del volumen para el movimiento

G6 donde se contaron 685 motocicletas, con un factor de afectación de 1,0, análogo al caso anterior, el 10% de este volumen corresponde a 68,5 motos, se disminuye este valor calculado al volumen actual obteniéndose un valor de 616,5; que redondeado queda en 617 motocicletas. Se procede igual para los demás movimientos y los escenarios con factores de afectación de motocicletas de +20%, +30% y +40%, y de -20%, -30% y -40% para día pico, pueden ser detallados en el *Anexo 3: Volumen calibrado con variación de % de motocicletas día pico*.

Tabla 13. Volumen ajustado con disminución del -10% de motos, día pico

Modo de Transporte – Factor de afectación -10%								
Movimiento	Motocicletas	Autos	TP	C2-P	C2-G	Bicicletas	-10%	Total
G6	685	606	119	1	1	2	617	1346
G5	606	479	2	6	1	2	545	1035
G4	505	484	77	2	1	4	455	1023
Subtotal	1796	1569	198	12		8	1616	3403
G25	584	339	25	0	0	5	526	895
G17	390	534	294	2	3	10	351	1194
Subtotal	974	873	319	5		15	877	2089
G11	54	297	7	1	1	0	48	297
G10	631	441	134	5	2	9	568	1159
Subtotal	685	738	141	9		9	616	1456
G30	652	344	73	0	3	9	587	1016
G31	783	641	238	4	2	9	705	1599
Subtotal	1435	985	311	9		18	1292	2615
G18	511	490	111	2	0	2	460	1065
G19	812	513	191	8	3	13	731	1459
Subtotal	1323	1003	302	13		15	1191	2524
G12	554	333	26	2	0	9	499	869
G13	675	742	139	4	10	5	608	1508
G14	442	448	139	7	4	6	398	1002
Subtotal	1671	1523	304	27		20	1504	3378
G21	618	476	39	4	4	8	556	1087
G22	651	641	194	7	2	3	586	1433
G20	592	326	124	1	4	0	533	988
Subtotal	1861	1443	357	22		11	1675	3508
G9	594	450	93	3	2	8	535	1091
G7	931	1308	163	34	13	38	838	2394
Subtotal	1525	1758	256	52		46	1373	3485
G2	574	328	64	6	0	19	517	934
G1	569	356	97	3	0	3	512	971
G26	523	582	97	5	1	2	471	1158

Modo de Transporte – Factor de afectación -10%								
Movimiento	Motocicletas	Autos	TP	C2-P	C2-G	Bicicletas	-10%	Total
G3	1010	1405	258	58	25	44	909	2699
Subtotal	2676	2671	516	98		68	2408	5761

Nota: La columna Movimiento obedece al código del movimiento (véanse figuras 29 y 30);

TP: transporte público; C2-P: camión pequeño de dos ejes; C2-G: camión grande de dos ejes (1 tándem). El factor de afectación obedece a la proporción de motocicletas incrementada o disminuida del volumen existente. La columna total representa el total de tránsito mixto.

4.3.2 Escenario para las franjas horarias y día valle.

De la misma manera del caso anterior, en los datos de entrada de volumen VISSIM se diseñan los diferentes escenarios usando los valores de campo calibrados de automóviles, transporte público, camiones C2-P y C2-G; cada escenario con factores de afectación en el volumen de motocicletas del +10%, +20%, +30% y +40% y con afectación en sentido contrario del volumen en -10%, -20%, -30%, -40%. Donde para cada escenario quedan fijos los volúmenes ajustados de automóviles, transporte público, camiones C2-P y C2-G correspondientes a la situación actual.

La Tabla 14 muestra los volúmenes calibrados con incremento de +10% en día valle. Obsérvese el incremento en 10% el volumen de motocicletas por movimiento, en el movimiento G6 donde se contaron 305 motocicletas considerado un factor de afectación de 1,0, lo que equivale al estado actual. El 10% de este valor es 30,5 que se adicionan al valor actual para obtener 335,5 motos en este nuevo escenario, donde el valor redondeado corresponde a 336 motocicletas. Y así sucesivamente para los demás movimientos, ver *Anexo 4: Volumen calibrado con variación de % de motocicletas día valle*.

Tabla 14. Volumen ajustado con incremento de +10 % de motocicletas, día valle.

Movimiento	Modo de Transporte – Factor de afectación +10%							Total
	Motocicletas	Autos	TP	C2-P	C2-G	Bicicletas	+10%	
G6	305	431	41	1	0	6	336	815
G5	225	420	0	0	2	0	248	670
G4	303	249	0	1	0	0	333	583
Subtotal	833	1100	41	4		6	916	2067
G35	159	168	202	1	0	0	175	546
G17	50	132	77	0	0	2	55	266
Subtotal	209	300	279	1		2	230	812
G11	590	624	75	0	1	2	649	1351
G10	631	242	134	5	2	9	694	1086
Subtotal	1221	866	209	8		11	1343	2437
G30	213	261	53	4	2	0	234	554
G31	166	231	165	0	0	0	183	579
Subtotal	379	492	218	6		0	417	1133
G18	393	377	147	0	0	1	432	957
G19	278	380	148	5	0	2	306	841
Subtotal	671	757	295	5		3	738	1798
G12	545	405	209	1	0	0	600	1215
G13	437	331	32	0	0	0	481	844
G14	463	290	0	5	2	3	509	809
Subtotal	1445	1026	241	8		3	1590	2868
G21	482	360	182	0	0	0	530	1072
G22	399	312	142	0	0	0	439	893
G20	640	511	132	5	2	0	704	1354
Subtotal	1521	1183	456	7		0	1673	3319
G9	262	508	59	2	0	0	288	857
G7	931	453	171	16	5	38	1024	1707
Subtotal	2164	1690	361	28		38	2380	2564
G2	382	230	8	1	0	2	420	661
G1	306	365	0	1	1	0	337	704
G26	239	163	230	0	1	0	263	657
G3	570	654	222	18	10	30	627	1561
Subtotal	1497	1412	460	32		32	1647	3583

Nota: La columna Movimiento obedece al código del movimiento (véanse figuras 29 y 30);

TP: transporte público; C2-P: camión pequeño de dos ejes; C2-G: camión grande de dos ejes (1 tándem). El factor de afectación obedece a la proporción de motocicletas incrementada o disminuida del volumen existente. La columna total representa el total de tránsito mixto.

En la Tabla 15 se disminuye en -10% de motos en día valle, correspondientes a los escenarios codificados 1 y 5. En el movimiento G6 se contaron 305 motocicletas con factor de afectación 1,0 correspondiente también al estado actual. El 10 % de este valor es 30,5 que se adiciona al valor actual para obtener un número de 274,5.

Se muestra un valor redondeado de 275 motocicletas para este escenario, y se sigue lo mismo, para el resto de movimientos de la tabla. Los demás escenarios con afectación de motocicletas de +20%, +30% y +40%, e igualmente de -20%, -30% y -40% de motocicletas para día valle, se muestran en detalle en el *Anexo 4: Volumen calibrado con variación de % de motocicletas día valle*.

Tabla 15. Volumen ajustado con disminución de -10 % de motocicletas, día valle.

Movimiento	Modo de Transporte – Factor de afectación -10%							Total
	Motocicletas	Autos	TP	C2-P	C2-G	Bicicletas	-10%	
G6	305	431	41	1	0	6	275	1059
G5	225	420	0	0	2	0	203	850
G4	303	249	0	1	0	0	273	826
Subtotal	833	1100	41		4	6	750	2734
G35	159	168	202	1	0	0	143	673
G17	50	132	77	0	0	2	45	306
Subtotal	209	300	279		1	2	188	979
G11	590	624	75	0	1	2	531	1823
G10	631	242	134	5	2	9	568	1591
Subtotal	1221	866	209		8	11	1099	3414
G30	213	261	53	4	2	0	192	725
G31	166	231	165	0	0	0	149	711
Subtotal	379	492	218		6	0	341	1436
G18	393	377	147	0	0	1	354	1272
G19	278	380	148	5	0	2	250	1063
Subtotal	671	757	295	5		3	604	2335
G12	545	405	209	1	0	0	491	1651
G13	437	331	32	0	0	0	393	1193
G14	463	290	0	5	2	3	417	1180
Subtotal	1445	1026	241		8	3	1301	4024

Movimiento	Modo de Transporte – Factor de afectación -10%							Total
	Motocicletas	Autos	TP	C2-P	C2-G	Bicicletas	-10%	
G21	482	360	182	0	0	0	434	1458
G22	399	312	142	0	0	0	359	1212
G20	640	511	132	5	2	0	576	1866
Subtotal	1521	1183	456	7		0	1369	4536
G9	262	508	59	2	0	0	236	1067
G7	931	453	171	16	5	38	838	2452
Subtotal	2164	1690	361	28		38	1948	6229
G2	382	230	8	1	0	2	344	967
G1	306	365	0	1	1	0	275	948
G26	239	163	230	0	1	0	215	848
G3	570	654	222	18	10	30	513	2017
Subtotal	1497	1412	460	32		32	1347	4780

Nota: La columna Movimiento obedece al código del movimiento (véanse figuras 29 y 30);

TP: transporte público; C2-P: camión pequeño de dos ejes; C2-G: camión grande de dos ejes (1 tándem). El factor de afectación obedece a la proporción de motocicletas incrementada o disminuida del volumen existente. La columna total representa el total de tránsito mixto.

www.bdigital.ula.ve

4.4 Medición de la velocidad

4.4.1 Regresión lineal para el ajuste de la velocidad con radar.

El ajuste de la velocidad es un proceso que puede realizarse mediante regresión lineal, considerando la toma de velocidades reales (aplicando el método tiempo vs distancia fija) y por el método doppler con radar, método que permite la captación masiva de datos más fácilmente en campo. La calibración del equipo de radar fue necesaria, para compensar el posible error cometido al momento de medir la velocidad. Estos errores pueden darse por cambios de temperatura, mala ubicación del radar, factor humano en la apreciación de lecturas, desgaste del equipo, entre otros.

Con los datos colectados en un experimento corto, se realiza la correlación lineal mediante comparación de la velocidad medida versus la velocidad tomada con radar. Los datos

fueron tomados en los puntos más representativos del tramo de estudio, donde se observó mayor presencia vehicular. La figura 34 muestra los segmentos de Arterial donde fueron tomadas las velocidades de campo (en los puntos P1, P2 y P3), lugares específicos correspondientes a los puntos medios de segmento, para poder luego considerar, la velocidad puntual como velocidad media del recorrido. Se considera un color azul para distinguir las velocidades captadas en sentido Noroccidente y hacia el Suroriente un color verde.

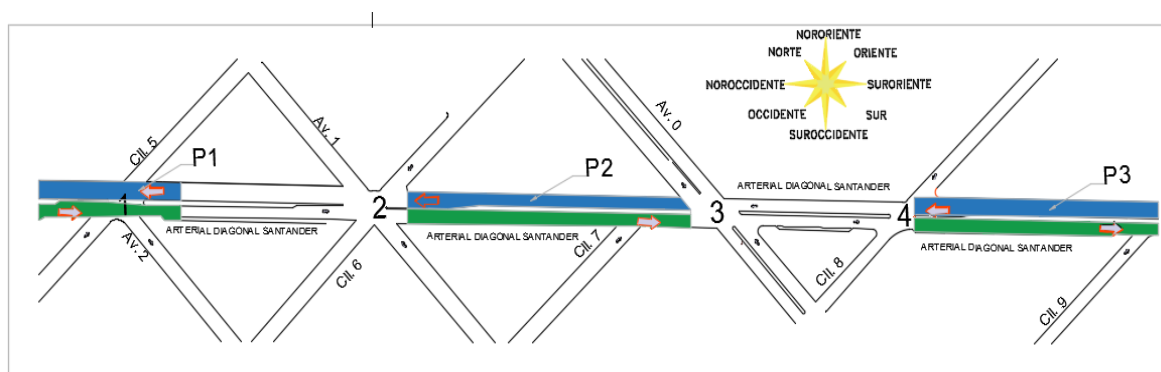


Figura 34. Localización de los puntos P1, P2 y P3 para ajuste

La Tabla 16 contiene de forma tabulada la data (2 muestras en cada punto y en cada sentido) procesada sobre la velocidad medida con el método *tiempo vs distancia fija*, y la velocidad captada con radar, para dibujar su calibración en la figura 35. Se puede observar en la primera columna de la tabla la ubicación de cada punto de toma de lecturas, se toman dos lecturas en cada punto en cada sentido Suroriente (SO) y Nororiente (NO), tiempo recorrido en segundos por los vehículos, distancia fija asumida entre marcas de acuerdo a la velocidad de circulación, lo que produce la velocidad medida real. Para la obtención de cada registro de velocidad se aplican ambos métodos de medición en forma simultánea, para garantizar una adecuada calibración del parámetro.

Tabla 16. Velocidad de recorrido según tiempo vs distancia y velocidad captada con radar

Ubicación	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad de recorrido (m/s)	Velocidad de recorrido (km/h)	Velocidad con radar (km/h)
P1 SO	3,03	20	6,6	24	20
P1 SO	2,95	20	6,8	24	22
P2 SO	2,62	20	7,6	27	22
P2 SO	2,52	20	7,9	29	25
P3 SO	2,44	20	8,2	30	27
P3 SO	2,42	20	8,3	30	27
P1 NO	2,3	20	8,7	31	29
P1 NO	2,26	20	8,8	32	31
P2 NO	1,92	20	10,4	38	32
P2 NO	1,88	20	10,6	38	33
P3 NO	1,8	20	11,1	40	36
P3 NO	1,59	20	12,6	45	39

La Tabla 17 contiene los datos de velocidad con radar (V_{Ra}) y velocidad de recorrido medida (V) usadas en el ajuste de regresión.

Tabla 17. Datos de velocidad de recorrido V y velocidad con radar V_{Ra} para calibración

Medición	V_{Ra}	V	V_{Ra}^2	$V_{Ra} * V$	V^2
1	20	24	400	475	565
2	22	24	484	537	596
3	22	27	484	605	755
4	25	29	625	714	816
5	27	30	729	797	871
6	27	30	729	803	885
7	29	31	841	908	980
8	31	32	961	988	1015
9	32	38	1024	1200	1406
10	33	38	1089	1264	1467
11	36	40	1296	1440	1600
12	39	45	1521	1766	2051
Σ	343	388	10183	11496	13006

V_{Ra} = velocidad con radar (km/h) V = velocidad de recorrido (km/h)

La figura 35 muestra la representación gráfica del ajuste de regresión lineal alcanzado que define una relación fuerte entre la velocidad de recorrido medida y la velocidad captada con radar.

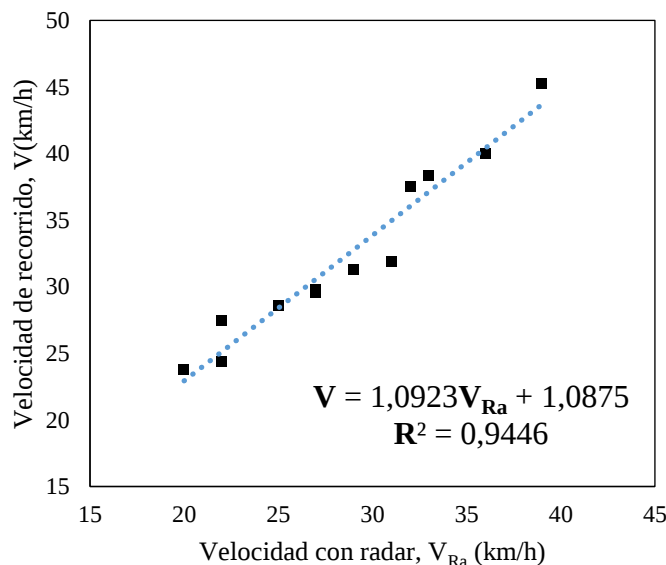


Figura 35. Calibración alcanzada entre la velocidad de recorrido y velocidad con radar.

La ecuación 2 representa la formula matemática utilizada para el ajuste de la velocidad de recorrido en función de los datos obtenidos con radar:

$$V = 1,0923V_{Ra} + 1,0875 \quad (\text{Ecuación 2})$$

El ajuste de regresión genera una expresión con coeficiente de correlación lineal positiva de 0,9446, lo que determina una pendiente de 1 a 45°. Con la ecuación 2 se procede a ajustar la velocidad que será ingresada al software VISSIM, un procedimiento que se mostrará más adelante, y que permite realizar el análisis de simulación de los diferentes escenarios.

La figura 36 muestra el procedimiento de campo donde se fija la distancia de 20 m, como base fijada en la aplicación del método distancia-tiempo, se usan cronómetros de precisión para captación del tiempo considerando las marcas puestas en el borde de vía Arterial. En la medición de la distancia base se emplea cinta métrica, y las marcas son realizadas con cintas adhesivas colocadas sobre la mediana central para facilidad de apreciación por parte de los aforadores.



Figura 36. Referenciación de la distancia base para medición de velocidad de recorrido.

4.5 Velocidad ajustada

Las velocidades de campo se ajustan con la ecuación 2 como se dijo anteriormente, para obtener las velocidades ajustadas que luego deben ser organizadas para su uso en cada simulación con VISSIM y TSIS posteriormente.

4.5.1 Velocidad ajustada para día y hora pico

Se toman las velocidades durante las franjas horarias comprendidas entre las 7:00 y 9:00 horas (de la mañana) y entre las 13:00 y 15:00 horas (de la tarde). Se inicia en la sección P1 sobre la Arterial comprendida entre la intersección con Calle 5 e intersección con Calle 6 en ambos sentidos de circulación (Noroccidente y Suroriente). El segmento correspondiente a P1 tiene una longitud de 135,28 metros, en los primeros 14,19 metros cuenta con un ancho de calzada de 6 metros, y el resto de longitud correspondiente a 121,09 metros, se amplía esta calzada hasta los 8 metros debido a una bahía lateral presente en el total de este recorrido; el segmento en P2 está comprendido entre la intersección con Calle 6 e intersección con Avenida cero en ambos sentidos (Noroccidente y Suroriente), este tramo tiene una longitud de 199,4

metros con ancho de calzada de 8 metros, segmento que a la altura de 136,23 metros recorridos presenta acceso a la Calle 7, una intersección que altera el flujo normal sobre la arterial, incrementando la congestión en forma considerable; El segmento correspondiente a P3 está comprendido entre la intersección con Calle 8 y con Calle 9, constituye 147,16 metros sin interrupción, la calzada tiene un ancho de vía de 6,67 metros en los primeros 9,94 metros, y el restante de longitud, tiene una bahía la cual amplía la calzada hasta 8 metros. Es decir, se seleccionaron estos tramos por mayor facilidad que tienen los vehículos para desarrollar máximas velocidades.

Usando un tamaño representativo de n mediciones de velocidad tomadas con radar, que en esta nueva fase llamaremos V , se procede a ajustar los datos para hallar una velocidad ajustada “ V ajustada”. En las tablas 18, 19 y 20, pueden observarse las velocidades obtenidas en ambos sentidos (Noroccidente y Suroriente) tomadas sobre la arterial *Diagonal Santander* para Autos en día pico, en los segmentos descritos y codificados como P1, P2 y P3.

Las velocidades ajustadas aplicando la ecuación 2 anteriormente obtenida, se muestran en la Tabla 18 para cada uno de los sentidos de circulación en la arterial y punto P1.

Tabla 18. Velocidad ajustada en día pico para el segmento P1 considerando Autos

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
1	34	<u>38</u>	1	28	<u>32</u>
2	40	45	2	25	28
3	45	50	3	32	36
4	39	44	4	28	32
5	28	32	5	29	33
6	25	28	6	28	32
7	32	36	7	24	27
8	32	36	8	27	31
9	44	49	9	17	20
10	29	33	10	24	27
11	26	29	11	26	29
12	25	28	12	28	32

Noroccidente			Surorienté		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
13	27	31	13	24	27
14	29	33	14	33	37
15	27	31	15	36	40
16	26	29	16	26	29
17	19	22	17	32	36
18	31	35	18	35	39
19	52	58	19	25	28
20	33	37	20	23	26
21	29	33	21	33	37
22	23	26	22	60	67
23	26	29	23	27	31
24	25	28	24	28	32
25	26	29	25	41	46
26	33	37	26	26	29
27	30	34	27	22	25
28	29	33	28	40	45
29	34	38	29	60	67
30	32	36	30	47	52
31	36	40	31	32	36
32	42	47	32	32	36
33	44	49	33	31	35
<u>34</u>	<u>49</u>	<u>55</u>	<u>34</u>	<u>52</u>	<u>58</u>
35	35	39	35	28	32
36	36	40	36	31	35
37	44	49	37	34	38
38	32	36	38	35	39
39	32	36	39	33	37
40	34	38	40	31	35
41	28	32	41	51	57
42	30	34	42	26	29
43	36	40	43	26	29
44	34	38	44	25	28
45	34	38	45	22	25
46	29	33	46	39	44
47	31	35	47	29	33
48	37	42	48	33	37
49	35	39	49	34	38
50	39	44	50	36	40
51	34	38	51	29	33
52	24	27	52	30	34
53	40	45	53	31	35
54	60	67	54	38	43
55	65	72	55	37	42
56	66	73	56	39	44
57	42	47	57	36	40
58	40	45	58	39	44
59	24	27	59	31	35
60	22	25	60	38	43
61	25	28	61	31	35
62	28	32	62	28	32
63	24	27	63	29	33
64	27	31	64	48	54

Noroccidente			Surorientado		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
65	23	26	65	29	33
66	28	32	66	44	49
67	33	37	67	44	49
68	37	42	68	41	46
69	36	40	69	25	28
70	30	34	70	34	38
71	30	34	71	28	32
72	34	38	72	34	38
73	30	34	73	32	36
74	28	32	74	28	32
75	34	38	75	35	39
76	30	34	76	42	47
77	36	40	77	30	34
78	38	43	78	32	36
79	37	42	79	28	32
80	35	39	80	27	31
81	37	42	81	37	42
82	32	36	82	28	32
83	35	39	83	50	56
84	37	42	84	54	60
85	32	36	85	41	46
86	35	39	86	43	48
87	34	38	87	45	50
88	31	35	88	36	40
89	26	29	89	41	46
90	29	33	90	24	27
91	36	40	91	31	35
92	55	61	92	32	36
93	48	54	93	30	34
94	39	44	94	29	33
95	40	45	95	26	29
96	34	38	96	24	27
97	37	42	97	24	27
98	31	35	98	46	51
99	32	36	99	40	45
100	23	26	100	40	45
101	29	33	101	35	39
102	31	35	102	34	38
103	22	25	103	38	43
104	44	49	104	25	28
105	32	36			

La Tabla 19 contiene las velocidades ajustadas análogas al caso anterior, en cada sentido del movimiento para el caso de Autos en el segmento P2 y día pico.

Tabla 19. Velocidad ajustada en día pico para el segmento P2 considerando Autos.

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
106	29	<u>33</u>	105	28	<u>32</u>
107	30	34	106	28	32
108	26	29	107	31	35
109	31	35	108	21	24
110	26	29	109	24	27
111	27	31	110	34	38
112	33	37	111	22	25
113	34	38	112	25	28
114	30	34	113	25	28
115	24	27	114	22	25
116	25	28	115	25	28
117	24	27	116	28	32
118	29	33	117	29	33
119	28	32	118	24	27
120	34	38	119	33	37
121	28	32	120	24	27
122	33	37	121	25	28
123	28	32	122	50	56
124	21	24	123	30	34
125	24	27	124	25	28
126	21	24	125	22	25
127	25	28	126	24	27
128	18	21	127	36	40
129	31	35	128	29	33
130	16	19	129	40	45
131	30	34	130	41	46
132	30	34	131	20	23
133	24	27	132	28	32
134	28	32	133	23	26
135	25	28	134	33	37
136	21	24	135	16	19
137	17	20	136	27	31
138	27	31	137	37	42
139	25	28	138	20	23
140	24	27	139	29	33
141	23	26	140	30	34
142	30	34	141	23	26
143	20	23	142	20	23
144	22	25	143	20	23
145	25	28	144	27	31
146	29	33	145	33	37
147	27	31	146	28	32
148	31	35	147	28	32
149	27	31	148	31	35
150	24	27	149	21	24

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
151	27	31	150	24	27
152	29	33	151	34	38
153	25	28	152	22	25
154	23	26	153	25	28
155	34	38	154	25	28
156	30	34	155	22	25
157	23	26	156	25	28
158	24	27	157	46	51
159	21	24	158	41	46
160	23	26	159	53	59
161	24	27	160	59	66
162	22	25	161	40	45
163	28	32	162	37	42
164	23	26	163	34	38
165	30	34	164	41	46
166	23	26	165	49	55
167	30	34	166	41	46
168	21	24	167	52	58
169	28	32	168	45	50
170	24	27	169	35	39
171	21	24	170	43	48
172	40	45	171	41	46
173	26	29	172	35	39
174	32	36	173	35	39
175	28	32	174	26	29
176	34	38	175	49	55
177	28	32	176	27	31
178	34	38	177	35	39
179	29	33	178	37	42
180	35	39	179	42	47
181	30	34	180	42	47
182	25	28	181	52	58
183	17	20	182	30	34
184	25	28	183	29	33
185	17	20	184	28	32
186	18	21	185	53	59
187	36	40	186	39	44
188	26	29	187	44	49
189	31	35	188	45	50
190	23	26	189	38	43
191	26	29			
192	22	25			
193	18	21			
194	29	33			
195	28	32			

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
196	22	25			

La Tabla 20 contiene las velocidades ajustadas en ambos sentidos sobre la arterial *Diagonal Santander* para Autos, código con que se manejan los datos referidos a automóviles en el software VISSIM. Estos datos se corresponden a las mediciones realizadas en el segmento a sección P3 en día pico.

Tabla 20. Velocidad ajustada en día pico para el segmento P3, considerando Autos.

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
197	27	<u>31</u>	190	34	<u>38</u>
198	36	40	191	44	49
199	28	32	192	32	36
200	34	38	193	27	31
201	36	40	194	25	28
202	34	38	195	22	25
203	27	31	196	39	44
204	26	29	197	35	39
205	25	28	198	22	25
206	25	28	199	33	37
207	35	39	200	27	31
208	29	33	201	30	34
209	29	33	202	24	27
210	36	40	203	33	37
211	28	32	204	20	23
212	29	33	205	24	27
213	35	39	206	26	29
214	27	31	207	27	31
215	34	38	208	22	25
216	28	32	209	35	39
217	29	33	210	28	32
218	37	42	211	37	42
219	61	68	212	27	31
220	34	38	213	28	32
221	26	29	214	33	37
222	21	24	215	32	36
223	20	23	216	32	36
224	23	26	217	23	26

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
225	28	32	218	27	31
226	23	26	219	28	32
227	48	54	220	30	34
228	17	20	221	22	25
229	33	37	222	21	24
230	27	31	223	23	26
231	22	25	224	36	40
232	31	35	225	29	33
233	35	39	226	34	38
234	38	43	227	27	31
235	30	34	228	25	28
236	19	22	229	28	32
237	23	26	230	30	34
238	23	26	231	34	38
239	27	31	232	29	33
240	32	36			
241	20	23			
242	20	23			
243	27	31			
244	27	31			
245	23	26			
246	24	27			
247	18	21			
248	26	29			
249	21	24			
250	16	19			
251	25	28			
252	34	38			
253	34	38			
254	29	33			
255	25	28			
256	22	25			
257	27	31			
258	28	32			

De forma análoga se obtienen las velocidades ajustadas para: unidades de Transporte Público, Camión y Motocicletas, códigos con que se identifican los tipos de vehículos en el software VISSIM, en ambos sentidos (Noroccidente y Suroriente) en los tres segmentos

identificados de medición en día pico. Estos resultados son detallados en el *Anexo 5:*

Velocidades ajustadas día y hora pico por segmentos

4.5.2 Velocidad ajustada para día y hora valle

Se tomaron datos de velocidad en el segmento P1 sobre la arterial comprendido entre la Calle 5 y Calle 6, en el segmento P2 entre Calle 6 e intersección con Avenida cero, y en P3 entre Calle 8 y Calle 9, en ambos sentidos de circulación. Se realiza el ajuste a las velocidades, para el caso de día valle, determinando un tamaño n de mediciones de las velocidades tomadas con radar V que luego son ajustadas determinando la V *ajustada*. En la Tabla 21 se muestra la velocidad ajustada en el segmento P1, donde se evidencia que la diferencia en el tamaño n de las mediciones obedece al desbalance del volumen aforado en un sentido y en otro, para el caso del automóvil.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 21. Velocidad ajustada en día valle para el segmento P1, considerando Autos

Noroccidente			Surorientado		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
1	22	25	1	39	44
2	24	27	2	37	42
3	26	29	3	42	47
4	21	24	4	48	54
5	22	25	5	34	38
6	23	26	6	39	44
7	20	23	7	44	49
8	17	20	8	38	43
9	18	21	9	34	38
10	19	22	10	34	38
11	17	20	11	32	36
12	20	23	12	30	34
13	26	29	13	38	43
14	21	24	14	40	45
15	24	27	15	44	49
16	20	23	16	41	46
17	22	25	17	46	51

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
18	28	32	18	36	40
19	22	25	19	36	40
20	19	22	20	29	33
21	34	38	21	36	40
22	27	31	22	26	29
23	18	21	23	34	38
24	25	28	24	37	42
25	28	32	25	34	38
26	29	33	26	40	45
27	18	21	27	34	38
28	31	35	28	40	45
29	35	39	29	28	32
30	24	27	30	29	33
31	23	26	31	30	34
32	34	38	32	40	45
33	23	26	33	32	36
34	26	29	34	34	38
35	19	22	35	37	42
36	22	25	36	35	39
37	22	25	37	39	44
38	29	33	38	33	37
39	19	22	39	20	23
40	20	23	40	27	31
41	21	24	41	43	48
42	20	23	42	28	32
43	21	24	43	25	28
44	21	24	44	27	31
45	27	31	45	28	32
46	23	26	46	23	26
47	27	31	47	36	40
48	19	22	48	36	40
49	22	25	49	38	43
50	16	19	50	39	44
51	20	23	51	41	46
52	17	20	52	39	44
53	24	27	53	44	49
54	35	39	54	58	64
55	30	34	55	28	32
56	25	28	56	24	27
57	28	32	57	30	34
58	31	35	58	38	43
59	17	20	59	43	48

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
60	20	23	60	40	45
61	28	32	61	28	32
62	19	22	62	24	27
63	25	28	63	27	31
64	25	28	64	25	28
65	21	24	65	52	58
66	25	28	66	32	36
67	21	24			
68	22	25			
69	20	23			
70	29	33			
71	21	24			
72	37	42			
73	25	28			
74	41	46			
75	41	46			
76	27	31			
77	33	37			
78	27	31			
79	24	27			
80	27	31			
81	30	34			
82	30	34			
83	21	24			
84	22	25			
85	30	34			
86	29	33			
87	23	26			
88	31	35			
89	24	27			
90	25	28			
91	29	33			
92	24	27			
93	21	24			
94	27	31			
95	22	25			
96	26	29			
97	22	25			
98	20	23			
99	22	25			
100	21	24			
101	22	25			

Noroccidente			Surorientado		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
102	14	16			
103	22	25			
104	22	25			
105	23	26			
106	24	27			
107	22	25			
108	18	21			
109	23	26			
110	20	23			
111	24	27			
112	23	26			
113	36	40			
114	17	20			
115	18	21			
116	22	25			
117	29	33			
118	18	21			
119	18	21			
120	25	28			
121	27	31			
122	18	21			
123	20	23			
124	21	24			
125	22	25			
126	22	25			
127	22	25			
128	20	23			
129	21	24			
130	22	25			
131	26	29			
132	19	22			
133	20	23			
134	21	24			
135	22	25			
136	23	26			
137	20	23			
138	18	21			
139	17	20			
140	28	32			
141	20	23			
142	29	33			
143	19	22			

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
144	22	25			
145	25	28			
146	25	28			
147	22	25			
148	23	26			
149	24	27			
150	23	26			
151	23	26			
152	30	34			
153	26	29			

La Tabla 22 muestra los datos para Automóvil en ambos sentidos en día valle para el segmento P2. Es un caso similar al anterior, se observa más cantidad de mediciones en el sentido Noroccidente que en el sentido Surorientes producto del desbalance del tránsito.

Tabla 22. Velocidad ajustada en día valle para el segmento P2, considerando Autos

Noroccidente			Surorientes		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
154	32	36	67	28	32
155	31	35	68	31	35
156	32	36	69	35	39
157	28	32	70	23	26
158	28	32	71	30	34
159	29	33	72	26	29
160	26	29	73	28	32
161	31	35	74	18	21
162	25	28	75	41	46
163	30	34	76	32	36
164	39	44	77	40	45
165	29	33	78	40	45
166	31	35	79	39	44
167	29	33	80	38	43
168	35	39	81	31	35
169	23	26	82	39	44
170	27	31	83	36	40
171	32	36	84	25	28
172	29	33	85	30	34
173	27	31	86	32	36

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
174	28	32	87	30	34
175	20	23	88	30	34
176	23	26	89	21	24
177	19	22	90	26	29
178	18	21	91	20	23
179	25	28	92	32	36
180	23	26	93	32	36
181	21	24	94	30	34
182	18	21	95	20	23
183	33	37	96	18	21
184	33	37	97	34	38
185	20	23	98	31	35
186	22	25	99	25	28
187	23	26	100	23	26
188	34	38	101	34	38
189	36	40	102	26	29
190	48	54	103	18	21
191	28	32	104	17	20
192	29	33	105	27	31
193	25	28	106	28	32
194	20	23	107	37	42
195	19	22	108	36	40
196	25	28	109	26	29
197	29	33	110	27	31
198	27	31	111	28	32
199	20	23	112	26	29
200	39	44	113	19	22
201	35	39	114	33	37
202	32	36	115	28	32
203	29	33	116	19	22
204	32	36	117	69	76
205	24	27	118	20	23
206	21	24	119	24	27
207	38	43	120	20	23
208	39	44	121	22	25
209	37	42	122	24	27
210	30	34			
211	24	27			
212	27	31			
213	22	25			
214	30	34			
215	29	33			

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
216	21	24			
217	23	26			
218	20	23			
219	19	22			
220	31	35			
221	32	36			
222	34	38			
223	22	25			
224	28	32			
225	35	39			
226	33	37			
227	24	27			
228	26	29			
229	21	24			
230	22	25			
231	25	28			
232	23	26			
233	17	20			
234	26	29			
235	30	34			
236	32	36			
237	23	26			
238	45	50			
239	42	47			
240	32	36			
241	34	38			
242	37	42			
243	31	35			
244	37	42			
245	23	26			
246	32	36			
247	37	42			
248	25	28			
249	32	36			
250	27	31			
251	37	42			
252	24	27			
253	24	27			
254	25	28			
255	27	31			
256	21	24			
257	36	40			

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
258	31	35			
259	44	49			
260	40	45			
261	34	38			
262	37	42			
263	27	31			
264	27	31			
265	31	35			
266	33	37			
267	21	24			
268	32	36			
269	31	35			
270	33	37			
271	34	38			
272	31	35			
273	30	34			
274	39	44			

La Tabla 23 muestra los datos de velocidad ajustada para Automóvil en ambos sentidos y para el día valle en el segmento P3. En este caso se observa el tránsito mayor en el sentido Suroriente a diferencia del resto de segmentos.

Tabla 23. Velocidad ajustada en día valle para el segmento P3, considerando Autos

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
275	30	34	123	26	29
276	34	38	124	21	24
277	25	28	125	32	36
278	28	32	126	27	31
279	26	29	127	29	33
280	28	32	128	22	25
281	32	36	129	19	22
282	26	29	130	22	25
283	24	27	131	24	27
284	35	39	132	32	36
285	25	28	133	37	42
286	21	24	134	26	29
287	21	24	135	33	37

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
288	22	25	136	27	31
289	23	26	137	30	34
290	28	32	138	43	48
291	29	33	139	46	51
292	22	25	140	52	58
293	17	20	141	25	28
294	22	25	142	19	22
295	27	31	143	27	31
296	25	28	144	28	32
297	27	31	145	26	29
298	21	24	146	21	24
299	22	25	147	26	29
300	25	28	148	28	32
301	37	42	149	33	37
302	29	33	150	29	33
303	27	31	151	27	31
304	27	31	152	33	37
305	30	34	153	28	32
306	30	34	154	31	35
307	34	38	155	39	44
308	27	31	156	25	28
309	39	44	157	39	44
310	40	45	158	34	38
311	32	36	159	34	38
312	33	37	160	33	37
313	40	45	161	36	40
314	30	34	162	42	47
315	36	40	163	33	37
316	31	35	164	26	29
317	26	29	165	26	29
			166	32	36
			167	25	28
			168	27	31
			169	24	27
			170	21	24
			171	23	26
			172	17	20
			173	41	46
			174	35	39
			175	33	37
			176	25	28
			177	21	24

Noroccidente			Suroriente		
medición (n)	V	V Ajustada	medición (n)	V	V Ajustada
			178	35	39
			179	28	32
			180	19	22
			181	29	33
			182	31	35
			183	32	36
			184	20	23
			185	22	25
			186	21	24
			187	27	31
			188	25	28
			189	20	23
			190	17	20

Análogamente son captadas las velocidades y procesado su ajuste para los modos restantes de transporte publico, camion y motocicletas, códigos que identifican estos vehículos en la simulación con el software VISSIM, para ambos sentidos y para los tres segmentos identificados en día valle.

Dado lo extenso que puede ser compilar estos resultados, estas velocidades ajustadas pueden verse en detalle en el *Anexo 6: Velocidades ajustadas día y hora valle por segmentos*

4.5.3 Distribución de velocidades usadas en VISSIM.

Las distribuciones de velocidad usadas en las simulaciones se seleccionaron para el día pico, usando los rangos de velocidades sugeridas por VISSIM según el tipo de vehículo analizado. VISSIM permite introducir las velocidades por rango, y el rango está conformado, por un límite inferior y un límite superior. Se utilizaron los datos de *V ajustada* en el día pico para sacar una media y su desviación típica por tipo de vehículo. El valor medio y la desviación permiten luego proporcionar un límite inferior denotado *l_{low}* y un límite superior *l_{high}*.

En la columna *desSpeedDistr*, se da entrada al rango de distribución de velocidad por tipo de vehículo, VISSIM sugiere unos rangos estándar y si existe el rango que necesitamos simplemente se selecciona, de lo contrario, nos da la opción de adicionar una distribución de velocidad particular que sea dada por una media y su desviación. Estos rangos de distribución pueden observarse en la Tabla 24, donde se visualizan los rangos sugeridos por VISSIM para acotar la velocidad en cada vehículo.

Tabla 24. *Distribución estándar de velocidad por tipo de vehículo sugerida por VISSIM*

N	Tipo de vehículo	Distribución Velocidad	Flujo real
1	100:Auto	30:30 km/h	47,000
2	300: Autobús (TP)	30:30 km/h	19,000
3	610:Bicicleta	5:5 km/h	3,000
4	630:Moto	40:40 km/h	32,000
5	650:Camión	30:30 km/h	1,000

En este caso para el tipo de vehículo denominado Auto, la velocidad está comprendida entre 25 y 45 km/h, con lo cual esta rango sugiere modificar su distribución en la columna *Distribución V*. De esta forma, se ajustan los rangos de distribución particulares para los distintos tipos de vehículos de acuerdo a nuestros propios datos de media y desviación, ya que no se corresponden a los estándares sugeridos por VISSIM. De esta forma, se procede a modificar todas las distribuciones y estas pueden ser vistas en la Tabla 25, los nuevos valores límites se corresponden mucho más a las mediciones reales en campo, lográndose ajustar estas distribuciones a una velocidad más idónea. Se observa que no varían las medias pero si la dispersión reflejada por los límites inferior y superior de dichas distribuciones.

Tabla 25. *Distribución de velocidad más idónea aplicada por tipo de vehículo en VISSIM*

N	Tipo de vehículo	Distribución velocidad	Flujo real
1	100:Auto	25:45 km/h	47,00
2	300:Autobús (TP)	25:39 km/h	19.00
3	610:Bicicleta	5:5 km/h	3.000
4	630:Moto	33,9:44,9 km/h	32,000
5	650:Camión	26,5:42,5 km/h	1,000

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO V

SIMULACIÓN CON VISSIM

5.1 Introducción a la simulación con VISSIM

Según Logistics (2012), VISSIM constituye un programa de simulación que puede evaluar la operación del transporte público y privado bajo condiciones de distinta configuración de canales, composición vehicular, semáforos, paradas de transporte publico, peatones, etc., constituye por tanto, una herramienta útil para la evaluación de diferentes alternativas de tránsito y planeación del transporte a través de indicadores de desempeño.

El nombre deriva del alemán *Verkehr In Städten - SIMulation* que traducido al español significa *Simulación del tránsito en ciudades*. Un software de amplia aplicación mundial que permite analizar calles y autopistas, admitiendo la implementación de sistemas *ITS (Intelligent Transport Systems)*, intersecciones, rotondas, verificando los tiempos semafóricos, analizando colas y simulando las interacciones de todos los modos de transporte. Asimismo, permite la modelación del transporte publico, sistemas *BRT (Bus Rapid Transit)*, estaciones de transferencia e intercambiadores modales. Los flujos peatonales también pueden ser modelizados con la suite VISWALK para modelar su interacción. La simulación multimodal se particulariza al modelar muchos componentes, sistemas de tránsito y sus interacciones. Se pueden simular modos tales como: vehículo (particular, transporte publico, camión, motocicleta, etc.); Transporte público (tranvía, transporte publico, etc.); bicicletas y peatones.

5.2 Resultados de velocidad simulada con VISSIM

Se ingresan los datos de entrada a VISSIM incluidos los datos de los escenarios de acuerdo a los factores de afectación de motocicletas planteados, y se procede, a la ejecución de la simulación. La figura 37 muestra un ejemplo de resultados finales que produce VISSIM

para día y hora pico bajo cierto escenario de simulación. En ella se puede ver como ejemplo, que la velocidad simulada para la motocicleta en el movimiento **1:suroriente** tiene un valor de **44,18 km/h** en el conteo 1, el movimiento **2:noroccidente** refleja un valor de **36,75 km/h** en el conteo 12, y el movimiento **1:suroriente** una velocidad deseada de **41,46 km/h** en el conteo 13. Los valores de velocidad deseada (DesSpeed) se extraen de las velocidades analizadas estadísticamente usando valores obtenidos con el software TSIS.

Vehicles In Network												
Select layout...												
Count: 16	No	VehType	Lane	Pos	Speed	DesSpeed	Acceleration	LnChg	SpeedTheor	SpeedDiff	VehType	LaneLink
1	1	630: MOTO	1 - 1	254,554	44,18	44,18	0,00	None	44,18	44,18	630: MOTO	1: suroriente
2	2	630: MOTO	8 - 1	105,825	0,00	44,75	0,00	None	44,75	0,00	630: MOTO	8: AV 0 NORTE
3	3	630: MOTO	6 - 1	74,585	0,00	41,52	0,00	None	41,52	0,00	630: MOTO	6: AV 1
4	4	630: MOTO	1 - 1	180,987	42,89	42,89	0,00	None	42,89	-1,29	630: MOTO	1: suroriente
5	5	630: MOTO	6 - 1	54,325	0,00	43,32	0,00	None	43,32	0,00	630: MOTO	6: AV 1
6	6	100: Car	3 - 1	80,213	0,92	33,30	-0,37	None	33,30	1,06	100: Car	3: calle 5
7	7	630: MOTO	2 - 1	138,019	40,36	41,21	0,18	None	41,21	0,00	630: MOTO	2: noroccidente
8	8	100: Car	1 - 1	96,212	30,82	30,82	0,00	None	30,82	-12,07	100: Car	1: suroriente
9	9	630: MOTO	9 - 1	44,451	0,00	43,87	0,00	None	43,87	0,00	630: MOTO	9: AV 0 SUR
10	10	100: Car	2 - 1	101,429	34,61	33,76	-0,10	None	33,76	-5,65	100: Car	2: noroccidente
11	11	300: Bus	1 - 1	68,569	31,41	31,41	0,00	None	31,41	31,41	300: Bus	1: suroriente
12	12	630: MOTO	2 - 1	75,745	36,75	43,27	-0,01	None	43,27	2,11	630: MOTO	2: noroccidente
13	13	630: MOTO	1 - 1	45,416	30,23	41,46	0,00	None	41,46	-1,18	630: MOTO	1: suroriente

Speed: velocidad; deSpeed: velocidad deseada; Speed theor: velocidad teórica; Speed Diff: velocidad diferencial

Figura 37. Tabla resumen de resultados de velocidad simulada.

5.3 Resultados sobre colas, demoras, emisiones y consumo de gasolina en VISSIM

Los resultados obtenidos mediante la simulación pueden ser exportados en formato Excel para facilidad de manipulación y procesamiento de infinidad de datos. Véase un ejemplo de estos resultados en la Tabla 26 como reporte generado del escenario actual del volumen de tránsito en día y hora pico.

Tabla 26. Resultados de simulación en VISSIM para escenario actual del tránsito en día y hora pico

\$VISION – MOVEMENT EVALUATION: SIMRUN (1)															
TIMEINT	MOVEMENT	QLEN	QLEN MAX	VEHS (ALL)	PERS (ALL)	LOS (ALL)	LOSVAL (ALL)	VEHDELAY (ALL)	PERSDELAY (ALL)	STOPDELAY (ALL)	STOPS (ALL)	EMISSIONS CO	EMISSIONS NOX	EMISSIONS VOC	FUEL CONSUMPTION
0-3600	1-1: surorient@130.0-1: surorient@228.9	6,26	36,7	80	80	LOS_B	2	15,14	15,14	10,01	0,53	58,902	11,46	13,651	0,843
0-3600	1-1: surorient@130.0-3: av2 sur@14.7	1,58	21,21	18	18	LOS_A	1	0,94	0,94	0,73	0,06	7,385	1,437	1,712	0,106
0-3600	1-1: surorient@130.0-5: c1l5 orient@39.2	6,26	36,7	14	14	LOS_A	1	8,81	8,81	4,64	0,43	8,946	1,741	2,073	0,128
0-3600	1-2: noroccidente@632.8- 2: noroccidente@730.0 1-4: c1l 5	4,42	18,13	35	45	LOS_C	3	21,82	19,03	16,76	0,51	25,14	4,891	5,826	0,36
0-3600	1-4: c1l 5 orient@72.6-1: surorient@228.9	10,97	34,27	0	0	LOS_A									
0-3600	1-4: c1l 5 orient@72.6-3: av2 sur@14.7	10,97	34,27	32	32	LOS_C	3	31,92	31,92	25,71	0,75	28,886	5,62	6,695	0,413
0-3600	1-4: c1l 5 orient@72.6-5: c1l5 orient@39.2	10,97	34,27	31	31	LOS_C	3	34,53	34,53	27,94	0,84	31,822	6,191	7,375	0,455
0-3600	1	5,81	36,7	210	220	LOS_C	3	20,03	19,54	15,02	0,56	160,212	31,171	37,131	2,292
0-3600	2-1: surorient@271.5-1: surorient@395.8	40,35	104,16	53	53	LOS_F	6	100,49	100,49	87,66	1,77	115,023	22,379	26,658	1,646
0-3600	2-2: noroccidente@466.3- 2: noroccidente@589.3	17,22	81,08	21	21	LOS_E	5	55,81	55,81	41,85	1,67	32,271	6,279	7,479	0,462
0-3600	2-2: noroccidente@466.3- 7: c1l6 occidente@33.3	17,22	81,08	30	81	LOS_D	4	45,8	70,57	33,87	1,37	38,167	7,426	8,846	0,546
0-3600	2-2: noroccidente@466.3- 9: av1 norte@54.8	17,22	81,08	17	17	LOS_D	4	54,06	54,06	41,9	1,41	24,441	4,755	5,664	0,35
0-3600	2-6: c1l6 occidente@78.2-2: noroccidente@589.3	10,43	38,18	19	19	LOS_D	4	39,88	39,88	31,74	0,79	22,361	4,351	5,182	0,32

0-3600	2-6: cll6 occidente@78.2-7: ccll6 occidente@33.3 2-8: av1 norte@59.0- 2:	10,43	38,18	18	59	LOS_E	5	78,42	155,3	57,8	2,17	34,778	6,766	8,06	0,498
0-3600	noroccidente@589.3 2-8: av1 norte@59.0- 7: cll6	10,51	44,74	1	11	LOS_E	5	56,37	56,37	45,22	1	1,331	0,259	0,309	0,019
0-3600	occidente@33.3 2-8: av1 norte@59.0- 9: av1 norte@54.8	10,51	44,74	4	44	LOS_E	5	77,14	80,31	51,16	2,75	7,094	1,38	1,644	0,101
0-3600	2	10,51	44,74	28	28	LOS_D	4	43,93	43,93	34,18	1,18	34,548	6,722	8,007	0,494
0-3600	3-1: suroriente@448.5-1: suroriente@597.8 3-1: suroriente@448.5- 12: av0 Norte sur@20.4	19,63	104,16	191	333	LOS_E	5	65,73	85,4	52,9	1,53	310,634	60,438	71,992	4,444
0-3600	3-1: suroriente@448.5- 14: av0 sur- norte@56.7 3-2: noroccidente@265.9- 2:	3,05	36,02	22	22	LOS_E	5	73,99	73,99	54,49	2,32	44,414	8,641	10,293	0,635
0-3600	3-1: suroriente@448.5- 14: av0 sur- norte@56.7 3-2: noroccidente@265.9- 2:	62,14	116,96	11	11	LOS_D	4	50,11	50,11	35,97	1,73	15,631	3,041	3,623	0,224
0-3600	3-1: suroriente@448.5- 14: av0 sur- norte@56.7 3-2: noroccidente@265.9- 2:	33,55	110,61	9	9	LOS_E	5	71,29	71,29	59,63	1,11	15,285	2,974	3,542	0,219
0-3600	3-2: noroccidente@265.9- 2:	42,78	116,63	58	109	LOS_D	4	47,13	63,51	31,5	1,62	81,178	15,794	18,814	1,161
0-3600	3-2: noroccidente@265.9- 12: av0 Norte sur@20.4 3-2: noroccidente@265.9- 14: av0 sur- norte@56.7 3-11: av0 Norte sur@61.5-1: suroriente@597.8 3-11: av0 Norte sur@61.5-12: av0 Norte sur@20.4 3-13: av0 sur- norte@33.8-1: suroriente@597.8 3-13: av0 sur- norte@33.8-2:	53,27	128,66	26	26	LOS_D	4	36,32	36,32	29,86	0,81	23,282	4,53	5,396	0,333
0-3600	3-11: av0 Norte sur@61.5-1: suroriente@597.8 3-11: av0 Norte sur@61.5-12: av0 Norte sur@20.4 3-13: av0 sur- norte@33.8-1: suroriente@597.8 3-13: av0 sur- norte@33.8-2:	42,29	129,83	14	14	LOS_B	2	19,21	19,21	11,64	0,5	9,651	1,878	2,237	0,138
0-3600	3-11: av0 Norte sur@61.5-1: suroriente@597.8 3-11: av0 Norte sur@61.5-12: av0 Norte sur@20.4 3-13: av0 sur- norte@33.8-1: suroriente@597.8 3-13: av0 sur- norte@33.8-2:	10,69	36,69	14	14	LOS_E	5	57,55	57,55	48,06	0,93	20,041	3,899	4,645	0,287
0-3600	3-11: av0 Norte sur@61.5-12: av0 Norte sur@20.4 3-13: av0 sur- norte@33.8-1: suroriente@597.8 3-13: av0 sur- norte@33.8-2:	10,69	36,69	23	23	LOS_E	5	62,39	62,39	53,97	0,96	33,731	6,563	7,817	0,483
0-3600	3-13: av0 sur- norte@33.8-1: suroriente@597.8 3-13: av0 sur- norte@33.8-2:	8,43	45,55	5	5	LOS_D	4	54,75	54,75	44,31	1	5,808	1,13	1,346	0,083
0-3600	3-13: av0 sur- norte@33.8-2: noroccidente@412.1	8,43	45,55	10	10	LOS_E	5	68,95	68,95	56,88	1,4	16,602	3,23	3,848	0,238

0-3600	3-13: av0 sur-norte@33.8-14: av0 sur-norte@56.7	8,43	45,55	13	42	LOS_E	5	59,07	72,77	48,55	0,92	17,283	3,363	4,006	0,247
0-3600	3-10012: cll 7 gi diag stder@1.5-1: suroriente@597.8	25,99	86,38	12	156	LOS_F	6	196,14	143,55	134,62	6,42	48,44	9,425	11,226	0,693
0-3600	3-10012: cll 7 gi diag stder@1.5-12: av0 Norte sur@20.4	25,99	86,38	16	16	LOS_F	6	197,68	197,68	151,42	7,19	74,256	14,448	17,21	1,062
0-3600	4-1: suroriente@627.2-1: suroriente@703.6	31,35	129,83	233	457	LOS_E	5	69,77	93,6	52,67	1,97	411,235	80,011	95,308	5,883
0-3600	4-2: noroccidente@155.7- 2: noroccidente@228.3 4-2: noroccidente@155.7- 16: cll8 oriente@16.4	16,1	62,85	95	163	LOS_D	4	48,15	40,16	33,71	1,87	130,655	25,421	30,28	1,869
0-3600	4-15: cll8 oriente@166.0-2: noroccidente@228.3 4-15: cll8 oriente@166.0-16: cll8 oriente@16.4	16,1	62,85	8	72	LOS_D	4	41,45	42,95	16,63	2,25	9,324	1,814	2,161	0,133
0-3600	5-1: suroriente@766.6-1: suroriente@843.4	9,92	30,02	17	17	LOS_D	4	43,85	43,85	33,33	1,47	21,965	4,274	5,091	0,314
0-3600	5-2: noroccidente@15.0- 2: noroccidente@92.5	9,92	30,02	13	59	LOS_F	6	97,81	172,3	77,4	3,08	30,514	5,937	7,072	0,437
0-3600	5-17: cll9 @147.3- 10024: CLL9 GI DIAG STDER@39.1	16,75	62,85	178	445	LOS_D	4	53,72	66,72	39,76	1,76	251,161	48,867	58,209	3,593
0-3600	5-1: suroriente@766.6-1: suroriente@843.4	0	0	34	124	LOS_A	1	6,87	9,59	5,03	0,15	14,27	2,776	3,307	0,204
0-3600	5-2: noroccidente@15.0- 2: noroccidente@92.5	0	0	120	252	LOS_A	1	0,41	0,31	0	0	23,499	4,572	5,446	0,336
0-3600	5-17: cll9 @147.3- 10024: CLL9 GI DIAG STDER@39.1	0,16	12,02	27	105	LOS_F	6	57,85	84,2	33,35	2,44	43,612	8,485	10,107	0,624
0-3600	5	0,05	12,02	181	481	LOS_B	2	10,19	21,02	5,92	0,39	82,304	16,013	19,075	1,177

MOVEMENTEVALUATION: Evaluación de movimientos; SIMRUN: Número de simulaciones ejecutadas; TIMEINT: El intervalo de tiempo en que se procesan los datos; MOVEMENT: Número de conectores desde un enlace entrante específico a un enlace saliente específico desde un nodo. Un movimiento puede contener varios enlaces de secuencia, por ejemplo, a través de conectores paralelos; QLEN: longitud promedio de la cola: longitud promedio de la cola por intervalo de tiempo; QLENMAX: longitud de la cola (máxima): longitud máxima de la cola por intervalo de tiempo; VEHS(ALL): Número de vehículos registrados; PERS(ALL): Número total de usuarios del vehículo; LOS(ALL)= Nivel de servicio: el nivel de calidad de transporte evaluado por las letras A a F en el valor de los valores de densidad (unidades de vehículo / millas / canal) para los niveles de movimiento y borde de acuerdo con el esquema LOS (tipo de esquema de nivel de servicio) definido en la autopista estadounidense Manual de capacidad (HCM); LOSVAL(ALL): Valor de nivel de servicio: el nivel de calidad de transporte que se evalúa de los números 1 a 6 de acuerdo con el esquema LOS establecido. 1 corresponde a A, 6 corresponde a F; VEHDELAY(ALL): Retrasos del vehículo: el retraso promedio de todos los vehículos. Las demoras del vehículo al salir del tiempo de viaje se obtienen restando el tiempo de viaje teórico (ideal) del tiempo de viaje real; PERSDELAY(ALL): El retraso promedio de todos los usuarios del vehículo; STOPDELAY(ALL): El retraso promedio de detención por vehículo en segundos sin detenerse en el estacionamiento; STOPS(ALL): El número promedio de vehículos detenidos por vehículo sin detenerse en el estacionamiento; EMISSIONSCO: Cantidad de monóxido de carbono desperdiciado (gramos); EMISSIONSNOX: Cantidad de óxido de nitrógeno desperdiciado (gramos); EMISSIONSVOC: Cantidad de compuestos orgánicos volátiles (compuestos orgánicos volátiles) (gramos); FUELCONSUMPTION: Cantidad de combustible desperdiciado (galón líquido estadounidense) (1US gal lqd = 3.785 litros).

De forma análoga se ejecutaron las simulaciones de datos en VISSIM para el resto de escenarios en día pico con incrementos en el volumen de motocicletas (+10%, +20%, +30% y +40%), y de igual forma se realizó análisis para el caso de disminución del volumen (-10%, -20%, -30% y -40%). Estos datos se detallan en el *Anexo 7: Datos salida día pico VISSIM con factor de afectación*.

Las salidas correspondientes al día y hora valle se realizaron de igual forma a lo hecho para el día y hora pico, estimando todos los escenarios propuestos desde la situación actual pasando por los distintos aumentos y disminuciones de la proporción de motocicletas hasta el valor más alto que representa el doble de motocicletas. Dichos resultados se encuentran detallados en el *Anexo 8: Datos salida día valle VISSIM con factor de afectación*. Es importante resaltar que fue necesario cambiar la nomenclatura estándar utilizada por el software VISSIM, y para lograr una mejor comprensión de los resultados que genera cada código de movimiento, la nomenclatura asignada también debe ser asociada a una descripción. Véase la Tabla 27.

Tabla 27. Nomenclatura asignada a cada movimiento en los reportes de salida VISSIM

Nomenclatura del movimiento	Descripción del movimiento	Nomenclatura en reporte de salida VISSIM
G2	De arterial sentido Suroriente sale a avenida 2	1-1: suroriente@130.3-1: sur@229.4
G1	Arterial Suroriente sale a Calle 5	1-1: suroriente@130.3-5: cll5 oriente@39.2
G6	Calle 5 Occidente a Calle 5 Oriente	1-4: cll 5 occidente@71.9-5: cll 5 oriente@39.2
G5	Calle 5 Occidente a avenida 2	1-4: cll 5 occidente@71.9-3: av2 sur@20.3
G9	Arterial Noroccidente entra calle 6	2-2: noroccidente@466.3-7: cll6 occidente@33.3
G8	Arterial Noroccidente a avenida 1	2-2: noroccidente@466.3-9: av1 norte@54.8
G10	Calle 6 a arterial Noroccidente	2-6: cll6 occidente@78.2-2: noroccidente@589.3
G11	Calle 6 oriente a calle 6 occidente	2-6: cll6 oriente@78.2-7: cll6 occidente@33.3
G14	Avenida 1 entra arterial Noroccidente	2-8: av1 norte@59.0-2: noroccidente@589.3
G12	Avenida 1 a calle 6	2-8: av1 norte@59.0-7: cll6 occidente@33.3
G13	Avenida 1 del sur a Avenida 1 norte	2-8: av1 norte@59.0-9: av1 norte@54.8
G26	Arterial Suroriente entra avenida 0 sur	3-1: suroriente@448.9-14: av0 sur-norte@56.7

Nomenclatura del movimiento	Descripción del movimiento	Nomenclatura en reporte de salida VISSIM
G25	Arterial Noroccidente entra avenida 0 norte	3-2: noroccidente@265.9-12: av0 Norte sur@20.4
G22	Avenida 0 del sur entra arterial Suroriente	3-11: av0 Norte sur@33.8-1: suroriente@598.4
G19	Avenida 0 del norte a avenida 0 sur	3-11: av0 Norte sur@61.5-12: av0 Norte sur@20.4
G20	Avenida 0 del norte entra arterial Noroccidente	3-13: av0 sur-norte@33.8-2: noroccidente@412.1
G21	Avenida 0 del sur a avenida 0 norte	3-13: av0 sur-norte@33.8-14: av0 sur-norte@56.7
G17	Calle 7 entra arterial Sur-oriente	3-10012: cll 7 gi diag stder@1.6-1: suroriente@598.4
G3	Arterial del Noroccidente a arterial Suroriente	1-1: suroriente@130.3-1: suroriente@229.4
G7	Arterial del Suroriente a arterial noroccidente	2-2: noroccidente@466.3-2: noroccidente@589.3
G31	Calle 8 entra arterial Noroccidente	4-15: cll8 oriente@166.0-2: noroccidente@228.3
G30	Calle 8 oriente a calle 8 occidente	4-15: cll8 oriente@166.0-16: cll8 oriente@16.4

5.4 Tabulación de la información de salida y nuevos análisis aplicados

5.4.1 Análisis de las medias de velocidad resultantes en VISSIM.

Se utilizó el modelo de regresión lineal para observar la variación de la velocidad de acuerdo a los distintos escenarios y franja horaria de simulación. Este modelo es una técnica estadística descriptiva elemental que estudia la relación entre variables y genera una ecuación cuyo coeficiente de correlación lineal representa el grado de ajuste de los datos a la línea de tendencia. Los coeficientes en este caso representarán la tasa de variabilidad según cada escenario organizado, donde hay que destacar, que los valores utilizados corresponden a las medias de velocidad analizadas considerando todos los vehículos y cada escenario. Luego se analiza la velocidad media según cada tipo de vehículo.

5.4.2 Análisis descriptivo de la velocidad mediante tablas y gráficas.

El análisis se plantea en función de describir mediante gráficas y valores tabulados los resultados obtenidos después de la aplicación del software VISSIM.

5.5 Velocidades medias VISSIM considerando todos los vehículos

En la Tabla 28 se muestran los resultados del cálculo de la media, desviación y error cometido, usando el parámetro velocidad promedio obtenida con VISSIM según cada factor de afectación de motocicleta para el período de franjas horarias pico, considerando el subtotal de vehículos.

Para una velocidad de recorrido más real se usan los datos de velocidad VISSIM considerando los ceros, considerando los vehículos parados dentro de la corriente de tránsito en los intervalos de medición. Y en la figura 38 usando la información de la tabla 28, muestra el resultado del descenso de la velocidad media de recorrido de acuerdo al aumento del factor de afectación motocicleta.

Tabla 28. Velocidad media VISSIM en hora pico, considerando el subtotal de vehículos en el período

F (factor afectación)	V _{VISSIM} media	Desviación	error
0	11,65	16,15	0,654863
0,2	12,19	17,26	0,699886
0,4	10,5	15,87	0,643764
0,6	10,45	15,81	0,641605
0,8	11,21	16,31	0,661499
1	8,64	14,93	0,605546
1,2	5,18	11,48	0,465753
1,4	10,44	15,9	0,645005
1,6	9,49	15,76	0,639337
1,8	5,87	12,18	0,493774
2	5,4	10,66	0,432148

Tasa de variabilidad de la velocidad de -2,9823 de acuerdo al factor de afectación de motocicleta en hora pico

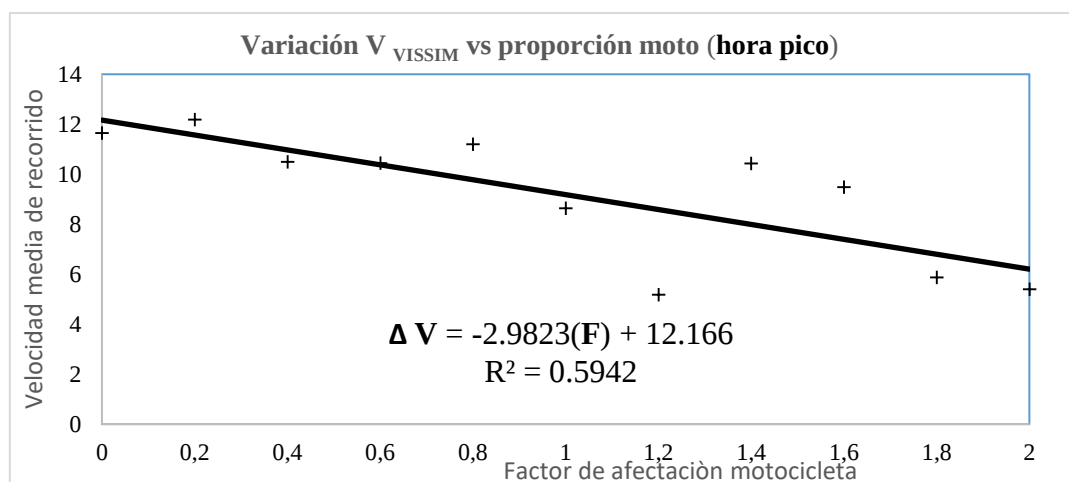


Figura 38. Variación velocidad VISSIM versus factor de afectación moto en hora pico.

En la tendencia se observa una línea que describe un descenso de la velocidad media de recorrido en todos los vehículos de 12 a 6 km/h, que puede ser útil en función del incremento de motocicletas aplicado, desde una condición actual sin moto hasta una condición que duplica la cantidad de moto. Se puede observar que un factor de 0,60 parece estar más cerca de la línea de tendencia, pero se debe hacer un estudio más robusto de acuerdo a la dispersión que subyace en el valor de la media, intentando definir mejor este factor de afectación e la motocicleta. La Tabla 29 y figura 39, muestran los resultados de velocidad media en el caso de hora valle.

Tabla 29. Velocidad media VISSIM en hora valle, considerando el subtotal de vehículos en el período

F (factor afectación)	V_{VISSIM} media	Desviación	error
0	12,65	16,95	0,69086
0,2	8,46	13,09	0,53357
0,4	13,08	17,71	0,72168
0,6	11,22	16,92	0,6895
0,8	12,06	17,04	0,69685
1,0	10,84	16,49	0,62465
1,2	12,61	17,18	0,76284
1,4	12,2	16,75	0,68441
1,6	11,34	16,31	0,66474
1,8	12,51	16,81	0,6852

F (factor afectación)	V _{VISSIM} media	Desviación	error
2,0	11,22	16,54	0,67415

Tasa de variabilidad de la velocidad de 0,2882 de acuerdo al factor de afectación de motocicleta en hora valle

La figura 39 muestra una línea de tendencia de velocidad contraria al caso anterior, en ascenso de 11 a 12 km/h, un cambio irrelevante, en función al factor afectación moto.

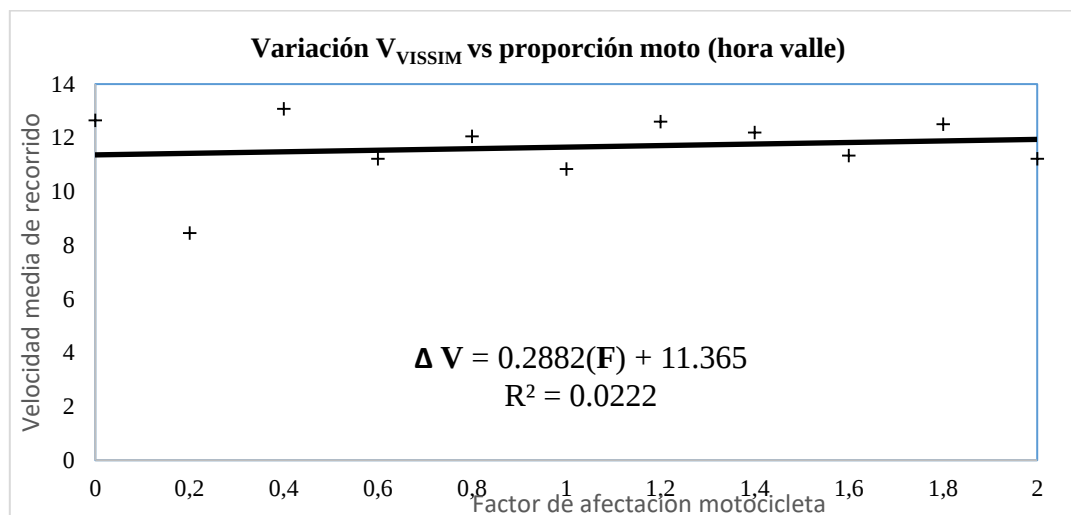


Figura 39. Variación velocidad VISSIM versus factor de afectación moto en hora valle.

5.6 Análisis descriptivo de velocidades medias VISSIM por tipo de vehículo

La Tabla 30 contiene los resultados de la velocidad media VISSIM de acuerdo a cada modo de transporte bajo los diversos escenarios simulados según el factor de afectación de la motocicleta (proporción de motos sumada o restada al volumen general mixto).

Tabla 30. Velocidad media VISSIM simulada por tipo de vehículo y distinto escenario moto para día pico

Incremento o disminución del volumen de motocicletas										
V x modo (km/h)	Actual	+10%	+20%	+30%	+40%	-10%	-20%	-30%	-40%	S/M
Automóvil	35,52	32,48	32,55	32,60	32,56	32,55	32,47	32,48	32,44	32,42
T Público	27,50	27,45	27,27	27,13	27,39	27,27	27,50	27,43	27,45	27,53
Camión	26,88	27,13	27,18	26,85	26,91	26,98	27,03	27,37	27,00	27,39
Moto	42,44	42,44	42,48	42,46	42,49	42,36	42,38	42,34	42,36	42,42
Bicicleta	12,79	13,76	13,78	13,44	13,56	13,46	13,46	13,71	13,01	13,30

S/M: condición sin motocicletas.

La figura 40 muestra valores invariantes de la velocidad para cada uno de los modos componentes del tránsito bajo la condición horaria pico, donde la velocidad media resulta similar tanto para el caso del Autobús como el Camión, no así en el resto, donde destaca la media de velocidad de la motocicleta por encima de todo el resto de modos, como era de esperarse.

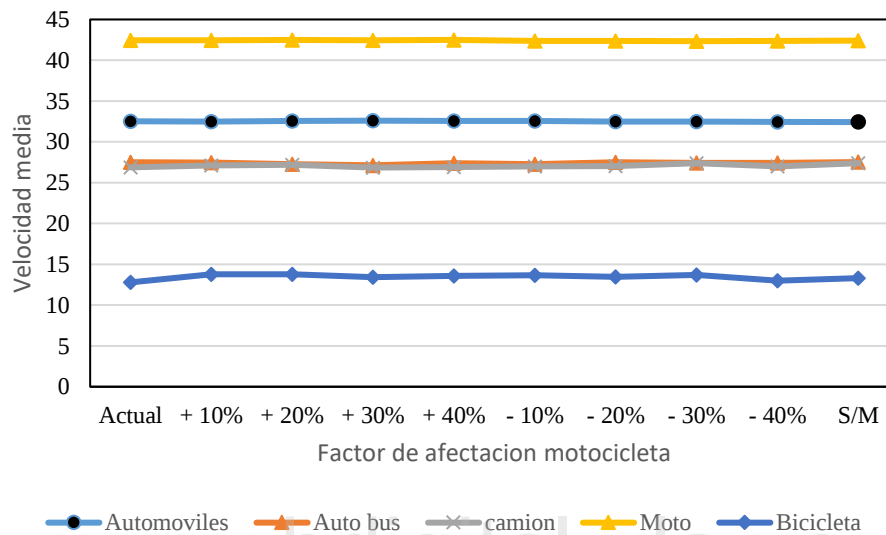


Figura 40. Velocidad media VISSIM según factor de afectación moto en día pico (distinto tipo de vehículo).

5.7 Análisis de la demora media VISSIM según escenario y tránsito mixto

De la información emanada del *Anexo 7: Datos salida día pico VISSIM con factor de afectación*, se extrae la demora media en segundos mostrada en la Tabla 31 que muestra los resultados de demora en día pico para todos los escenarios simulados, considerando todos los tipos de vehículos que transitan en la Arterial. Se observa que el parámetro mantiene poca variabilidad, lo cual es afín, a lo encontrado en la variable velocidad.

Tabla 31. Demora media VISSIM según escenarios de afectación motocicleta y tránsito mixto

Escenario	*Demora media (s)
Actual	42,2
+10	38,9
+20	40,4
+30	38,5

Escenario	*Demora media (s)
-10	41,35
-20	43,62
-30	37,62
-40	36,35
Sin motocicletas	35,99

*Stopdelay (All): retraso o demora.

Teniendo en cuenta la información contenida en la Tabla 31 podemos dibujar la figura 41, donde se visualiza mejor la poca diferencia que existe entre la condición operativa del flujo actual con motos y la situación hipotética de flujo sin motocicleta. La diferencia alcanza un valor de 6 s entre ambos valores extremos, este diferencial no es tan relevante y hace lucir muy cercano los escenarios con y sin motos: Se observan puntos por encima que pueden ser inconsistentes de acuerdo a los escenarios planteados con menos motos.

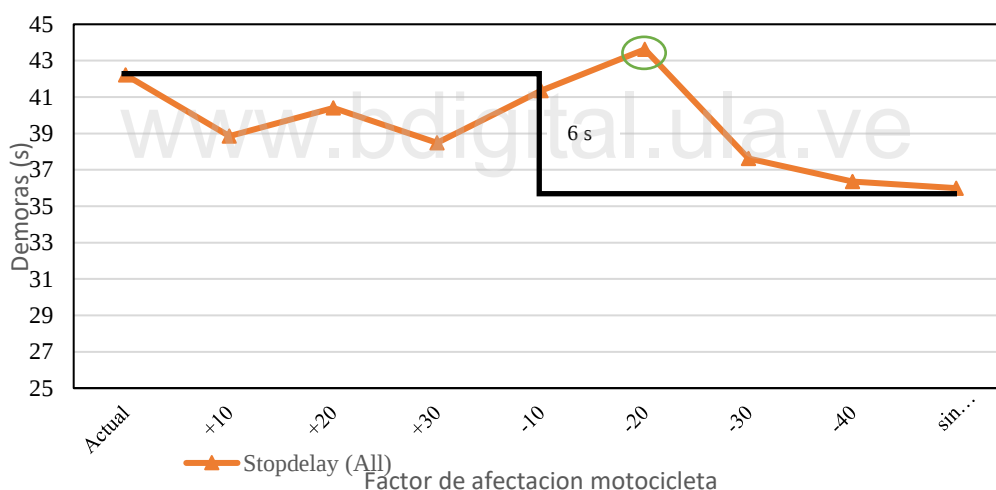


Figura 41. Variación de la demora media VISSIM según factor de afectación de la motocicleta.

5.8 Análisis de longitud de cola media VISSIM según escenario y tránsito mixto

Análogamente al caso anterior, la información contenida en el Anexo 7: Datos salida día pico VISSIM con factor de afectación, permite extraer los resultados sobre longitud de cola mostrados en la Tabla 32. Estos valores corresponden a los resultados de salida del parámetro longitud de cola en día pico para cada escenario y tránsito mixto de vehículos.

Tabla 32. Longitud de cola media VISSIM según afectación de motocicleta y tránsito mixto

Escenario	Longitud de cola (m)
Actual	16,4
+10	15,6
+20	16,1
+30	15,5
-10	13,50
-20	16,17
-30	12,46
-40	11,75
Sin motocicletas	10,12

Longitud de cola (qlen)

En la figura 42 muestra el resultado de longitud de cola según los escenarios de motocicletas simulado. Este parámetro es medido en metros y representa una diferencia de 6 m aproximadamente, lo que representa la ocupación de un vehículo en cola y luce consistente en cuanto a su poca diferencia, con el análisis anterior.

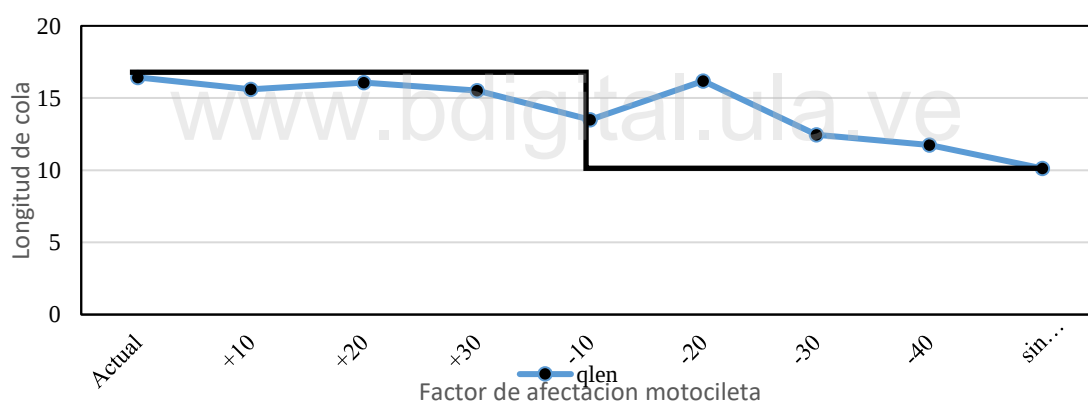


Figura 42. Longitud de cola media según factor de afectación motocileta.

5.9 Análisis del nivel de servicio de la arterial según VISSIM

Con los datos provenientes del Anexo 7: Datos salida día pico VISSIM con factor de afectación, se construye la Tabla 33, que corresponde a los resultados sobre el nivel de servicio en la arterial. En el software VISSIM el nivel de servicio es representado según las letras desde la A hasta la F, y sigue lo dispuesto en el manual de capacidad HCM. Se observa que un valor del nivel de servicio (*losval*) de 5 en todos los factores de afectación de motocicletas, lo que es equivalente a un nivel de servicio E para todos los

escenarios. Este representa poca sensibilidad de los escenarios planteados de acuerdo al nivel de servicio de la arterial e impacto nulo de la motocicleta en este aspecto.

Tabla 33. *Análisis del nivel de servicio de la arterial con VISSIM*

Escenario	Nivel de servicio
Actual	E
+10	E
+20	E
+30	E
-10	E
-20	E
-30	E
-40	E
Sin motocicletas	E

Nivel de servicio (losval All).

5.10 Confirmación de la categoría de la arterial según HCM

Según lo visto, la arterial *Diagonal Santander* cumple los criterios esenciales para categorizarse como una vía **Arterial menor urbana**, ya que tan solo no cumple con el criterio de los estacionamientos en calle de muy baja ocurrencia por las medidas de vigilancia sobre este aspecto del tránsito. Con base en la combinación de las dos categorías clasificatorias descritas en el HCM, las vías urbanas se pueden clasificar en 4 categorías funcionales, como se indica en la Tabla 34. La arterial analizada cumple con la mayoría de criterios que determinan una clasificación que está determinada por la convergencia de ambas categorías, la funcional y la de diseño. Una vez precisada la clasificación de la arterial bajo estudio en esta tabla 34, se puede ahora razonar sobre la metodología utilizada para definir el nivel de servicio.

Tabla 34. *Nivel de servicio por categoría de arterial urbana según HCM-2000*

CATEGORIA	I	II	III	IV
Rango de velocidad de flujo libre (FFS)	89 a 72 km/h	72 a 56 km/h	56 a 48 km/h	48 a 40 km/h
FFS Típico	80 km/h	60 km/h	56 km/h	48 km/h
NIVEL DE SERVICIO	VELOCIDAD DE VIAJE (Km/h)			
A	>68	>56	>48	>40
B	>55 - 68	>45 - 56	>39 - 48	>31 - 40
C	>43 - 55	>35 - 45	>29 - 39	>21 - 31

CATEGORIA	I	II	III	IV
D	>34 - 43	>27 - 35	>23 - 29	>14 - 21
E	>26 - 34	>21 - 27	>16 - 23	>11 - 14
F	≤26	≤21	≤16	≤11

FFS: velocidad en flujo libre. **Fuente:** HCM

Según el rango la velocidad obtenida en el escenario actual nos permite visualizar una velocidad promedio de **35 km/h** en los automóviles lo que ubica a la arterial en el rango > 27-35 que define un nivel de servicio D. Sin embargo, la velocidad en flujo libre experimentada en estos tramos resulta superior y más cercana a la velocidad desarrollada por la motocicleta. Un valor de **45 km/h** para la velocidad en flujo libre es el límite alcanzable de acuerdo a las características observadas de la arterial, lo que en conjunto determina, que se trata de una **Arterial menor de Categoría IV**. Véase la Tabla 35.

Tabla 35. Clasificación basada en la combinación de la categoría funcional y de diseño

CATEGORÍA DE DISEÑO	CATEGORÍA FUNCIONAL	
	Arteria principal	Arteria menor
Alta - Velocidad	I	N/A
Suburbana	II	II
Intermedia	II	III O IV
Urbana	III O IV	IV

Fuente: HCM

CAPITULO VI

PROCESAMIENTO DE DATOS PARA SIMULACIÓN CON TSIS

6.1 Estructuración y codificación de la red Arterial en TSIS

6.1.1 Caracterización y codificación en TSIS.

La caracterización entera de la Arterial se hace necesaria para poder construir la red base de estudio dentro de TSIS. En general, la Arterial Diagonal Santander estudiada, queda representada por una nube de veintiún (21) nodos interconectados con enlaces, elementos que en conjunto deben codificarse. Los enlaces principales a estudiar están dispuestos sobre la Arterial de acuerdo al sentido de circulación de los vehículos y se corresponden con una secuencia de enlaces con nodos externos (seriados > 8000) y nodos internos (seriados a partir de 1), como sigue:

- a) **Suroriente** → Enlaces (8001,8); (8,1); (1,2); (2,5); (5,3); (3,4); (4,6); (6,7) y (7,8002);
- b) **Noroccidente** → Enlaces (8002,7); (7,4); (4,3); (3,2); (2,1); (1,8) y (8,8001).

La Figura 43 muestra la red codificada dentro de TSIS de acuerdo a las coordenadas UTM de cada nodo o intersección vial. Sobre esta red base se introduce toda la data geométrica, de volúmenes, de distribución de los volúmenes en los nodos, del porcentaje de camiones, las rutas y paradas de transporte público, el control de semáforo, peatones, esencialmente.

Es decir, constituye una red base cargada con toda la información geométrica, condiciones de control y de tránsito, que facilita el generar cada escenario sólo con variar la proporción de motocicletas a ser simuladas. Las coordenadas utilizadas para localizar dicha red se resumen en la Tabla 36, seguidamente.

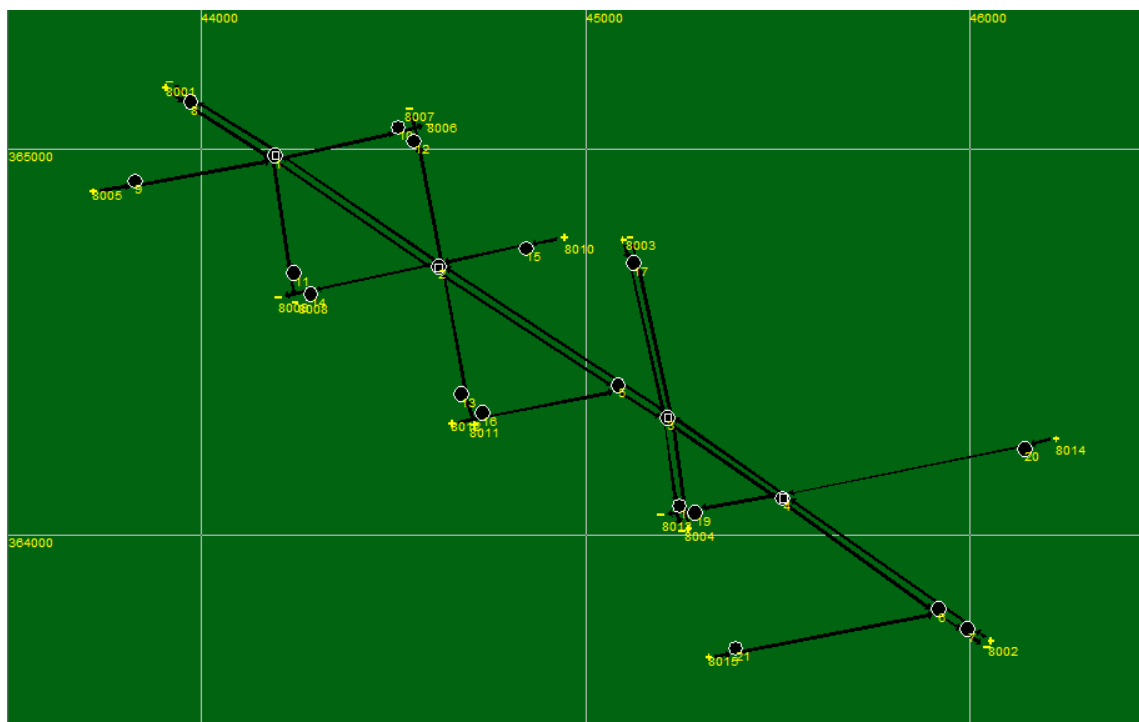


Figura 43. Codificación y configuración geométrica de la red que contiene la Arterial estudiada.

Fuente: TSIS

Para un mejor manejo de la red, las coordenadas UTM originales son convertidas a unidades inglesas y luego trasladadas lo más cerca posible al punto (0,0) de origen de coordenadas en TSIS, preservando el dimensionamiento geométrico real de la Arterial y una localización XY más aceptable por TSIS.

Tabla 36. Coordenadas XY trasladadas a X'Y' de cada nodo de la red Arterial

Nodo	UTM (m)		UTM (pies)		X Y		UTM trasladada	
	Este (m)	Norte (m)	Este (pies)	Norte (pies)			Ubicación aceptada X' Y'	
1	775469.8	873247.1	2544192	2864984	2544192	2864984	44192	364984
2	775598.8	873158.7	2544616	2864694	2544616	2864694	44616	364694
3	775780.7	873039.5	2545212	2864303	2545212	2864303	45212	364303
4	775872.2	872975.4	2545513	2864093	2545513	2864093	45513	364093
5	775735.7	873064.1	2545065	2864384	2545065	2864384	45084	364385
6	775992.3	872886.7	2545907	2863802	2545907	2863802	45916	363804
7	776019	872871.4	2545994	2863751	2545994	2863751	45994	363751
8	775402.5	873289.5	2543972	2865123	2543972	2865123	43972	365123
9	775358.9	873227	2543828	2864918	2543828	2864918	43828	364918
10	775567.5	873269.4	2544513	2865057	2544513	2865057	44513	365057
11	775484.6	873153.8	2544241	2864678	2544241	2864678	44241	364678
12	775579.7	873258.5	2544553	2865021	2544553	2865021	44553	365021
13	775617.5	873057.5	2544677	2864362	2544677	2864362	44677	364362

Nodo	UTM (m)		UTM (pies)		X Y		UTM trasladada	
	Este (m)	Norte (m)	Este (pies)	Norte (pies)			Ubicación aceptada X' Y'	
14	775497.8	873137.1	2544284	2864623	2544284	2864623	44284	364623
15	775668.3	873173.6	2544844	2864743	2544844	2864743	44844	364743
16	775634.2	873042.7	2544732	2864313	2544732	2864313	44732	364313
17	775753.8	873161.9	2545124	2864704	2545124	2864704	45124	364704
18	775790.3	872968.7	2545244	2864071	2545244	2864071	45244	364071
19	775802.7	872963.8	2545285	2864055	2545285	2864055	45285	364055
20	776064.2	873014.5	2546142	2864221	2546142	2864221	46142	364221
21	775834.5	872856.1	2545389	2863701	2545389	2863701	45389	363701

6.2 Parámetros adicionales sobre transporte público

Para el procesamiento en el software TSIS, se hace necesario realizar no solo la medición de la cantidad de unidades de transporte público en servicio, sino, además, la frecuencia de paso por paradas, tiempo promedio de estancia en parada, tipo de parada, porcentaje de unidades que no paran en parada, localización de parada y definición del camino o ruta. Estos datos constituyen información adicional a la ya obtenida mediante el formato 1 descrito anteriormente.

6.2.1 Codificación de rutas y demás parámetros de transporte público

La red es afectada por una transportación pública que se oferta mediante nueve (9) rutas que son añadidas a la red, con características funcionales específicas y según dos periodos de tiempos de simulación (denominados T1 y T2), períodos correspondientes a una hora cada uno, es decir, 3.600 s de duración. Representando luego un período de medición por franja horaria de dos horas continuas, de 7:00 a 9:00 horas y de 13:00 a 15:00 horas, tanto en período pico como valle, respectivamente. Estas rutas o flotas de unidades de transporte público en TSIS, deben ser codificadas separadamente al resto del tránsito automotor para poder ser simuladas adecuadamente. Véase en la figura 44 la ventana donde se añade cada ruta de transporte público.

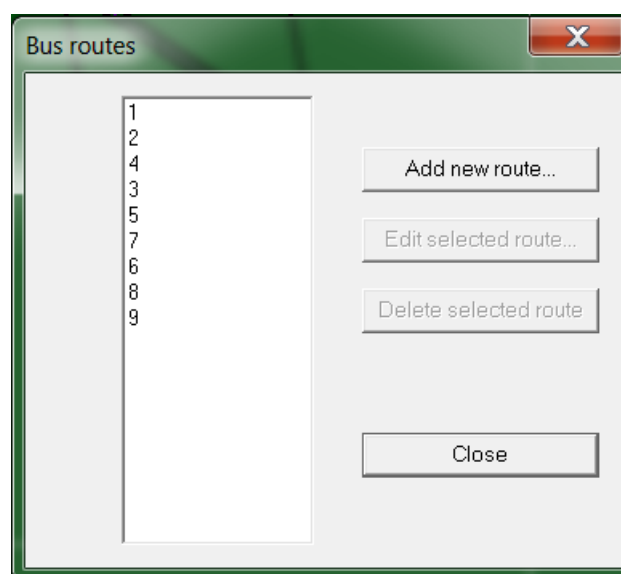


Figura 44. Codificación de rutas de transporte público en la red estudiada.
Fuente: TSIS

Todas las mediciones corresponden a día pico de la semana comprendido entre el 17 y 24 de marzo de 2018, considerado como el día más cargado de tránsito sobre la arterial (tanto en velocidad como en longitud de cola) y sobre sus afluentes conectores y/o aportadores de tránsito. Las características esenciales de estas rutas como su intervalo de paso o frecuencia promedio en cada período de tiempo se resumen en la Tabla 37.

Tabla 37. Intervalo de paso por parada en cada período para el Transporte Público

Franja 7-9 h			Franja 13-15 h		
Ruta	Intervalo (s)		Ruta	Intervalo (s)	
	T1 (s)	T2 (s)		T1 (s)	T2 (s)
R1	65	64	R1	58	42
R2	176	225	R2	62	68
R3	450	450	R3	400	3600
R4	300	257	R4	900	600
R5	176	225	R5	62	68
R6	129	257	R6	3600	3600
R7	53	62	R7	46	40
R8	360	360	R8	450	68
R9	900	900	R9	72	97

Se han detectado máximo tres (3) paradas que afectan la red de arterial; una localizada sobre la propia arterial y dos ubicadas en enlaces tanto de acceso como de

salida de la red. Considerando sus características esenciales y funcionalidad tales como: tipo de parada (en bahía o en canal), localización dentro del enlace, capacidad, demora promedio y porcentaje de unidades que no paran; constituyen parámetros que son codificados como se muestra en la figura 45. Un ejemplo de codificación de la parada 1 en el enlace (1, 4) sobre la Arterial, y parada 2 en el enlace (16, 5) es mostrado.

Figura 45. Codificación de paradas 1 y 2 de transporte público.
Fuente: TSIS

Una vez son codificadas las paradas bajo el campo *station #* estás ya pueden ser asociadas a cada ruta de transporte, donde también debe ser codificado el camino seguido en cada ruta o secuencia de nodos por donde circulan regularmente las distintas líneas de transporte o unidades de servicio público.

En la figura 46 se muestra un ejemplo de codificación de ruta, donde se introduce el intervalo de paso promedio en la parada 1 de 58 s medido en el período de tiempo T1, siguiendo los parámetros de ruta 1 e intervalo correspondiente a la franja horaria de medición entre las 13:00 y 15:00 horas. Véanse la tabla 37 y la figura 46 en conjunto.

Bus Route Properties

Bus Route Number: 1

Path Nodes	Route Stations
8001	1
8	*
1	
2	
5	
3	
4	
6	
7	
8002	
*	

Insert Node Insert Station

Time-varying properties

Time Period: 1 Same as previous time period

Mean Headway: 58 sec

Offset: 0 sec

OK Cancel Help

Figura 46. Codificación del camino de la ruta 1 y parada 1 asociada.
Fuente: TSIS

6.2.2 Volumen de acceso en nodos externos y porcentaje de giro en nodos internos

En TSIS se hace necesario ingresar los volúmenes horarios que acceden a la red por los nodos externos (seriados desde 8000) y, en los nodos internos (seriados desde 1), se integran los datos de distribución del volumen de acuerdo a los porcentajes de giro medidos en intervalos de 15 minutos durante cada período T1 y T2. Véase la figura 47.

Entry Properties

ID: 8001 Location: 43910 X 365171 Y

Time Period: 1 Same as previous time period? (If so, flow cannot be edited.)

Note: Entry flow is for the entire approach, not per lane.

Entry Volumes or Counts	Start	Flow
▶	0	1174
*		

Entry flow is given as:

☐ Vehicle counts

☒ Volumes (vph)

Vehicle Types (other than passenger cars)

Trucks: 6 % Carpools: 49 %

Percentage of non-HOV vehicles that violate HOV lanes: 1.00 %

Lane distribution of entering vehicles (FRESIM)

Leftmost lane: 0 % 0 % 0 % 0 % 0 %

Rightmost lane: 0 %

OK Cancel Help

Intersection Properties

Node ID: 1 Location: 44192 X 364984 Y

Select an approach (upstream node ID) to edit: 8

Conditional Turn Movements Stop Line Pedestrians Control

Turn Movements Turn Multipliers Lane Alignment

Departures (downstream node IDs)

Left: 10 Thru: 2 Right: 11 Left Diag: ----

Traffic opposing left-turners comes from: 2 Right Diag: ----

Time-varying data

Time Period: 1

Relative Turn Volumes	Start	Left	Thru	Right	Diagonal
▶	0	20	60	20	
	15	20	62	18	
	30	16	65	19	

☐ Right turn on red allowed

OK Cancel Help

Figura 47. Ingreso del volumen horario en nodo externo 8001 y de porcentajes de giro en nodo interno 1, durante el período T1.
Fuente: TSIS

En esta etapa, se debe organizar los datos para dar mayor facilidad y evitar errores en su ingreso. Los volúmenes horarios que acceden a la subred en los enlaces se resumen en la Tabla 38 más adelante, para cada franja horaria estudiada (es decir, de 7:00 a 9:00 y de 13:00 a 15:00 horas), donde se resume el volumen por tipo de vehículo, porcentaje de camiones, transporte publico que accede a la red de forma separada con funciones propias en rutas y paradas. Análogamente, los porcentajes de giro considerando los distintos tipos de vehículos que cruzan en cada nodo, caracterizan la forma como se distribuye el tránsito en periodos de 15 minutos, véase el detalle de estas tablas en los anexos de volúmenes.

Estas tablas representan datos correspondientes a distintos escenarios desde el estado sin motocicletas, es decir, los flujos de volúmenes mixtos (autos, camiones y buses) con factor de afectación de motocicletas de $F = 0,0$, hasta cinco escenarios restantes que son planteados análogamente de manera organizada conformando la bandeja de entrada a TSIS. La figura 48 muestra el esquema de arterial y el tamaño de la subred que contiene los datos de cada escenario simulado.

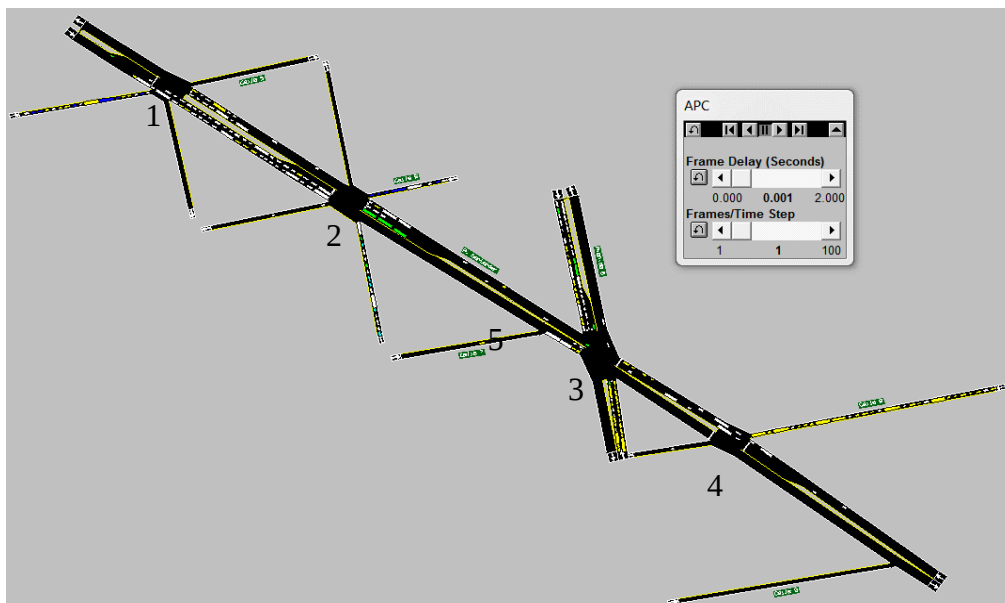


Figura 48. Subred arterial Diagonal Santander. Volumen de ingreso por nodos externos, distribución del volumen en nodos internos 1, 2, 3, 4 y 5.

Fuente: TSIS

Tabla 38. Ejemplo de organización del volumen y otros parámetros de entrada al software TSIS

NODO 1																																		
Afluente (8001, 8, 1)										Afluente (2, 1)										Afluente (8005, 9, 1)														
A				C+B				B		A				C+B								A				C+B								
L	T	R		L	T	R			T				T	R										T	R	D-r		T	R	D-r				
31	60	21		12	7	7			5				106	21			24	6						47	40	51		9	0	11				
24	134	20		9	7	6			36				51	10			2	0						35	38	47		7	0	11				
18	70	19		8	2	5			12				63	13			4	1						31	35	48		5	0	10				
13	79	18		5	4	5			2				52	10			2	0						28	31	46		4	0	7				
CG	86	343	78		34	20	23		55				272	54			32	7						141	144	192		25	0	39				
Total	507			77						326			39						477			64												
% C	13			Ib			65			11			12																					
Veh/h	584							365							541																			
8:00-8:15	16	100	16		6	2	5		47				70	14			5	0						22	21	47		4	0	8				
8:15-8:30	18	118	13		4	4	4		5				85	17			0	0						18	30	35		3	0	4				
8:30-8:45	20	61	9		4	1	4		4				68	14			0	0						18	22	31		3	0	5				
8:45-9:00	24	55	26		10	5	5		0				73	15			5	2						47	33	38		9	1	15				
CG	78	334	64		24	12	18		56				296	60			10	2						105	106	151		19	1	32				
Total	476			54						356			12						362			52												
% C	10			Ib			64			3			13																					
Veh/h	530							368							414																			

NODO 2																																														
Afluente (1, 2)										Afluente (3, 2)										Afluente (8010, 15, 2)										Afluente (8011, 13, 2)																
A				C+B						A				C+B						A				C+B				B		A				C+B				B								
	T	R			T	R					L	T	R		L	T	R							T	R	D-r		T	R	D-r			R		L	T	R	D-i	L	T	R	D-i	L			
7:00-7:15	111	22			6	1					26	130	37		5	32	17							22	17	16		9	1	2			4		31	56	14	39	0	13	2	14	3			
7:15-7:30	137	27			39	7					30	81	31		5	2	11							19	13	15		5	0	2			2		30	53	13	31	0	11	2	11	1			
7:30-7:45	81	16			11	2					26	91	28		4	4	12							20	8	12		6	0	2			3		26	49	12	26	0	11	2	9	2			
7:45-8:00	94	19			4	0					25	76	24		5	2	11							18	8	6		4	0	3			3		25	46	11	25	0	7	2	9	2			
CG	423	84			60	10					107	378	120		19	40	51							79	46	49		24	1	9			12		112	204	50	121	0	42	8	43	8			
Total	507			70						605			110						174			34						487			93															
% C	12						15			16			Ib			300			16			Ib			450																					
Veh/h	577							715							208							R4							580							R3										
8:00-8:15		115	23			46	9				20	90	30		4	10	11							13	14	17		4	0	2			2		20	31	8	30	0	6	1	10	1			
8:15-8:30		122	24			5	0				18	95	20		5	0	12							9	12	16		6	0	2			3		18	42	10	28	0	6	2	11	2			
8:30-8:45		63	13			2	0				13	74	18		4	0	11							12	12	14		7	0	3			3		13	25	6	25	0	5	1	9	2			
8:45-9:00		43	9			5	0				39	112	32		13	6	15							20	12	16		10	1	5			6		25	44	11	32	0	14	3	16	3			

	NODO 3																																																																												
Afluente (5, 3)											Afluente (4, 3)											Afluente (8004, 18,3)												Afluente (8003, 17, 3)																																											
A				C+B							A				C+B							A				C+B				B			A				C+B				B																																				
	T	R		T	R						T	R		T	R					L	T	R		L	T	R		T			L	T	R		L	T	R																																								
7:00-7:15	103	45		7	1						131	26		29	20					4	31	38		7	2	21		28			47	30	21		11	16	16																																								
7:15-7:30	123	45		34	8						73	15		3	19					3	27	37		0	0	16		0			39	28	20		11	13	14																																								
7:30-7:45	77	44		11	2						87	17		7	18					3	31	36		0	0	15		0			39	27	18		10	11	11																																								
7:45-8:00	86	41		6	1						71	14		4	18					3	25	39		0	0	18		0			38	28	16		11	12	11																																								
CG	389	175		58	12						362	72		43	75					13	114	150		7	2	70		28			163	113	75		43	52	52																																								
Total	564				70							434				118							277				79							351				147																																							
% C	11											21											22											Ib											129											30																					
Veh/h	634											552											356											R6											498																																
8:00-8:15	100	41		38	8						93	19		17	20					3	29	38		0	0	18		0			32	27	13		11	14	13																																								
8:15-8:30	108	34		7	1						91	18		0	21					4	31	37		0	0	20		0			32	26	18		10	13	11																																								
8:30-8:45	56	38		3	0						75	15		4	22					3	27	36		0	0	18		0			28	27	11		11	11	10																																								
8:45-9:00	45	35		8	1						104	21		6	23					3	28	41		0	2	14		14			29	33	26		6	15	10																																								
CG	309	148		56	10						363	73		27	86					13	115	152		0	2	70		14			121	113	68		38	53	44																																								
Total	457				66							436				113							280				72							302				135																																							
% C	13											21											20											Ib											257											31																					
Veh/h	523											549											352											R6											437																																

C.C. Reconocimiento

8:45-9:00		115	23			26	4						23	92			0	3			1	3			3	11	35		18	3	1			0	0	
CG		566	113			154	27						73	294			2	8			6	26			21	77	142		75	3	1			0	0	
Total	679			181										367			10			32			240			79										
% C	21												3	1b							225	225	25	1b							360	900				
Veh/h	860														377					R2	R5	319							R8	R9						

NODO 5														
	Afluente (8012, 16, 5)													
	A				C				B					
	L	T	R	D	L	T	R	D	L	T	R	D		
7:00-7:15			47				1					19		
7:15-7:30			46				0					16		
7:30-7:45			39				0					18		
7:45-8:00			38				0					15		
CG			170				1					68		
Total	170				1				68					
% C	1				Ib				53					
Veh/h	171													R7
8:00-8:15			38				0					13		
8:15-8:30			39				0					11		
8:30-8:45			31				0					11		
8:45-9:00			35				1					23		
CG			143				1					58		
Total	143				1				58					
% C	1				Ib				62					
Veh/h	144													R7

www.bdigital.ula.ve

6.3 Data sobre el control de semáforo, fases e intervalos de tiempo

La figura 49 muestra los parámetros correspondientes al semáforo; intervalos de tiempo en cada fase y diseño de fases, donde se deduce un Ciclo de 106 s distribuido en 3 fases para el nodo 1.

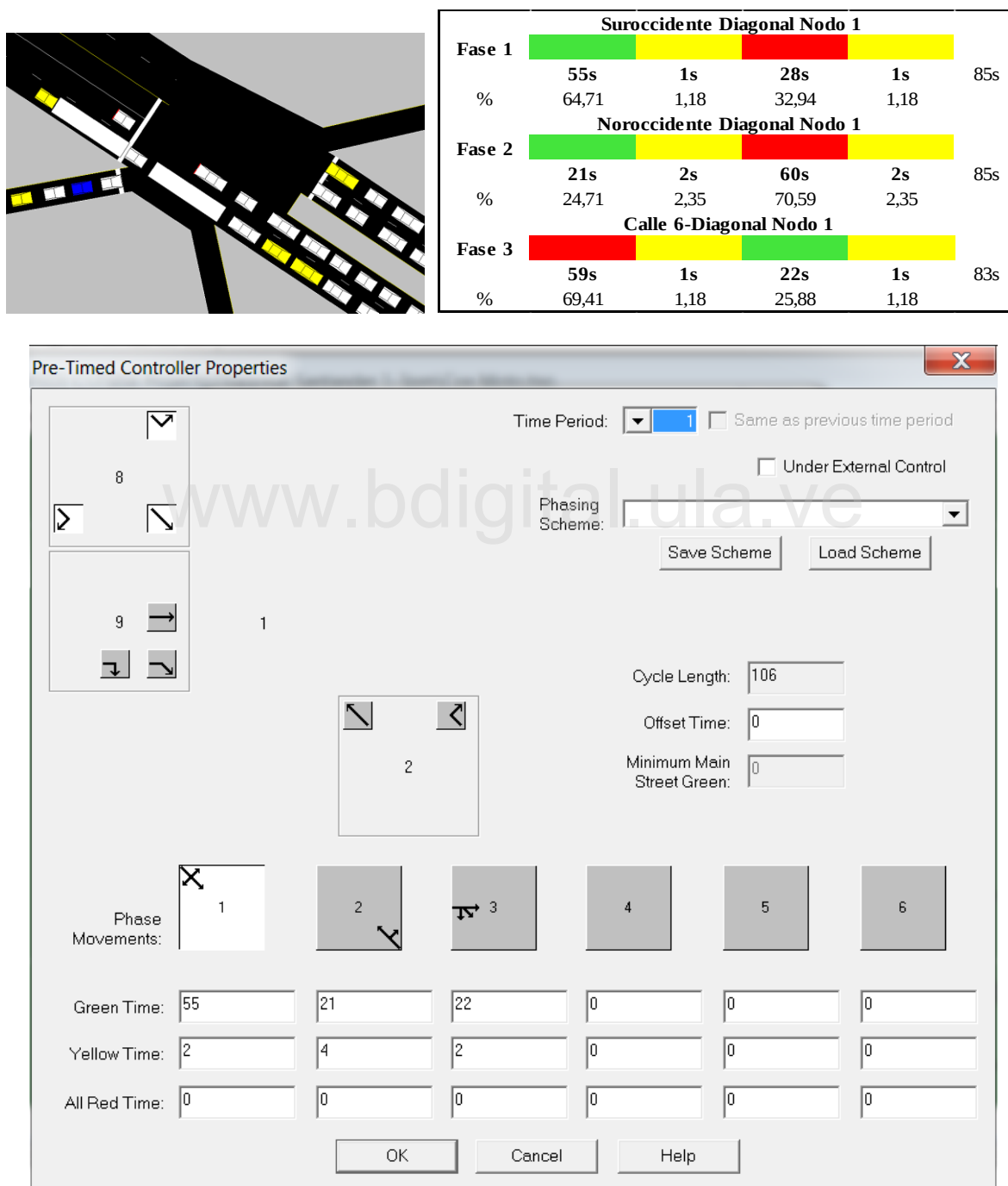
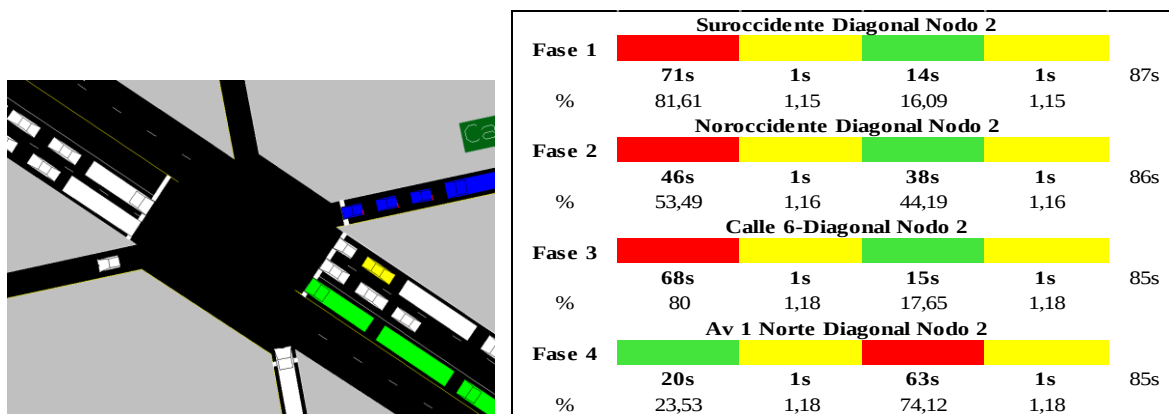


Figura 49. Diseño de fases, intervalo verde, amarillo y Ciclo del semáforo en nodo 1.

Fuente: TSIS

La figura 50 muestra un Ciclo de 95 s distribuido en 4 fases en el semáforo del nodo 2.



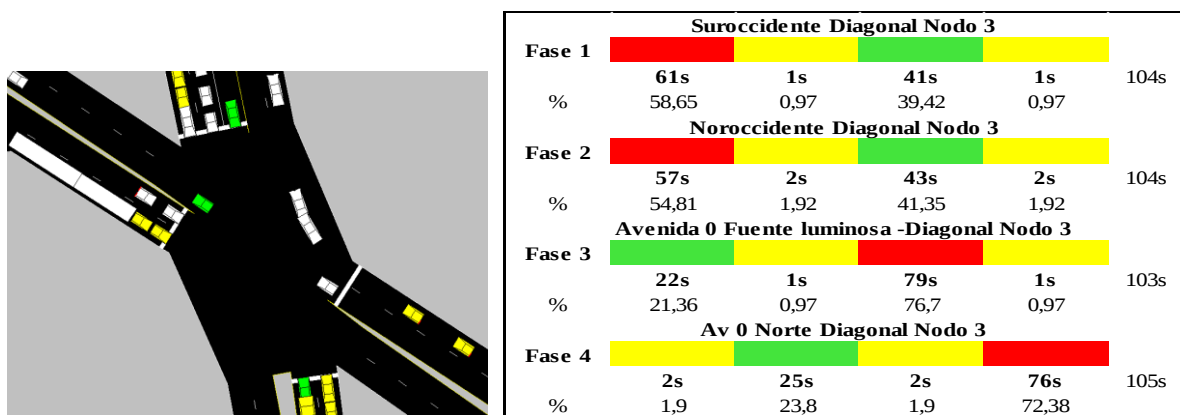
La interfaz de usuario 'Pre-Timed Controller Properties' muestra la configuración para un semáforo. Incluye un diagrama de fases con movimientos de tráfico, un menú de 'Phasing Scheme', y campos para 'Cycle Length' (95), 'Offset Time' (0), y 'Minimum Main Street Green' (0). En la parte inferior, se muestran los tiempos de verde, amarillo y rojo para cada una de las seis fases.

Phase Movements	1	2	3	4	5	6
Green Time	14	38	15	20	0	0
Yellow Time	2	2	2	2	0	0
All Red Time	0	0	0	0	0	0

Figura 50. Diseño de fases, intervalo verde, amarillo y Ciclo del semáforo en el nodo 2.

Fuente: TSIS

La figura 51 muestra un Ciclo de 143 s distribuido en 4 fases en semáforo del nodo 3.



Pre-Timed Controller Properties

Time Period: ☐ Same as previous time period

☐ Under External Control

Phasing Scheme:

Cycle Length:

Offset Time:

Minimum Main Street Green:

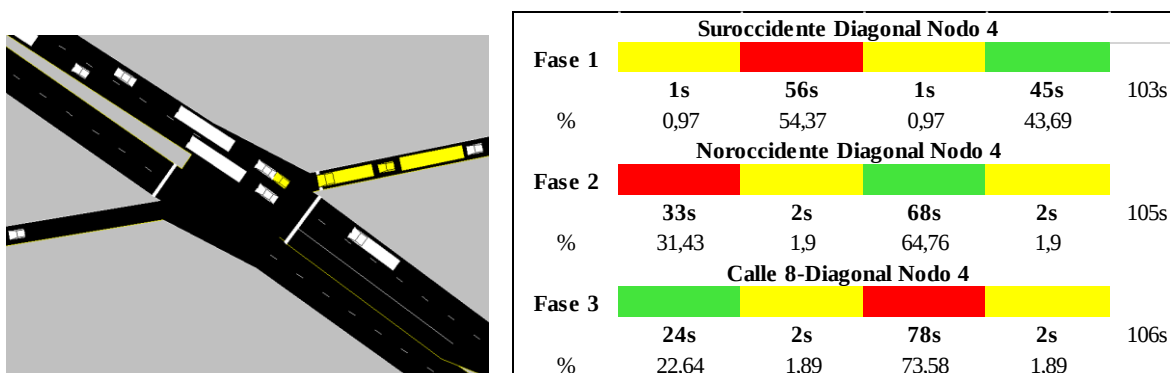
Phase Movements:

Phase	1	2	3	4	5	6
Green Time:	41	43	22	25	0	0
Yellow Time:	2	4	2	4	0	0
All Red Time:	0	0	0	0	0	0

Figura 51. Diseño de fases, intervalo verde, amarillo y Ciclo del semáforo en el nodo 3.

Fuente: TSIS

Finalmente, la figura 52 muestra un Ciclo de 147 s distribuido en 3 fases en el nodo 4.



Pre-Timed Controller Properties

Time Period: ☐ Same as previous time period

☐ Under External Control

Phasing Scheme:

Cycle Length:

Offset Time:

Minimum Main Street Green:

Phase Movements:

1	2	3	4	5	6
Green Time: 45	68	24	0	0	0
Yellow Time: 2	4	4	0	0	0
All Red Time: 0	0	0	0	0	0

Figura 52. Diseño de fases, intervalo verde, amarillo y Ciclo del semáforo en nodo 4.

Fuente: TSIS

6.4 Especificación del desempeño de la motocicleta en TSIS

TSIS no concibe la motocicleta como un tipo de vehículo estándar, sin embargo, admite agregar su desempeño para considerarla como un elemento más rápido moviéndose dentro del flujo de tránsito urbano. Así, se introduce un desempeño promedio para simplificar el problema y poder distinguir su comportamiento más ágil. En tal sentido, usamos como vehículo estándar el denotado *FRESIM 9- NETSIM 3*, e incorporamos esencialmente el cambio de aceleración *Jerk* y la desaceleración en situación urgente y normal, añadiendo a su vez, un área de ocupación de 3 x 2 m (6 m²). De esta forma, se asume que transita por la calzada ocupando el espacio indicado, en situación restringida, que representa la distancia observada entre vehículos y motos en tramos en movimiento. Se induce un efecto más notorio sobre el canal y en movimiento que en la condición de espera frente a una intersección, donde las motos discurren hacia adelante de la cola, y no ocasionan mayor efecto en el arranque de los vehículos. Véase en la figura 53 el rango *Jerk* y desaceleración usado en las simulaciones.

Network Properties

Controllers | Vehicle Entry Headway
Time Periods | Description | Run Control | Random Seeds | Reports
Environmental Tables | Acceleration Tables | Vehicle Types

Select a Vehicle Type to edit
FRESIM 9- NETSIM 3

Vehicle Properties

Performance Index
2

Length: 10 ft
Avg. Occupancy: 1.50
Headway Factor: 100 %

Jerk Value: 10.0 ft/s³
Max. Decel. (Emergency): 20.0 ft/s²
Max. Decel. (non-Emergency): 10.0 ft/s²

Car | Truck | Transit | Carpool
Surface %: 0 | 0 | 0 | 100
Freeway %: 0 | 0 | 0 | 75

OK | Cancel | Help

Figura 53. Rango *Jerk* (cambio de aceleración) y desaceleración en motocicleta.

Fuente: Cossalter et al. (2011) y TSIS

CAPITULO VII

SIMULACIÓN EN TSIS

Una vez procesados todos los escenarios de red codificados correctamente en TSIS, el proceso de simulación es realmente muy rápido, se ejecutan todas las simulaciones propuestas y se obtienen resultados.

7.1 Resultados de velocidad simulada en TSIS

Se desarrollan 11 simulaciones en cada escenario propuesto (en total 6 escenarios), cada período (T1 y T2) y para dos franjas horarias, de 7:00 a 9:00 y 13:00 a 15:00 horas, lo que determina $11 \times 6 \times 2 \times 2 = 264$ **simulaciones**. La simulación codificada **CM_0**, por ejemplo, se refiere al escenario de simulación inicial con motocicleta y factor de 1,0 en TSIS, simulación equivalente al escenario con factor de afectación 1,0 en VISSIM codificado como **V_vissim_1.0**, comparativamente.

Cada simulación luego es replicada 10 veces sumando en total de 11 simulaciones por escenario, procediéndose igual, para el resto de escenarios, es decir, el escenario sin moto **SM** con factor 0,0, y los escenarios con cierta proporción de motos restantes: **CM** (0,20), **CM** (0,40), **CM** (0,60) y **CM** (0,80). Los factores de afectación de motocicletas por encima de 1,0 no deberían ser considerados, de acuerdo a la baja calibración obtenida con VISSIM bajo estos escenarios. Dado que se trata de gran cantidad de información difícil de mostrar acá, sólo se presentan algunos resultados de la simulación, en el entendido que, si se requiere más detalle debe irse al *Anexo 9: Resultados simulaciones en TSIS* del presente documento.

En la Tabla 39 se han resumido los resultados de la simulación de velocidad en los enlaces principales de la *Arterial Diagonal Santander*, en el caso correspondiente al escenario Con Moto y simulación inicial 0, para el periodo T1 de 7:00 a 8:00 horas. De forma

análoga, se genera el resultado para el período T2 de 8:00 a 9:00 horas, en el cual se observa que se produce una doble simulación del periodo T2, lo que denotamos como Tablas 40 y 41, para resaltar lo observado recurrentemente en los reportes TSIS.

Esta última apreciación en los resultados de TSIS sobre velocidades simuladas, hace ver que se producen 132 simulaciones adicionales para el período T2. En general, los resultados representan un gran volumen de información que imprimen robustez a la validación de los resultados con VISSIM.

7.2 Organización de velocidad simulada en TSIS por modo y enlaces de Arterial

De los resultados de la simulación puestos en la Tabla 39, se selecciona para cada enlace que compone el tramo de arterial analizado, las velocidades TSIS en unidades inglesas (mph). Por ejemplo, para el enlace (1-2) se experimenta una velocidad promedio de 1,1 mph, bajo el escenario con moto **CM_0**.

Este valor extraído de la tabla es trasladado a la columna denominada A+C+B (Autos + camiones + buses) de la Tabla 44 más adelante para lograr una mayor reorganización de estos resultados. El resto de resultados tabulados en tablas, dado que representa gran cantidad de datos, pueden ser consultados en resumen similar para el resto de escenario, puede ser visto en detalle en el *Anexo 9: Resultados simulaciones en TSIS*

Tabla 39. Resultados de simulación de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T1 de 7:00 a 8:00 horas. Autos, camiones y buses.

Enlace	vehículo		vehículos-minutos			ratio	min / milla		segundos / vehículo					valores medios		
	vehículo					mov/			Demora					paradas	volumen	velocidad
	millas	viajes	mov	demora	total	total	total	demora	total	demora	Control	Cola	parado	(%)	vph	mph
1-2	48,97	503	97,9	2596,4	26,94	0,04	55,02	53,02	310,5	299,2	266,8	270,3	259,8	99	503	1,1
2-1	50,23	516	100,5	367,8	468,3	0,21	9,32	7,32	54,04	42,2	39,4	36,7	35,8	84	516	6,4
2-5	47,39	446	94,8	379,5	474,3	0,2	10,01	8,01	63,1	50,3	0,0	0,0	40,3	77	446	6,0
5-3	19,6	681	39,2	751,4	790,6	0,05	40,33	38,33	69,0	65,5	54,9	58,8	56,5	66	681	1,5
3-2	95,12	714	190,2	271,5	461,7	0,41	4,85	2,85	38,8	22,8	18,3	17,5	16,9	59	714	12,4
3-4	58,89	862	117,8	873,8	991,6	0,12	16,84	14,84	68,3	60,1	53,9	51,3	49,5	84	862	3,6
4-3	44,83	645	89,7	658,5	748,2	0,12	16,69	14,69	69,6	61,3	55,6	53,1	51,0	88	645	3,6

Tabla 40. Resultados de simulación de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T2 de 8:00 a 9:00 horas. Autos, camiones y buses.

Enlace	vehículo		vehículos-minutos			ratio	min / milla		segundos / vehículo					valores medios		
	vehículo					mov/			demora					paradas	volumen	velocidad
	millas	viajes	mov	demora	total	total	Total	demora	total	demora	control	cola	parado	(%)	vph	mph
1-2	97,45	1001	194,9	5250,5	5445,4	0,04	55,88	53,88	320,1	308,6	278,5	282,2	271,1	99	500	1,1
2-1	103,29	1061	206,6	770,1	976,7	0,21	9,46	7,46	55,1	43,4	40,4	37,5	36,5	84	530	6,3
2-5	94,24	887	188,5	680,3	868,8	0,22	9,22	7,22	58,3	45,6	0,0	0,0	36,3	74	443	6,5
5-3	40,16	1395	80,3	1453,9	1534,2	0,05	38,2	36,2	65,7	62,3	51,8	56,3	54,2	62	697	1,6
3-2	177,48	1332	355,0	518,8	873,7	0,41	4,92	2,92	39,2	23,5	19,1	18,4	17,8	63	666	12,2
3-4	117,21	1718	234,4	1564,1	1798,5	0,13	15,34	13,34	62,4	54,2	48,3	46,0	44,3	79	859	3,9
4-3	85,08	1224	170,2	1150,9	1321	0,13	15,53	13,53	64,6	56,3	51,2	48,9	47,1	83	612	3,9

Tabla 41. Resultados de simulación 2 de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T2 de 8:00 a 9:00 horas. Autos, camiones y buses.

Enlace	vehículo		vehículos-minutos			ratio	min / milla		segundos / vehículo					valores medios		
	vehículo					mov/			demora					paradas	volumen	velocidad
	millas	viajes	mov	demora	total	total	Total	demora	total	demora	control	cola	parado	(%)	vph	mph
1-2	48,48	498	97	2654,1	2751,0	0,04	56,75	54,75	318,8	307,6	267,2	270,7	260,0	99	498	1,1
2-1	53,05	545	106,1	402,2	508,4	0,21	9,58	7,58	55,7	44,1	40,9	37,9	36,9	84	545	6,3
2-5	46,86	441	93,7	300,8	394,5	0,24	8,42	6,42	52,9	40,3	0,0	0,0	31,7	70	441	7,1
5-3	20,55	714	41,1	702,4	743,5	0,06	36,17	34,17	62,1	58,6	48,2	53,2	51,3	59	714	1,7
3-2	82,36	618	164,7	247,3	412,0	0,4	5,00	3,00	40,2	24,2	19,9	19,3	18,7	66	618	12,0
3-4	58,33	856	116,7	690,2	806,9	0,14	13,83	11,83	55,8	47,8	42,2	40,1	38,6	74	856	4,3
4-3	40,24	579	80,5	492,4	572,9	0,14	14,23	12,23	59,3	51,0	46,1	44,1	42,6	78	579	4,2

Los resultados de velocidad en mph simuladas con TSIS en el caso del Transporte Público, aunque no fueron utilizadas, fueron resumidas para cada enlace de arterial y un ejemplo se muestra en las tablas 42 y 43, según cada período de simulación (T1 y T2) correspondiente a una hora.

Tabla 42. Resultados de simulación de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T1 de 7:00 a 8:00 horas. Transporte público.

Enlace	Autobús (viajes)	Personas (trips)	Tiempo recorrido (min)	Tiempo en movimiento (min)	Demora (min)	M/T	Velocidad (mph)	Número de paradas
1-2	6	150	32	1,2	30,8	0,04	1,1	0
2-1	21	525	18,6	4,1	14,5	0,22	6,6	0
2-5	7	175	5,6	1,5	4,1	0,27	8,0	0
5-3	16	400	17,8	0,9	16,9	0,05	1,5	0
3-2	41	1025	28,1	11,1	17,0	0,39	11,8	0
3-4	17	425	13,6	2,4	11,2	0,17	5,2	3
4-3	40	1000	45,5	5,6	39,9	0,12	3,7	0

Tabla 43. Resultados de simulación de velocidad TSIS. Con Moto_0, período T2 de 8:00 a 9:00 horas. Transporte público

Enlace	Autobús (viajes)	Personas (viajes)	Tiempo recorrido (min)	Tiempo en movimiento (min)	Demora (min)	M/T	Velocidad (mph)	Número de paradas
1-2	6	150	32	1,2	30,8	0,04	1,1	0
2-1	37	925	35,2	7,2	28	0,2	6,1	0
2-5	7	175	5,6	1,5	4,1	0,27	8,0	0
5-3	30	750	39	1,7	37,3	0,04	1,3	0
3-2	73	1825	47,6	19,7	27,9	0,41	12,4	0
3-4	31	775	29,9	4,3	25,6	0,14	4,3	11
4-3	72	1800	75,6	10,0	65,6	0,13	4,0	0

De los resultados que son resumidos en las tablas 40, 41, 42 y 43, se desprenden los datos agrupados que se muestran en las Tablas 44 y 45 seguidamente. Estos datos dado lo extenso que representa su inclusión en el documento, son detallados y pueden ser vistos en el Anexo 10: Resultados de velocidad TSIS por periodo y por factor de afectación.

Tabla 44. Resultados de Velocidad TSIS, Periodo T1 de 7:00- 8:00 horas CM

Factor Afectación Moto	Velocidad (mph) por enlace hasta las 8:00 horas (T1)													
	1-2		2-5		5-3		3-4		4-3		3-2		2-1	
	A+C +B	RT P	A+C+ B	RTP	A+C +B	RT P	A+C+ B	RTP	A+C +B	RTP	A+C+ B	RTP	A+C +B	RTP
CM-0	1,1	1,1	6,0	8,0	1,5	1,5	3,6	5,2	3,6	3,7	12,4	11,8	6,4	6,6
CM-1	1,1	1,2	2,2	4,7	1,4	1,4	3,7	4,0	3,7	3,7	11,6	11,8	6,1	6,5
CM-2	1,1	1,2	3,9	14,0	1,5	1,3	3,6	4,1	3,7	3,8	12,4	12,7	6,0	6,4
CM-3	1,0	1,6	1,7	5,0	1,4	1,2	3,6	3,8	3,7	3,5	11,3	10,8	6,6	6,3
CM-4	1,0	1,1	3,7	7,7	1,5	1,0	3,7	4,0	3,6	3,5	12,1	12,4	5,6	6,0
CM-5	1,1	1,5	1,7	3,5	1,3	1,9	3,6	3,6	3,8	3,7	11,3	10,6	6,1	6,2
CM-6	1,1	1,1	6,1	6,6	1,5	1,5	3,7	4,2	3,5	3,4	12,1	13,0	5,2	5,7
CM-7	1,1	1,3	2,7	10,1	1,4	1,3	3,6	3,3	3,5	3,7	12,2	12,5	6,5	6,8
CM-8	1,1	1,5	2,4	7,1	1,5	1,4	3,8	5,5	3,6	3,5	12,2	11,6	6,1	6,4
CM-9	1,1	1,1	3,4	5,2	1,5	1,5	3,6	4,8	3,9	3,7	11,9	12,2	6,0	6,2
CM-10	1,1	1,3	2,9	4,7	1,5	1,3	3,7	4,3	3,2	3,5	12,0	12,5	6,3	6,6

A+C+B = autos + camiones + autobuses; RTP = rutas de transporte publico

Tabla 45. Resultados de Velocidad TSIS, Periodo T2 de 8:00- 9:00 horas CM

Factor Afectación Moto	Velocidad (mph) por enlace hasta las 9:00 horas (T2)													
	1-2		2-5		5-3		3-4		4-3		3-2		2-1	
	A+C +B	RT P	A+C+ B	RTP	A+C +B	RTP	A+C +B	RT P	A+C+ B	RTP	A+C +B	RTP	A+C+ B	RTP
CM-0	1,1	1,1	6,5	8,0	1,6	1,3	3,9	4,3	3,9	4,0	12,2	12,4	6,3	6,1
	1,1		7,1		1,7		4,3		4,2		12,0		6,3	
	1,1	1,2	3,3	4,7	1,5	1,7	4,1	3,6	4,0	4,2	11,8	12,6	6,1	6,2
CM-1	1,1		5,7		1,6		4,6		4,3		12,0		6,1	
	1,1	1,2	4,5	14,0	1,5	1,2	3,9	4,5	3,9	4,1	12,4	12,6	6,2	6,2
CM-2	1,1		5,3		1,5		4,2		4,3		12,4		6,3	
	1,1	1,6	2,9	5,0	1,6	1,4	3,9	3,5	3,9	3,8	11,7	12,0	6,4	6,6
CM-3	1,1		7,8		1,8		4,4		4,2		12,2		6,2	
	1,1	1,1	4,5	7,7	1,6	1,1	3,9	3,5	3,8	4,0	12,1	12,1	6,0	6,3
CM-4	1,1		5,8		1,6		4,2		4,0		12,1		6,7	
	1,1	1,5	2,8	3,5	1,5	1,9	4,1	3,6	4,0	4,0	11,6	11,7	6,1	6,3
CM-5	1,2		6,4		1,7		4,8		4,2		12,0		6,1	
	1,1	1,1	7,0	6,6	1,6	1,5	4,1	3,8	3,8	3,7	11,9	13,1	5,8	6,3
CM-6	1,1		8,3		1,7		4,7		4,0		11,7		6,6	
	1,1	1,3	3,8	10,1	1,5	1,2	4,1	3,3	3,8	3,8	12,2	12,5	6,3	6,6
CM-7	1,1		6,4		1,6		4,5		4,2		12,1		6,1	
	1,1	1,5	3,4	7,1	1,6	1,3	4,0	4,8	3,7	3,7	12,1	12,7	6,3	6,4
CM-8	1,1		5,6		1,7		4,2		3,7		12,1		6,5	
	1,1	1,1	4,1	5,2	1,5	1,7	3,9	5,1	4,1	4,1	11,9	12,5	6,1	6,5
CM-9	1,1		5,2		1,5		4,3		4,2		12,0		6,2	
	1,1	1,3	4,2	4,7	1,6	1,3	4,0	4,7	3,6	3,8	12,0	12,5	6,2	6,9
CM-10	1,1	1,1	7,3		1,7		4,4		4,1		11,9			

A+C+B = autos + camiones + autobuses; RTP = rutas de transporte publico

Cómo podemos ver los resultados de la simulación quedan preparados para facilitar su posterior extracción del parámetro velocidad usado en el análisis estadístico comparativo más adelante.

7.3 Resultados de la simulación de cola y demoras por enlace en TSIS

Según lo aplicado en la simulación de velocidades, se generan 11 reportes también para la longitud de cola en cada escenario simulado. Los datos mostrados en la Tabla 46 para franja horaria de 7:00 a 8:00, en específico, los correspondientes a las columnas 7 y 8 determinan los valores de 22 y 23 vehículos en cola sobre los canales 1 y 2 de cada enlace, respectivamente, valores que se corresponden a la cola promedio por canal denotada Q_p . ver *Anexo 9: Resultados simulaciones en TSIS*

Por otra parte, los datos de las columnas 16 y 17 representan los valores máximos de cola Q_m simulada de 31 y 28 vehículos sobre los canales 1 y 2 respectivamente, en el enlace 1-2. En suma. De igual forma se tabula la Tabla 47 para franja horaria de 8:00 a 9:00, los resultados de la simulación realizada en el escenario **CM_0**, son procesados para dar lugar a los resultados tabulados en las tablas 48 y 49 de acuerdo a los periodos de simulación T1 y T2. El resto de escenarios y resultados *similares* para los datos de cola promedio y máxima, pueden verse en el *Anexo 11: Longitud de cola por enlace ambos sentidos*

Tabla 46. Resultados de Cola simulada por enlace en TSIS. Con Moto_0. En el período T1 de 7:00 a 8:00 horas

Enlace	Veh-minutos		Ocupación promedio vehículo	Congestión		Longitud de cola (vehículos)																			Cambio de canal
	tiempo	tiempo		registrada	tasa	Cola promedio x canal Qp									Cola máxima x canal Qm										
	en cola	parado		(%)	fallo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1-2	2468,5	2372,4	46,5	69,3	38	22	23	0	0	0	0	0	0	0	31	28	0	0	0	0	0	0	0	520	
2-1	319	311,3	8,3	14,6	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	10	13	0	0	0	0	0	0	0	178	
2-5	0,0	305,1	8,4	12,9	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	14	9	0	0	0	0	0	0	0	333	
5-3	675,9	650,2	13,5	77,4	1	6	5	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0	270	
3-2	209,2	201,9	8,2	9,5	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	12	12	0	0	0	0	8	0	0	352	
3-4	747	720,3	17	40,5	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	19	17	0	0	0	0	0	0	0	571	
4-3	573,5	550,5	12,9	32,5	0	6	5	0	0	0	0	0	0	0	17	15	0	0	0	0	0	0	0	296	

Tabla 47. Resultados de Cola simulada por enlace en TSIS. Con Moto_0. En el período T2 de 8:00 a 9:00 horas

Enlace	Veh-minutos		Ocupación promedio vehículo	Congestión		Longitud de cola (vehículos)																			Cambio de canal
	tiempo	tiempo		registrada	tasa	Cola promedio x canal Qp									Cola máxima x canal Qm										
	en cola	vehículo				(%)	fallo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	
1-2	4896	4703,8	46,2	69,3	76	22	23	0	0	0	0	0	0	0	31	28	0	0	0	0	0	0	0	0	1008
2-1	665,3	648,5	8,6	15,4	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	11	13	0	0	0	0	0	0	0	0	369
2-5	0,0	542,1	7,7	11,8	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	14	10	0	0	0	0	0	0	0	0	653
5-3	1315,6	1267,4	13,2	75,5	5	6	5	0	0	0	0	0	1	0	0	10	9	0	0	0	0	8	0	0	536
3-2	410,8	397	7,8	9,2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	676
3-4	1336,1	1287,2	15,6	37,5	1	6	6	0	0	0	0	0	0	0	19	18	0	0	0	0	0	0	0	0	1094
4-3	1014,3	976,3	11,6	29,5	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	17	15	0	0	0	0	0	0	0	0	561

Tabla 48. Resultados de Cola promedio y máxima simulada por escenario TSIS en el período T1 de 7:00 a 8:00 horas

Cola por enlace y canal (vehículos) hasta la 8:00 horas (T1)																												
Factor afectación Motocicleta	1-2				2-5				5-3				3-4				4-3				3-2				2-1			
	Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm	
CM-0	22	23	31	28	3	2	14	9	6	5	9	9	7	7	19	17	6	5	17	15	2	1	12	12	3	3	10	13
M-1	22	22	28	28	10	10	16	29	6	6	9	9	7	7	17	17	6	5	19	17	2	1	12	11	3	3	12	12
CM-2	22	23	30	31	5	5	15	16	6	5	9	9	7	7	18	18	6	5	18	15	2	1	10	8	3	3	12	12
CM-3	22	23	31	29	12	12	26	31	6	6	9	9	7	7	19	18	6	5	17	17	2	1	14	13	3	3	13	13
CM-4	22	23	27	29	6	5	21	18	6	5	10	9	7	7	19	17	6	5	17	16	2	1	9	8	4	4	13	13

CM-5	22	23	27	28	14	13	29	30	7	6	10	9	7	7	119	19	6	5	17	16	2	1	11	11	3	3	11	11
CM-6	22	23	30	29	3	2	13	11	6	5	9	10	7	7	21	18	6	5	18	16	2	1	12	9	3	4	13	15
CM-7	22	22	30	28	8	8	22	25	7	5	10	9	7	7	19	20	7	5	17	16	2	1	11	8	3	3	10	11
CM-8	22	23	29	30	9	9	26	27	6	5	9	9	7	6	19	18	7	5	18	17	2	1	9	10	3	3	11	13
CM-9	22	23	29	29	7	6	21	20	6	6	10	10	7	7	18	17	5	5	17	18	2	1	9	10	4	4	12	13
CM-10	22	22	29	28	8	7	21	20	6	6	10	9	7	7	18	17	7	5	18	20	2	1	10	10	3	3	9	12

Qp = cola promedio; Qm = cola máxima

Tabla 49. Resultados de Cola promedio y máxima simulada por escenario TSIS en el período T2 de 8:00 a 9:00 horas

Cola por enlace y canal (vehículos) hasta las 9:00 horas (T2)																												
Factor afectación Motocicleta	1-2				2-5				5-3				3-4				4-3				3-2				2-1			
	Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm	
CM-0	22	23	31	28	3	2	14	10	6	5	10	9	6	6	19	18	5	4	17	15	2	1	12	12	3	3	11	13
CM-1	22	22	29	31	7	6	26	29	6	5	9	9	6	6	17	17	5	4	19	17	2	1	12	11	3	3	12	14
CM-2	22	23	30	31	5	4	15	16	6	5	11	10	6	6	18	20	5	4	18	15	2	1	10	8	3	3	12	12
CM-3	22	23	31	29	7	7	26	31	6	5	10	9	6	6	19	18	5	4	17	17	2	1	14	13	3	3	13	13
CM-4	22	23	30	29	5	4	21	18	6	5	10	10	6	6	19	18	6	4	17	16	2	1	9	8	3	3	13	13
CM-5	22	23	28	28	9	8	29	30	7	5	10	9	6	6	19	19	5	4	17	16	2	1	11	11	3	3	11	11
CM-6	22	23	30	29	3	2	13	11	6	5	10	10	6	6	21	18	6	4	18	16	2	1	12	10	3	3	13	15
CM-7	22	22	30	29	6	5	22	25	7	5	10	9	6	6	19	20	6	4	17	16	2	1	11	9	3	3	14	17
CM-8	22	23	29	30	7	6	26	27	6	5	9	10	6	6	19	18	6	4	18	18	2	1	10	10	3	3	11	13
CM-9	21	23	29	30	5	5	21	20	7	6	10	10	7	7	18	18	5	4	17	18	2	1	10	10	3	3	12	13
CM-10	22	23	29	29	5	5	21	20	6	5	10	9	6	6	18	17	6	5	19	19	2	1	10	10	3	3	10	12

Qp = cola promedio; Qm = cola máxima

CAPÍTULO VIII

VALIDACIÓN RECÍPROCA DE LOS RESULTADOS SIMULADOS

Se propone medir el efecto de la motocicleta sobre las condiciones de tránsito en un tramo de arterial específica en la ciudad de Cúcuta, con el fin de determinar si existe un *factor de equivalencia-moto* que pueda ser útil en los futuros análisis de arteriales de Categoría IV (según HCM) y que es al tipo a que corresponde nuestra arteria bajo estudio, donde las velocidades en flujo libre están en un rango comprendido entre 40 y 48 km/h.

Para tal fin se han aplicado dos métodos de simulación diferentes intentando validar de manera recíproca ambos resultados, proporcionando mayor robustez, e induciendo un análisis de sensibilidad de la proporción moto para observar luego el efecto en la velocidad, entre otras variables de tránsito que son estudiadas. Se comparan ambos resultados de simulación con las mediciones en campo para de esta forma encontrar el factor moto que más se acerca a la velocidad medida (ajustada), dejando invariante el escenario actual de tránsito, lo que debe poner en relieve el factor más representativo, aquel que mejor define la equivalencia buscada.

8.1 Organización de los datos de velocidad y muestra utilizada

Se procede a realizar el análisis estadístico comparativo de los grupos de datos de velocidad medida (o ajustada), velocidad simulada VISSIM y velocidad TSIS, considerando cada factor de afectación moto propuesto.

La Tabla 50 muestra el ejemplo del arreglo de datos de velocidad, donde se observa el número de registros que determinan el tamaño de muestra para el enlace 1-2 correspondiente a la franja horaria pico en el sentido Suroriente. Véase la figura 54.

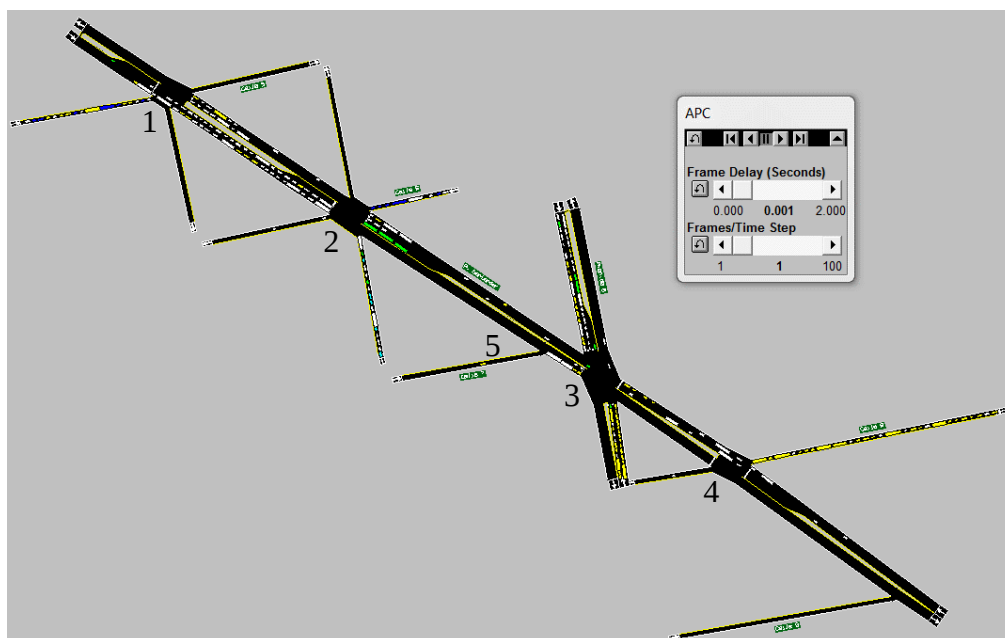


Figura 54. Esquema de enlaces de la Arterial analizada.

Fuente: TSIS

Tabla 50. Resumen de velocidad ajustada, velocidad VISSIM y velocidad TSIS en (km/h), para franjas horarias pico y enlace 1-2 (sentido Suroriente)

n	V ajustada	V (0.0) Vissim	V (0.2) Vissim	V (0.4) Vissim	V (0.6) Vissim	V (0.8) Vissim	V (0.0) tsis	V (0.2) tsis	V (0.4) tsis	V (0.6) tsis	V (0.8) tsis
1	32	0.0	0.0	42.6	0.0	44.9	2.3	2.1	1.9	1.9	1.8
2	28	43.6	42.6	44.6	0.0	42.4	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6
3	36	6.2	44.6	9.4	0.0	31.7	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8
4	32	0.0	0.0	8.0	0.0	42.3	1.8	1.8	1.6	1.9	1.8
5	33	0.0	43.3	44.8	0.0	40.6	1.8	2.4	1.8	1.8	1.8
6	32	0.0	45.1	0.0	0.0	42.0	5.8	1.8	1.8	1.8	1.9
7	27	6.1	0.0	0.0	0.0	19.9	1.8	1.9	1.8	1.9	1.8
9	31	8.5	0.0	0.0	0.0	42.9	1.6	1.9	1.8	1.9	1.8
10	20	0.0	44.2	0.0	0.0	35.1	1.8	1.8	1.6	1.9	1.9
11	27	0.0	0.0	0.0	0.0	38.3	1.9	1.8	1.9	1.8	1.8
12	29	0.0	41.6	0.0	0.0	26.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8
13	32	1.6	0.0	0.0	43.3	11.4	2.1	2.1	1.9	1.9	1.8
14	27	6.5	43.3	0.0	35.1	0.0	1.9	1.9	1.8	1.9	1.8
15	37	44.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8
16	40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8
17	29	32.8	17.7	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8
18	36	17.5	0.0	0.0	25.0	0.0	2.1	1.9	1.9	1.9	1.8
19	39	0.0	40.9	0.0	23.3	0.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8
20	28	11.1	43.4	40.6	0.0	0.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8
21	26	19.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	2.4	1.8	1.8	1.8
22	37	0.0	0.0	39.9	0.0	0.0	2.1	0.0	2.6	1.8	1.8
23	67	43.6	0.0	0.1	0.0	0.0	5.8	1.9	1.8	1.8	1.9
24	31	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	1.9	1.8	1.9	1.8
25	32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.9	1.8	1.8	1.8
26	46	41.5	43.5	0.0	17.1	40.1	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8
27	29	0.0	42.8	0.0	36.4	0.0	1.9	1.9	1.8	10.3	1.8

n	V ajustada	V (0.0) Vissim	V (0.2) Vissim	V (0.4) Vissim	V (0.6) Vissim	V (0.8) Vissim	V (0.0) tsis	V (0.2) tsis	V (0.4) tsis	V (0.6) tsis	V (0.8) tsis
28	25	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.9	1.8	1.9	1.8
29	45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9
30	67	15.6	42.2	0.0	0.0	40.3	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9
31	52	0.0	41.4	0.0	0.0	41.1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.9
32	36	0.0	0.0	0.0	0.0	45.8	2.1	2.1	1.9	1.9	1.9
33	36	0.0	0.0	0.0	41.9	40.3	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8
34	35	0.0	0.0	0.0	36.9	32.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8
35	58	0.0	0.0	0.0	0.0	42.2					
36	32	39.7	0.0	0.0	0.0	40.8	(34 simulaciones de Vmedia)				
37	35	36.0	0.7	0.0	36.7	42.0					
38	38	0.0	12.7	0.0	40.0	22.3					
39	39	0.0	0.0	0.0	27.1	42.9					
40	37	0.0	0.0	0.0	0.0	35.1					
41	35	0.0	44.5	0.0	0.0	40.6					
42	57	37.1	44.6	0.0	0.0	41.1					
43	29	8.8	0.0	0.0	0.0	14.6					
44	29	0.0	0.0	42.4	0.0	0.5					
45	28	0.0	0.0	24.3	0.0	0.0					
46	25	12.7	0.0	0.0	0.0	12.3					
47	44	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2					
48	33	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
49	37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
50	38	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
51	40	39.7	0.0	0.0	37.0	0.0					
52	33	43.9	18.4	0.0	23.7	0.0					
53	34	44.5	0.0	0.0	0.0	0.0					
54	35	33.3	42.8	0.0	0.0	0.0					
55	43	42.1	6.8	0.0	0.0	0.0					
56	42	21.1	0.0	0.0	0.0	40.3					
57	44	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0					
58	40	41.8	9.0	0.0	0.0	0.0					
59	44	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0					
60	35	34.9	10.6	0.0	0.0	40.3					
61	43	0.0	8.6	0.0	0.0	41.1					
62	35	0.0	2.8	0.0	0.0	45.2					
63	32	40.2	0.8	3.1	0.0	41.8					
64	33	38.6	0.1	0.0	0.0	32.2					
65	54	40.3	2.5	2.4	0.0	42.3					
66	33	37.9	45.3	20.1	44.6	40.6					
67	49	38.4	11.2	6.0	16.3	42.0					
68	49	0.0	40.4	0.0	0.0	20.0					
69	46	40.1	41.2	0.0	16.6	42.9					
70	28	33.8	16.7	21.5	18.5	35.1					
71	38	40.9	42.7	0.0	2.5	39.6					
72	32	36.4	7.5	0.0	0.0	32.3					
73	38	0.0	2.3	17.3	0.0	11.9					
74	36	0.0	0.0	19.5	0.0	0.0					
75	32	0.0	5.2	0.0	0.5	0.0					
76	39	0.0	16.7	1.7	0.0	1.1					
77	47	35.2	2.6	14.7	0.0	0.0					
78	34	11.2	0.0	0.0	0.6	0.0					
79	36	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0					

n	V ajustada	V (0.0) Vissim	V (0.2) Vissim	V (0.4) Vissim	V (0.6) Vissim	V (0.8) Vissim	V (0.0) tsis	V (0.2) tsis	V (0.4) tsis	V (0.6) tsis	V (0.8) tsis
80	32	40.9	0.0	0.0	0.0	0.0					
81	31	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0					
82	42	15.7	43.5	0.0	0.0	0.0					
83	32	40.4	36.7	0.0	41.1	0.0					
84	56	0.0	42.5	0.0	40.9	0.0					
85	60	0.0	42.1	0.0	0.0	0.0					
86	46	0.0	42.5	0.0	0.0	40.4					
87	48	0.6	42.6	1.8	0.0	0.0					
88	50	23.5	0.0	21.8	4.2	0.0					
89	40	38.5	0.0	0.0	11.3	0.0					
90	46	0.0	0.0	3.2	4.0	40.3					
91	27	0.0	0.0	2.0	0.0	41.1					
92	35	5.5	0.0	0.0	5.0	43.8					
93	36	0.0	0.0	0.0	2.0	43.9					
94	34	0.0	0.0	1.4	33.6	30.1					
95	33	0.0	0.0	0.0	0.0	23.6					
96	29	0.0	0.0	0.0	40.1	33.0					
97	27	0.0	0.0	14.5	32.0	41.3					
98	27	22.4	0.0	12.6	44.2	1.0					
99	51	0.0	0.0	0.0	25.4	35.8					
100	45	0.0	5.7	0.0	2.5	18.3					
101	45	5.5	40.3	0.0	33.5	19.3					
102	39	41.0	0.0	0.0	0.0	1.2					
103	38	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0					
104	43	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0					
105	28	0.0	0.0	0.0	17.1	0.0					

La Tabla 51 muestra la velocidad ajustada, velocidad VISSIM y velocidad TSIS en cada escenario para el enlace 2-3 y franja horaria pico en sentido Suroriente.

Tabla 51. Resumen de velocidad ajustada, velocidad VISSIM y velocidad TSIS en (km/h) para franja horaria pico y enlace 2-3 (sentido Suroriente)

n	V ajustada	V (0.0) Vissim	V (0.2) Vissim	V (0.4) Vissim	V (0.6) Vissim	V (0.8) Vissim	V (0.0) tsis	V (0.2) tsis	V (0.4) tsis	V (0.6) tsis	V (0.8) tsis
106	32	0.0	0.0	18.7	31.3	0.0	2.3	2.4	2.6	4.2	3.5
107	32	42.0	0.0	9.0	5.7	0.0	1.9	2.7	3.2	3.1	2.3
108	35	0.6	0.0	2.9	9.6	0.0	1.9	2.1	2.1	3.1	3.1
109	24	39.1	0.0	0.5	32.5	0.0	1.9	2.4	2.3	3.2	3.5
110	27	0.0	0.0	0.0	42.2	0.0	1.9	7.2	2.7	4.3	5.5
111	38	0.0	0.0	1.1	44.1	0.0	10.6	2.3	2.6	2.6	3.4
112	25	44.4	38.2	0.0	7.6	0.0	2.1	2.7	2.7	2.6	6.0
113	28	40.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	2.7	2.7	2.9	3.4
114	28	0.0	42.3	0.0	42.3	0.0	1.9	2.3	2.4	3.5	4.2
115	25	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	1.8	2.3	3.1	2.3	2.7

n	V ajustada	V (0.0) Vissim	V (0.2) Vissim	V (0.4) Vissim	V (0.6) Vissim	V (0.8) Vissim	V (0.0) tsis	V (0.2) tsis	V (0.4) tsis	V (0.6) tsis	V (0.8) tsis
116	28	0.0	0.0	0.0	36.8	34.0	1.9	2.6	2.6	4.0	4.0
117	32	0.0	0.0	7.2	39.7	0.0	3.5	3.4	4.2	5.8	5.1
118	33	41.1	0.0	19.3	40.1	0.0	6.6	5.6	9.3	9.0	8.8
119	27	41.9	0.0	1.8	29.3	0.3	3.4	4.2	4.2	4.3	3.9
120	37	38.9	0.0	0.0	2.3	40.3	7.2	8.7	6.0	7.4	11.1
121	27	0.0	0.0	0.0	2.4	41.1	3.2	3.5	3.5	4.7	4.5
122	28	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	6.1	7.6	7.6	8.7	9.0
123	56	0.0	0.9	0.0	1.6	0.0	3.4	4.2	3.5	5.1	5.6
124	34	40.4	0.0	0.0	9.7	0.0	9.5	12.7	6.9	5.1	13.0
125	28	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	3.1	7.2	3.9	5.5	7.1
126	25	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	6.3	0.0	6.1	7.2	10.0
127	27	34.2	0.0	6.2	1.9	0.0	10.6	3.9	4.0	4.0	5.3
128	40	0.0	0.0	43.8	1.6	0.0	0.0	9.2	7.9	7.4	11.6
129	33	36.8	32.4	31.5	1.9	0.0	2.7	4.2	4.0	3.9	8.0
130	45	0.0	0.0	44.4	2.6	0.0	3.7	11.1	7.9	6.9	12.2
131	46	43.3	22.9	0.0	43.9	44.3	3.2	3.5	4.5	4.2	5.1
132	23	3.8	0.0	0.0	44.9	0.0	7.6	5.3	11.1	7.7	9.8
133	32	45.1	11.4	0.0	38.6	43.6	2.7	3.7	4.0	4.7	5.3
134	26	36.6	3.2	0.0	36.6	38.6	4.8	9.5	9.2	6.6	7.6
135	37	27.1	1.6	3.4	40.9	0.0	2.7	3.4	4.7	3.4	4.3
136	19	0.0	42.7	0.0	43.9	0.0	4.7	6.4	9.7	6.3	9.7
137	31	0.0	0.0	0.0	42.1	0.0	2.9	3.7	3.9	5.3	6.1
138	42	16.9	0.0	0.0	41.9	0.0	5.1	6.8	7.4	8.0	11.3
139	23	42.6	0.0	0.0	1.0	0.0	2.3	2.3	2.3	2.1	2.3
140	33	1.2	0.0	0.0	36.0	0.0	2.1	2.3	2.3	2.3	2.3
141	34	23.2	0.0	25.1	2.3	2.7	2.1	2.3	2.1	2.3	2.3
142	26	42.4	0.0	0.0	0.0	2.3	2.3	2.3	2.1	2.3	2.1
143	23	44.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	2.4	2.3	2.4	2.3
144	23	16.1	0.0	0.0	1.9	0.4	2.3	2.3	2.1	2.3	2.3
145	31	8.6	0.0	0.0	5.3	0.0	2.1	2.3	2.1	2.3	2.3
146	37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	2.4	2.1	2.3	2.3
147	32	26.1	0.0	43.6	0.0	0.6	2.1	2.3	2.3	1.9	2.4
148	32	0.0	0.0	0.0	14.3	0.0	1.9	2.3	2.3	2.3	2.3
149	35	4.4	0.0	3.2	0.6	10.7	1.9	2.1	2.3	2.3	2.3
150	24	11.6	0.0	0.0	2.5	0.0	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
151	27	0.0	22.0	0.0	0.0	39.7	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6
152	38	0.0	0.0	0.0	0.0	42.3	2.4	2.6	2.6	2.4	2.4
153	25	18.9	42.0	42.9	0.0	0.0	2.7	2.7	2.7	2.6	2.7
154	28	3.1	0.0	40.8	0.0	0.0	2.4	2.6	2.4	2.4	2.4
155	28	0.8	40.5	0.0	0.0	0.0	2.9	2.9	2.7	2.6	2.7
156	25	0.0	43.2	0.0	0.0	10.6	2.4	2.6	2.4	2.6	2.4
157	28	4.9	0.0	0.0	0.0	17.9	2.9	3.1	2.6	2.6	2.7

n	V ajustada	V (0.0) Vissim	V (0.2) Vissim	V (0.4) Vissim	V (0.6) Vissim	V (0.8) Vissim	V (0.0) tsis	V (0.2) tsis	V (0.4) tsis	V (0.6) tsis	V (0.8) tsis
158	51	0.0	43.8	44.8	0.0	35.0	2.4	2.4	2.6	2.6	2.4
159	46	14.3	39.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	2.9	2.7	2.6
160	59	0.0	43.9	42.7	0.0	0.0	2.3	2.6	2.4	2.4	2.4
161	66	0.0	41.2	1.1	0.0	0.0	0.0	2.9	2.7	2.6	2.7
162	45	0.0	0.0	42.6	0.0	0.0	2.4	2.6	2.4	2.4	2.4
163	42	34.8	0.0	9.9	43.8	0.0	2.6	3.1	2.7	2.7	2.7
164	38	40.2	0.0	41.2	15.0	42.4	2.4	2.6	2.4	2.4	2.4
165	46	41.6	0.0	40.8	0.0	5.3	2.9	2.7	2.7	2.6	2.7
166	55	0.0	0.0	41.7	0.0	45.5	2.4	2.4	2.4	2.6	2.4
167	46	5.6	0.0	34.8	0.0	30.4	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6
168	58	0.0	0.0	40.9	0.0	40.7	2.4	2.6	2.6	2.4	2.4
169	50	0.0	0.0	42.7	0.0	5.1	2.7	2.7	2.9	2.7	2.9
170	39	0.0	0.0	40.4	0.0	0.0	2.3	2.4	2.6	2.4	2.6
171	48	42.7	0.0	42.8	38.8	0.0	2.7	2.6	2.7	18.8	2.7
172	46	0.0	0.0	42.5	33.2	0.0					
173	39	0.0	0.0	31.4	0.0	16.7	(66 simulaciones de Vmedia)				
174	39	5.9	0.0	42.2	0.0	0.0					
175	29	0.0	0.0	32.9	43.7	0.0					
176	55	0.0	0.0	42.5	42.2	0.0					
177	31	0.0	0.0	42.9	0.0	0.0					
178	39	31.0	0.0	34.7	40.6	0.0					
179	42	0.0	0.0	27.9	0.0	5.5					
180	47	0.0	39.2	0.0	0.0	0.0					
181	47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1					
182	58	0.0	41.0	32.7	0.0	0.0					
183	34	0.0	44.8	0.0	0.0	0.0					
184	33	0.0	41.5	0.0	0.0	0.0					
185	32	0.0	30.5	0.0	0.0	0.0					
186	59	0.0	43.0	3.4	0.1	0.0					
187	44	0.0	42.7	31.4	0.6	41.5					
188	49	0.0	41.3	45.1	0.0	0.0					
189	50	0.0	39.1	37.9	0.0	0.0					
190	43	26.8	32.6	22.7	0.0	0.0					

La Tabla 52, de forma análoga, muestra la velocidad ajustada, velocidad VISSIM y velocidad TSIS para el enlace 3-4 y franja horaria pico en sentido Suroriente.

Tabla 52. Resumen de velocidad ajustada, velocidad VISSIM y velocidad TSIS para franja horaria pico y enlace 3-4 (sentido Suroriente)

n	V ajustada	V (0.0) Vissim	V (0.2) Vissim	V (0.4) Vissim	V (0.6) Vissim	V (0.8) Vissim	V (0.0) tsis	V (0.2) tsis	V (0.4) tsis	V (0.6) tsis	V (0.8) tsis
191	38	0.0	42.8	1.9	0.0	0.0	5.6	6.0	5.8	6.0	5.8
192	49	0.0	33.6	0.6	40.6	0.0	5.8	6.0	6.1	5.8	5.8
193	36	14.5	36.4	0.0	43.7	0.0	5.6	5.8	5.5	5.6	5.8
194	31	0.0	42.5	3.5	39.2	40.6	5.8	5.8	5.5	5.8	5.6
195	28	0.0	29.3	10.4	41.8	0.0	5.6	10.3	5.8	6.0	6.1
196	25	0.0	30.5	0.0	43.1	0.0	10.3	6.0	6.0	6.0	6.0
197	44	0.0	30.5	0.0	44.7	0.0	5.8	5.8	5.8	5.6	5.6
198	39	0.0	42.0	0.0	0.0	0.0	5.8	5.8	5.8	6.1	5.8
199	25	0.0	27.6	5.5	0.0	0.0	5.6	5.8	5.8	6.0	6.1
200	37	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	6.0	5.8	6.0	5.8
201	31	0.0	21.1	0.0	0.0	0.0	5.6	6.0	6.1	6.0	6.0
202	34	0.0	0.0	0.0	0.0	42.6	6.1	6.3	6.3	6.3	6.4
203	27	47.0	17.8	8.0	0.0	0.0	6.8	6.6	6.8	6.6	7.1
204	37	0.0	43.7	0.0	0.0	38.4	6.1	6.4	6.6	6.6	6.6
205	23	0.0	40.6	8.5	0.0	0.0	6.6	7.1	7.1	7.4	7.4
206	27	0.0	42.1	30.5	0.0	0.0	6.1	6.3	6.1	6.1	6.4
207	29	9.6	44.6	27.3	0.0	0.8	6.8	6.8	6.9	6.8	7.1
208	31	8.3	42.6	0.0	0.0	28.3	6.1	6.3	6.1	6.4	6.4
209	25	0.0	44.6	26.8	0.0	0.0	6.8	6.9	6.9	6.4	7.6
210	39	22.5	42.9	45.6	0.0	42.8	6.0	10.3	6.3	6.3	6.6
211	32	0.0	40.3	0.0	0.5	0.0	6.4	0.0	6.8	6.8	7.1
212	42	0.0	44.9	0.0	0.0	0.0	10.3	6.4	6.6	6.4	6.6
213	31	2.6	40.2	44.1	41.8	0.0	0.0	6.9	7.4	7.1	7.7
214	32	0.0	44.1	6.1	42.1	40.0	6.0	6.4	6.6	6.3	6.4
215	37	0.7	45.0	14.8	44.6	34.2	6.0	7.4	7.4	7.1	7.4
216	36	0.0	44.2	12.8	32.5	44.2	6.3	6.3	6.3	6.6	6.4
217	36	0.0	41.1	0.0	0.0	40.4	6.8	6.6	6.9	7.4	7.1
218	26	15.2	41.8	0.0	0.0	44.4	6.0	6.3	6.4	6.4	6.4
219	31	42.6	43.1	0.0	0.0	0.5	6.4	6.9	7.1	6.8	6.8
220	32	27.2	43.5	0.0	0.0	7.5	6.0	6.4	6.1	6.6	6.4
221	34	42.2	42.9	0.0	0.0	34.1	6.4	7.2	6.6	7.1	7.1
222	25	0.0	42.7	0.0	0.0	35.8	6.0	6.4	6.6	6.6	6.4
223	24	40.2	40.6	0.0	0.0	32.8	6.3	6.9	7.1	7.4	6.9
224	26	26.8	41.0	0.0	0.0	22.3					
225	40	19.4	43.0	0.0	0.0	5.1					
226	33	35.7	44.1	0.0	0.0	11.9	(34 simulaciones de Vmedia)				
227	38	1.5	43.9	0.0	0.0	35.2					
228	31	10.7	41.8	40.5	0.0	43.4					
229	28	41.7	42.4	0.0	0.0	7.8					
230	32	11.9	44.2	44.9	42.1	44.1					
231	34	37.6	44.1	42.7	44.6	44.9					
232	38	5.3	44.9	24.8	0.0	43.0					

n	V ajustada	V (0.0) Vissim	V (0.2) Vissim	V (0.4) Vissim	V (0.6) Vissim	V (0.8) Vissim	V (0.0) tsis	V (0.2) tsis	V (0.4) tsis	V (0.6) tsis	V (0.8) tsis
233	33	4.4	41.2	37.3		0.0					

Los datos de velocidad correspondientes al sentido Noroccidente complementan la medición para las franjas horarias pico. En el caso de las franjas horarias valle los datos se organizan igualmente en ambos sentidos y todos los resultados pueden ser vistos en el *Anexo 12: Velocidad VISSIM y TSIS franja horarias pico-valle ambos sentidos*

8.2 Validación mediante comparación de velocidades medias de las mediciones

A continuación, a manera de ejemplo, se muestra el resultado del procedimiento estadístico seguido para el análisis de velocidad de los grupos de muestra correspondientes al enlace 2-1 en el sentido Noroccidente y franja horaria de 7:00 a 9:00 am.

El análisis estadístico propone la comparación de los registros de las doce (12) columnas señaladas en las tablas anteriores, en cada caso. Se realizan varias pruebas estadísticas entre las que se incluyen la prueba-F y tabla ANOVA para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de las muestras. Si persisten dudas al respecto, las pruebas de rangos múltiples, más adelante, afinarán el resultado para confirmar cuáles escenarios son diferentes significativamente. Primero se describen las variables estadísticas de tendencia central y las gráficas ayudan a juzgar la significancia práctica de los resultados. La Tabla 53 indica el resumen estadístico de la velocidad para los distintos escenarios.

Tabla 53. Resumen estadístico descriptivo de las mediciones de velocidad media

	n	Media	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Error Estándar	Mínimo
V_aj	464	10,1336	17,2409	170,135%	0,800388	0
Vis_0.0	126	9,56587	14,7941	154,655%	1,31797	0
Vis_0.2	126	9,44841	14,8047	156,69%	1,31891	0
Vis_0.4	126	11,1889	15,523	138,736%	1,3829	0
Vis_0.6	126	10,3833	15,1459	145,867%	1,3493	0
Vis_0.8	126	8,0381	14,8002	184,126%	1,31851	0

	n	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Error Estándar	Mínimo
Tsis_0.0	33	10,1697	0,412678	4,05792%	0,071838	9,5
Tsis_1.0	33	9,64242	1,79026	18,5665%	0,311644	0
Tsis_0.2	33	10,1697	1,51214	14,869%	0,263229	1,9
Tsis_0.4	33	10,1424	0,297941	2,93757%	0,0518649	9,5
Tsis_0.6	33	10,0333	0,33973	3,38602%	0,0591395	9,5
Tsis_0.8	33	9,99091	0,377793	3,78136%	0,0657653	9,0
Total	1292	9,91765	14,7139	148,361%	0,409351	0

Observando los resultados de la Tabla 53, encontramos que la variabilidad mostrada por la muestra VISSIM es muy similar a la variabilidad del parámetro velocidad en la realidad y eso es interesante. Por su parte TSIS, no muestra variabilidad del parámetro ya que se fundamenta en valores promedios de un grupo de datos simulados. Sin embargo, los resultados de velocidad real y simuladas globales muestran resultados muy similares entre sí, se determina en este caso la validación recíproca y robusta de la velocidad, un resultado altamente satisfactorio. La Tabla 54 muestra las velocidades máximas alcanzadas para cada escenario, partiendo de la velocidad ajustada que se corresponde con el parámetro real medido en campo y luego las obtenidas para cada escenario con ambos softwares de simulación.

Tabla 54. Continuación del resumen estadístico para los datos de velocidad

	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
V_ajustada	73,0	73,0	11,5782	1,44216
Vis_0.0	45,3	45,3	6,25444	0,815995
Vis_0.2	44,9	44,9	6,13125	0,576738
Vis_0.4	45,0	45,0	4,94666	-0,942924
Vis_0.6	45,5	45,5	5,38596	-0,411593
Vis_0.8	44,4	44,4	7,49718	2,44862
Tsis_0.0	11,3	1,8	1,74541	0,261302
Tsis_1.0	10,8	10,8	-12,1394	33,3648
Tsis_0.2	11,4	9,5	-12,6797	35,7022
Tsis_0.4	10,6	1,1	-0,200738	-1,01117
Tsis_0.6	10,6	1,1	0,418715	-1,52311
Tsis_0.8	10,9	1,9	0,0370202	0,999055
Total	73,0	73,0	20,9419	6,50535

A simple vista parecen más precisas las simulaciones de velocidad con TSIS, no obstante, resulta más real cierta variabilidad según lo mostrado por la única simulación realizada por VISSIM, dado que TSIS trabaja con valores promedio de 11 simulaciones por escenario, es decir, describe poca variabilidad y consistencia de los valores promedios. Para probar diferencias significativas entre las medias primero se realiza la prueba ANOVA, donde existe una diferencia mayor de 3 entre la desviación estándar más pequeña y más grande, esto puede representar problemas de validez puesto que el análisis de varianza se asume con desviaciones estándar iguales, quizá aplicar una transformación de los datos pueda eliminar cualquier dependencia de la desviación sobre la media. El sesgo estandarizado se encuentra fuera del rango entre -2 y 2 en ocho registros y la curtosis estandarizada luce más aguda en la curva de velocidades TSIS.

El resultado en conjunto demuestra tendencia a normalidad con cierta variabilidad de la velocidad, lo que es propio en análisis de flujos interrumpidos, aun cuando, nos permite comparar medias para los distintos escenarios y subtramos analizados. La tabla 55 muestra el análisis de varianza ANOVA que descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,31, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el P-valor es mayor a 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 12 variables para un nivel del 95% de confianza.

Tabla 55. *Análisis de varianza ANOVA*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F	p-valor
Entre grupos	750,026	11	68,1842	0,31	0,9833
Intra grupos	278750,	1280	217,773		
Total (Corr.)	279500,	1291			

La Tabla 56 muestra la media para cada columna de datos de la muestra. Asimismo, el error estándar de cada media que mide la variabilidad en el muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada muestra. También se señala el intervalo de confianza alrededor del valor medio, que están basados en el procedimiento de las diferencias mínimas significativas (LSD) de Fisher y definen el alcance de la predicción. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95% de las veces. En la prueba de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. Véase la Tabla 57.

Tabla 56. *Tabla de Medias e intervalos de confianza, con un nivel del 95%*

Escenario	n	Media	Error Estándar		
			(s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
V_ajustada	464	10,1336	0,685083	9,18416	11,0831
Vis_0.0	126	9,56587	1,31467	7,74386	11,3879
Vis_0.2	126	9,44841	1,31467	7,6264	11,2704
Vis_0.4	126	11,1889	1,31467	9,36688	13,0109
Vis_0.6	126	10,3833	1,31467	8,56132	12,2053
Vis_0.8	126	8,0381	1,31467	6,21608	9,86011
Tsis_0.0	33	10,1697	2,56889	6,60946	13,7299
Tsis_1.0	33	9,64242	2,56889	6,08219	13,2027
Tsis_0.2	33	10,1697	2,56889	6,60946	13,7299
Tsis_0.4	33	10,1424	2,56889	6,58219	13,7027
Tsis_0.6	33	10,0333	2,56889	6,47309	13,5936
Tsis_0.8	33	9,99091	2,56889	6,43067	13,5511
Total	1292	9,91765			

Normalmente, los estudios estadísticos están contruidos por el análisis de más de una muestra, esto es grupos de datos provenientes de una población específica. De esta manera se hace necesario establecer alguna metodología que permita establecer las posibles diferencias que puedan existir entre una muestra y otra, esto a través del diseño de gráficos o planteamiento de pruebas de hipótesis. Este procedimiento de comparación múltiple

determina cuáles medias son significativamente diferentes, el resultado define que no hay diferencias significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95% de confianza.

Como se puede ver la tabla 58 identifica un solo grupo homogéneo, según la alineación en columna de equis. Es decir, no existen diferencias significativas entre las muestras comparadas, las X tiene una misma alineación en columna.

Tabla 57. Resultado de la prueba de Rangos Múltiples (método: 95,0 porcentajes LSD)

	n	Media	Grupos Homogéneos
Vis_0.8	126	8,0381	X
Vis_0.2	126	9,44841	X
Vis_0.0	126	9,56587	X
Tsis_1.0	33	9,64242	X
Tsis_0.8	33	9,99091	X
Tsis_0.6	33	10,0333	X
V_aj	464	10,1336	X
Tsis_0.4	33	10,1424	X
Tsis_0.0	33	10,1697	X
Tsis_0.2	33	10,1697	X
Vis_0.6	126	10,3833	X
Vis_0.4	126	11,1889	X

La Tabla 58 define las diferencias estimadas entre pares de medias, entre velocidad real y escenario según cada método de simulación aplicado por Rangos Múltiples.

Tabla 58. Diferencias estimadas entre pares de medias de escenarios simulados

Contraste	Diferencia	+/- Límites
V_aj - Vis_0.0	0,567748	2,90558
V_aj - Vis_0.2	0,685208	2,90558
V_aj - Vis_0.4	-1,05527	2,90558
V_aj - Vis_0.6	-0,249713	2,90558
V_aj - Vis_0.8	2,09553	2,90558
V_aj - Tsis_0.0	-0,0360763	5,21091
V_aj - Tsis_1.0	0,491196	5,21091
V_aj - Tsis_0.2	-0,0360763	5,21091
V_aj - Tsis_0.4	-0,00880355	5,21091
V_aj - Tsis_0.6	0,100287	5,21091
V_aj - Tsis_0.8	0,142712	5,21091

El método empleado para discriminar entre medias es el de diferencias mínimas significativas (LSD) de Fisher, que tiene una incertidumbre del 5% cuando supone cada par de medias diferente, donde la diferencia real es igual a 0. Otra forma gráfica de mostrar los resultados de variabilidad del parámetro de la Tabla 56, es el diagrama de caja y bigotes, que permite caracterizar cada muestra comparativamente, mostrando el rango de variabilidad y sus límites entorno a los valores medios. Véase la figura 55.

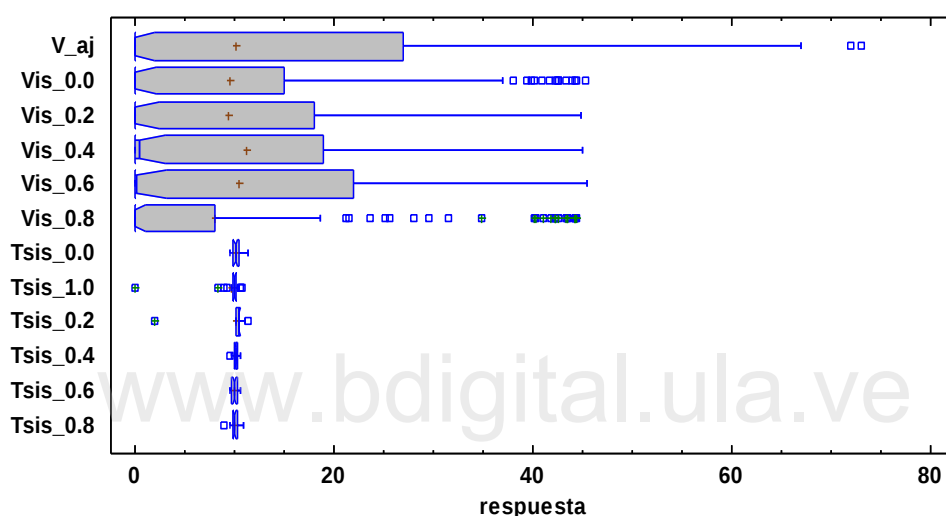


Figura 55. Velocidad real (ajustada) y velocidad en cada escenario vs respuesta.

De forma análoga se realiza el mismo procedimiento para los subtramos 3-2, y 4-3, tanto para franja pico como para franja valle. Los resultados se encuentran en el *Anexo 13: Resumen estadístico descriptivo de muestras de velocidad*. La figura 56, muestra el análisis de medias mediante un gráfico ANOM, que representa fácilmente la comparación de los distintos escenarios y velocidad real, para establecer si existen diferencias.

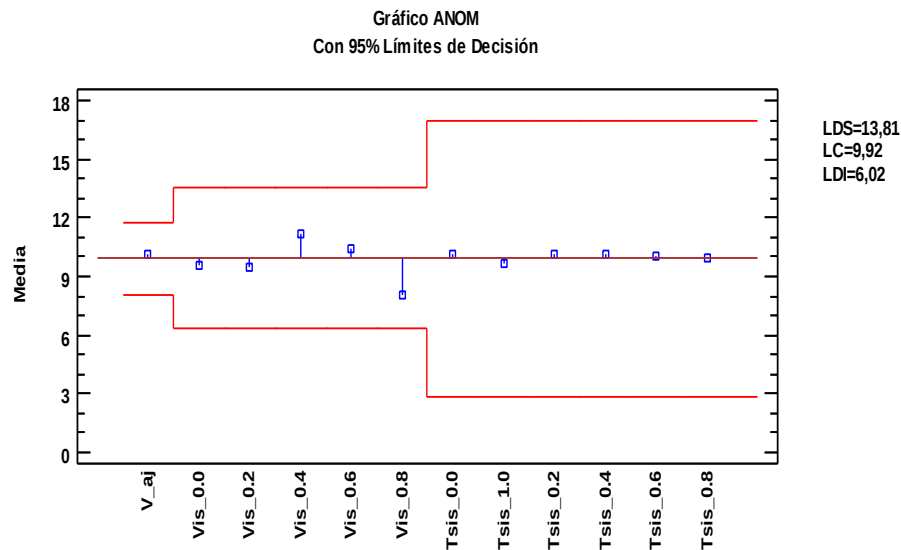


Figura 56. Gráfica ANOM con 95% en límites de decisión

Se muestran las medias de cada muestra asociada a un trazo vertical, medias que son acotados por los límites de decisión, de esta manera las medias que se salen de tales límites se asumen como significativamente diferentes. La simulación con TSIS define claramente en todos los casos de afectación moto que no existe diferencias muy significativas entre los valores simulados, inclusive sin moto, lo cual no permite definir un factor de afectación claro de motocicleta.

La simulación con VISSIM, por su parte, establece diferencias notorias para ciertos casos según el subtramo de análisis, señalando los factores de afectación de 0,4 y 0,8 con mayor inconsistencia y los valores 0,0, 0,2 y 0,6 como más apegados a la media y más consistente. Se sugiere en este caso, para futuros estudios, estratificar más los datos para obtener medias en cada subtramo y revisar de esta forma con más detalle los distintos resultados involucrados, y así, identificar diferencias posiblemente más notorias.

Los resultados de las medias en TSIS lucen más consistentes comparativamente. No obstante, esto se debe a que TSIS genera medias por subtramos directamente sin contrastar

En suma, se comprueba que la metodología es útil para determinar mediante análisis de sensibilidad de la velocidad de acuerdo al volumen de motocicletas, factores de afectación más claros en los casos de arteriales que se dispongan, entre ellas, las categorías de arterias I y II, que son de mayor jerarquía la más alta velocidad permitida, donde se presume, que la afectación pueda ser más contundente. Véase en detalle todos los resultados de este análisis de sensibilidad aplicado en los *Anexos 13*.

La figura 57 muestra los subtramos donde fue medida la longitud de cola expresada en vehículos y por canal. En específico, frente a los semáforos en los nodos 1, 2, 3, y 4.



175

Tabla 59. Longitud de cola TSIS por enlace en período T1 (7:00 a 8:00 h). Ambos sentidos

Run	Cola por enlace en carriles 1 y 2 (periodo T1)																											
	1-2				2-5				5-3				3-4				4-3				3-2				2-1			
	Cola promedio Qp y máxima Qm (SurOriente)														Cola promedio Qp y máxima Qm (NorOccidente)													
	Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm					
Canal	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
SM-0	17	17	24	25	16	15	24	26	5	5	7	8	6	6	15	15	3	3	13	11	1	1	8	9	3	3	10	11
SM-1	18	17	19	19	23	17	25	18	6	6	6	6	6	7	10	13	7	7	14	13	10	17	28	25	1	1	9	11
SM-2	17	18	23	24	15	15	22	24	5	5	7	8	6	6	14	15	3	3	14	10	1	1	7	8	2	3	13	12
SM-3	18	19	21	21	21	16	24	19	6	5	6	7	8	7	11	13	8	9	15	14	15	15	31	24	1	1	9	12
SM-4	18	18	25	25	16	16	24	27	5	5	7	8	6	6	14	15	3	3	11	11	1	1	8	6	3	3	9	13
SM-5	18	18	25	25	15	16	24	27	5	5	8	8	6	6	15	15	3	3	11	12	2	1	9	8	2	2	10	11
SM-6	18	17	19	20	19	22	20	23	5	6	5	6	6	6	7	12	14	12	15	13	0	0	7	7	1	1	6	10
SM-7	18	18	24	23	16	16	25	24	5	5	7	8	7	6	16	15	3	3	12	11	1	1	8	7	2	2	11	12
SM-8	18	17	19	18	22	20	24	22	4	7	5	7	8	8	10	11	14	12	15	13	0	1	7	7	1	1	12	13
SM-9	17	16	26	23	16	15	25	26	5	5	8	7	6	6	15	15	3	3	13	11	1	1	8	7	2	2	10	11
SM-10	19	19	20	20	19	17	22	20	7	7	7	7	9	8	13	13	13	12	16	14	0	0	6	6	1	1	9	10
Prom	18	18	22	22	18	17	24	23	5	6	7	7	7	7	13	14	7	6	14	12	3	4	12	10	2	2	10	11

Para la calibración se usan los datos promedios de cola máxima para el escenario sin moto (SM), dado que las motocicletas no hacen cola detrás de vehículos en las proximidades al semáforo, avanzan y se hacen un lugar delante de la cola, generalmente, cuando cae el intervalo rojo del semáforo. En las tablas 61 a 64, se ven los valores de longitud de cola promedio aparejados según cola real y simulada TSIS, para cada enlace, canal y sentido. La unidad de medida de la longitud de cola es expresada en vehículos.

Tabla 60. Longitud de cola TSIS por enlace en período T1 (13:00 a 14:00 h). Ambos sentidos

Run	Cola por enlace en carriles 1 y 2 (periodo T1)																											
	1-2				2-5				5-3				3-4				4-3				3-2				2-1			
	Cola promedio Qp y máxima Qm (SurOriente)												Cola promedio Qp y máxima Qm (NorOccidente)															
	Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm		Qp		Qm					
Canal	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2				
SM-0	18	17	24	24	11	10	26	24	5	4	8	7	5	6	15	13	3	2	13	10	1	1	7	11	2	2	10	12
SM-1	18	18	23	26	12	12	23	26	5	5	7	7	6	6	13	15	4	2	14	10	1	1	9	6	2	3	13	11
SM-2	18	18	23	26	13	13	25	26	5	5	7	8	6	6	14	15	3	2	13	12	1	1	8	8	2	2	8	14
SM-3	17	17	20	19	17	19	19	21	6	6	6	6	7	6	11	12	9	10	14	16	16	20	27	27	1	1	8	7
SM-4	18	19	24	26	11	11	23	25	5	5	7	8	6	6	15	13	3	3	11	9	1	1	9	12	2	3	11	13
SM-5	18	17	19	19	18	18	20	20	5	5	6	7	9	8	11	11	10	9	16	13	15	22	23	29	1	1	6	7
SM-6	18	18	20	20	23	17	25	18	4	7	5	7	6	7	7	11	13	13	14	14	0	6	5	16	1	1	8	6
SM-7	16	20	20	22	17	18	21	22	6	4	7	6	7	5	10	10	9	9	15	15	13	15	26	23	1	1	5	5
SM-8	18	19	20	21	15	17	20	24	5	5	7	7	6	6	12	14	5	5	14	14	7	10	30	24	1	1	8	9
SM-9	19	17	20	19	22	20	23	21	6	6	6	7	7	6	7	6	10	9	15	14	16	21	27	27	1	1	6	5
SM-10	18	19	23	24	13	14	25	25	5	5	8	8	6	6	15	15	3	3	13	12	1	1	6	5	2	2	9	10
Prom	18	18	21	22	16	15	23	23	5	5	7	7	6	6	12	12	7	6	14	13	7	9	16	17	1	2	8	9

Tabla 61. Longitud de cola media máxima comparada 7:00-8:00 h hacia Noroccidente

Canal derecho (1)	Canal Izquierdo (2)	Tramo (enlace)
Qm (veh)	Qm (veh)	
9 10	8 11	1 (2-1)
10 12	7 10	2 (3-2)
13 14	13 12	3 (4-3)

Tabla 62. Longitud de cola media máxima comparada 13:00-14:00 h hacia Noroccidente

Canal derecho (1)	Canal Izquierdo (2)	Tramo (enlace)
Qm (veh)	Qm (veh)	
9 8	11 9	1 (2-1)
18 16	17 17	2 (3-2)
14 14	12 13	3 (4-3)

Tabla 63. Longitud de cola media máxima comparada 7:00-8:00 h hacia Suroriente

Canal derecho (1)	Canal Izquierdo (2)	Tramo (enlace)
Qm (veh)	Qm (veh)	
23 22	23 22	1 (1-2)
8 7	8 7	2 (5-3)
12 13	12 14	3 (3-4)

Tabla 64. Longitud de cola media máxima comparada 13:00-14:00 h hacia Suroriente

Canal derecho (1)		Canal Izquierdo (2)		Tramo (enlace)
Qm (veh)		Qm (veh)		
22	21	23	22	1 (1-2)
5	7	6	7	2 (5-3)
13	12	12	12	3 (3-4)

En la figura 58 se muestran buenos resultados de calibración del parámetro Longitud de cola (L_c) medido en vehículos, comparando los datos del escenario Sin Moto y simulación cero (SM-0) realizada con TSIS versus longitudes de cola medidas en campo.

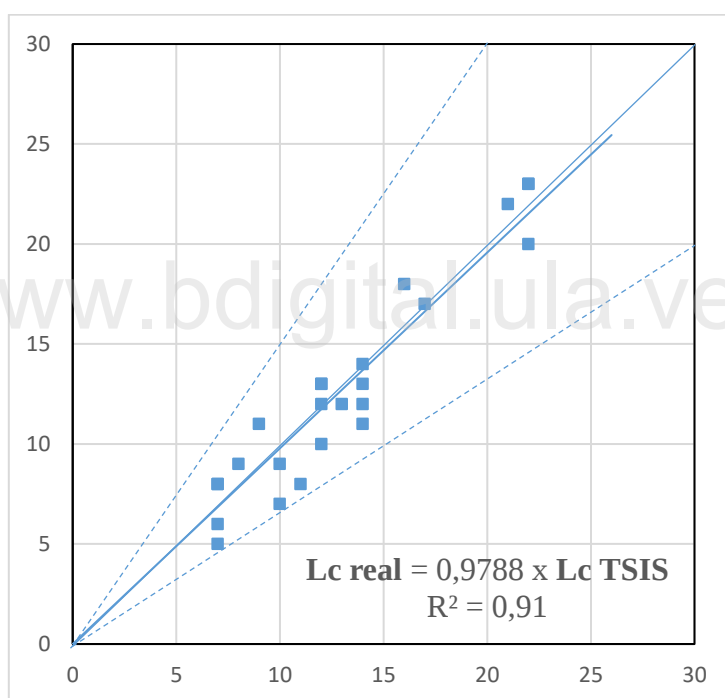


Figura 58. Calibración alcanzada en la longitud de cola (en vehículos). Datos reales vs datos TSIS, sin motos.

8.4 Factores de equivalencia moto estimados con velocidad media y área efectiva

Para determinar un Equivalente Motocicleta en autos o en los distintos modos presentes (EM), Chandra and Sikdar (2000) proponen un equivalente lógico que relaciona la velocidad

de modos que interactúan y sus respectivas áreas de ocupación efectiva. Véase Ecuación 2 para el caso entre autos y motos.

$$EM_a = \frac{Va/Vm}{Aa/Am} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde Va es la velocidad en auto y Vm la de motocicletas. El área efectiva de ocupación del auto Aa y el área de la moto Am definen el denominador en la Ecuación 2. Tan et al. (2018) proponen un modelo de regresión lineal polinómico para estimar el área efectiva de ocupación de la motocicleta en función de su velocidad que puede ser útil para establecer un contraste. El área de ocupación asumida en todas las simulaciones ($3 \times 2 = 6 \text{ m}^2$) es igual considerado, la Ecuación 3 define el modelo del área efectiva moto propuesto (Am).

$$Am = -0,0405 \cdot Vm^3 + 0,9853 \cdot Vm^2 - 5,8195 \cdot Vm + 15,261 \quad \text{Ecuación (3)}$$

El modelo puede extrapolarse usando la velocidad de la moto de 42,44 km/h, está en el dominio donde es válido el modelo. Los resultados de factores se pueden ver en la Tabla 65.

Tabla 65. Factores de equivalencia moto estimados con los datos simulados de velocidad media VISSIM

	V VISSIM (km/h)	V VISSIM (m/s)	A efectiva (m ²) *	EM
Auto	35,52	9,87	(8x3) 24	0,6 (Am de Tan et al.) 0,2 (Am asumida)
Motocicleta	42,44	11,79	17,24 (Tan et al.) (3x2) 6 (asumida)	1,0 (moto-moto)
Mixto (A+C+B)	11,20	3,11	media (A y B) (8x3) 24 (15x3) 45 = 34,5	0,1 (Am de Tan et al.) 0,0 (Am asumida)
TP	27,50	7,64	media (8x3) 24 (11x3) 33 = 28,5	0,4 (Am de Tan et al.) 0,1 (Am asumida)

* dimensionamiento típico en Colombia para vehículos de transporte público urbano (TP)

DISCUSIÓN, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

De cara a trabajos ulteriores, los factores propuestos pueden ser útiles en la medida que sean validados en arteriales similares, y como se puede ver, en algunos casos de vehículos, ya que el análisis de sensibilidad aplicado a los promedios globales de velocidad para tránsito mixto no señalan un factor en específico que pueda aplicarse con fiabilidad.

El comportamiento de los motociclistas luce diferente en comparación con el resto de conductores o modos, los motociclistas se mueven rápidamente entre los canales muy próximo al acceso de intersecciones y se agrupan al frente de la cola muy cerca de los semáforos. Este aspecto quizá influye en los resultados, dado que la motocicleta por su menor tamaño, flexibilidad y rapidez, permite a quien conduce, agilidad suficiente para hacerse delante de la cola de los vehículos con mucha facilidad e iniciar la marcha anticipadamente en el intervalo verde.

El estudio evidencia que la motocicleta tiene la mayor velocidad media operativa de la gama de vehículos estudiados del tránsito. Esto demuestra su versatilidad y desempeño, aspectos insuperables por el resto de vehículos bajo la condición de tránsito denso e interrumpido. La velocidad media operativa del camión y autobús, a pesar de no suponer maniobras notorias de detención sobre la arterial, experimentan una velocidad media muy por debajo de la motocicleta, la disminución representa casi un 50%.

Por otro lado, la función de dar movilidad al tránsito de paso se ve perjudicada por algunas maniobras en paradas de transporte público, lo que pudiese sugerir un reordenamiento de rutas y sus paradas lejos de puntos de conflicto para evitar transferencias de pasajeros indebidas que compliquen la circulación fluida. El gran volumen de paso de camiones por la arterial contribuye de igual forma a detenciones innecesarias, donde puede

resultar muy inapropiada la combinación alto porcentaje de camiones con vehículos de menor tamaño como pueden ser motocicletas y bicicletas, por razones de seguridad.

Se comprueba al variar la proporción de motocicletas que no existe afectación significativa en los parámetros operativos promedio del resto de vehículos, la velocidad media sobre la arterial luce constante al variar el volumen de motos manteniéndose en todos los escenarios las mismas condiciones de flujo de vehículos, composición y tipo de control. La motocicleta al tener un mayor desempeño que los otros vehículos, traslada la causa principal de demoras al control de semáforo. Análogamente, el nivel de servicio no evidencia cambios significativos que afecten la capacidad de arterial, por el contrario, se obtiene un mismo nivel de servicio muy cercano a la capacidad en hora pico, básicamente se determina lo cerca que se está la arterial del colapso con el tránsito actual.

La arterial corresponde a una clasificación de la vía en categoría IV según el Highway Capacity Manual (HCM) de los EE.UU. Constituye una infraestructura que está muy difundida actualmente en la red urbana en Colombia, donde se prevé que la velocidad promedio operativa este por debajo de los 48 km/h. Se observa que al aumentar el área efectiva ocupada por la motocicleta en el canal, y por su mayor velocidad operativa experimentada comparativamente con el resto de vehículos, define factores de equivalencia incipientes para la motocicleta. Quizá el factor de equivalencia valdría la pena estudiarlo en casos de arteriales con mayor categoría, donde la velocidad de la moto sea inferior, en flujos menos interrumpidos.

Teniendo en cuenta el gran volumen de tránsito observado, junto al incremento sostenido de motocicletas y poca regulación de su circulación imperante, se debe insistir en un estudio de mayor impacto por accidentes, que en su mayoría, son causados por motocicletas. Esto llevaría a justificar la redefinición y diseño de la infraestructura con la

aplicación urgente de políticas de movilidad y seguridad, que regulen tanto a conductores de vehículos, peatones y propios motociclistas. La reserva de un espacio exclusivo para la moto puede hacer viable su potencialidad de uso como modo emergente más flexible en arteriales densas, donde se deba explorar su mejor localización y diseño. La gran variabilidad observada de la velocidad operativa entre modos de mayor tamaño y motocicletas amerita correctivos inmediatos que garanticen la seguridad, mediante un análisis de los efectos positivos que generaría su segregación o no del resto de tránsito.

Según la revisión de la literatura se deduce que es conveniente la difusión mediante campañas para establecer buenos principios de convivencia, solidaridad, tolerancia, respeto, y aplicación de leyes que regulen la situación. Según los datos suministrados por el Centro de Experimentación y Seguridad Vial (CESVI) en Colombia, hasta el 2016, la principal causa de accidentes que involucran motocicletas es la invasión de canal, seguido por pérdida de control por causa de deficiencias en maniobrabilidad del conductor, entre otras. Es claro que, el gran número de motocicletas en la ciudad de Cúcuta ha incrementado la accidentalidad, por lo que sería importante, el desarrollo de investigaciones centradas en lograr una adecuada infraestructura que ayude a mitigar los problemas.

El software VISSIM permitió analizar parámetros operativos en cada escenario simulado detallando el tipo de vehículo e infraestructura. La herramienta permite modelar los puntos de mayor conflicto por demoras, semáforos, comportamiento de conductores, y presencia de motocicletas de manera integrada. La metodología propuesta de micro simulación bajo distintos escenarios de moto, la disminución y aumento en porcentaje de motocicletas dejando constante el volumen mixto, permite obtener la velocidad media del tránsito mixto. Aunque un factor de afectación no fue alcanzado, se recomienda estratificar más las mediciones en distintos subtramos para observar posibles diferencias más notorias

no alcanzadas con parámetros globales. El uso del software TSIS fue clave en el proceso de validación de ambos software, proporciona la robustez necesaria de la velocidad media alcanzada al comparar distintos escenarios que suponen tanto la condición real, y las simuladas, es decir, se establece un contraste interesante vía diferentes métodos de análisis de la velocidad que consolida el resultado como validación recíproca.

En los métodos aplicados mediante los softwares VISSIM y TSIS se denota leves diferencias en cuanto a la forma de mostrar la dispersión de la velocidad; en el primer software, se visualiza mayor la dispersión lo que es muy interesante, en el segundo, no se determina dispersión al valorar las medias de los conjuntos de datos en cada subtramo y escenario simulado.

Las pruebas estadísticas aplicadas también confirman que los escenarios con aumento y/o disminución de motocicletas resultan similares al caso de simulación sin motos, lo que permite ratificar que no existe un factor de equivalencia moto claro para este tipo de arteria. Destaca la calibración alcanzada en TSIS para las longitudes de cola máxima real y simulada, que fueron medidas en sectores específicos sobre la arterial, usando para ello los datos del escenario sin motos, como más ideal.

La velocidad simulada con VISSIM permitió caracterizar con más detalle el desempeño por tipo de vehículo, un aspecto clave para posteriormente mirar el factor equivalente moto por modo y en forma conjunta. Análogamente, la variación de la demora media en VISSIM frente a un factor de afectación resulta poco evidente, se observa muy poca diferencia entre la condición del flujo actual con y sin motocicletas. Evaluando estos resultados de demoras se alcanza un valor marginal de 6 s entre valores extremos de escenarios con y sin motos.

Teniendo en cuenta el gran número de vehículos que transitan por la arterial *Diagonal Santander* y según lo observado y simulado en cada escenario, es claro que, se debe resaltar

la elevada necesidad que existe de un mayor detalle o estratificación de los datos para lograr una confrontación de resultados dentro de un flujo e infraestructura que resulta bastante heterogéneos y difíciles de caracterizar. Es recomendable también, desde el punto de vista de lo urgente, la aplicación de políticas para garantizar la movilidad y seguridad tanto para conductores de motocicletas como para vehículos y resto de subsistemas vulnerables que componen el tránsito. La destinación de una infraestructura segregada y dedicada a la moto, pudiese ser una política pública interesante, más generalizada y replicable, si se garantiza su aspecto funcional.

Una vez discutido suficientemente los resultados del estudio en detalle y haber realizado algunas recomendaciones esenciales, podemos puntualizar seguidamente los aportes específicos del estudio iniciando con las respuestas a las preguntas de investigación:

- La afectación que produce la circulación de motocicletas en el tránsito mixto de arterial de categoría IV (HCM) resulta nula o con valores muy bajos según los resultados. El factor mediante varios métodos de cálculo del área efectiva ocupada (por modelo y asumida) resultan de 0,0 y 0,1;
- Se obtuvieron factores de equivalencia moto aplicando concepto preestablecido para su determinación. No solo para el caso de vehículos particulares, sino también, en los casos de tránsito mixto (autos, camiones y autobuses) y de transporte público, cuyos valores fueron de **0,2** y **0,6** (en **autos**), de **0,1** y **0,0** (tránsito **mixto**) y en el caso de transporte público de **0,4** y **0,1**;
- Al parecer el mayor impacto de las motocicletas lo ejerce sobre el vehículo particular, sobre todo los vehículos que van de paso por la arterial según el factor calculado, el aspecto de accidentes quizá sea una afectación más importante que requiere estudio para poder justificar nuevas infraestructuras;

- Se deja una metodología que es trazada durante todo el documento y que puede ser útil para continuar con nuevas propuestas de factores sobre otras infraestructuras, o bien, para fines de validación y aplicación de algunos factores encontrados;
- Según lo mostrado, se debe estudiar arteriales de mayor jerarquía, donde se presume que las motos puedan ser más influyentes por su mayor ocupación de espacio sobre el canal donde circulan, o bien, donde su velocidad demuestre ser inferior al resto de modos. Queda demostrado parcialmente, que en *Arteriales de Categoría IV*, no es factible aplicar factores de equivalencia moto, a menos que se puedan validar los calculados en este estudio;
- Se presume según otros autores, que la motocicleta afecta más a medida que aumenta su velocidad, donde el espacio ocupado dentro del canal tiende a ser mayor, situación que en flujos interrumpidos es más difícil de darse, ya que la situación de circulación entre vehículos y su rapidez de reacción en la cola hacen que esta ocupación de espacio de la motocicleta sea prácticamente nula, un aspecto que quizá pueda darse con mayor relevancia en vías de mayor jerarquía con altas velocidades y flujo continuo;
- Aunque la condición particular de circulación saturada del flujo resulta difícil de simular, sobre todo cuando los vehículos van más lento que la moto, o bien, están detenidos frente a un semáforo esperando el intervalo verde, la configuración de un desempeño alto de la motocicleta (usar valores de desaceleración máxima no urgente de $3,048 \text{ m/s}^2$, desaceleración máxima urgente de $6,096 \text{ m/s}^2$ y cambio de aceleración *Jerk* de 3 m/s^3 , inclusive fuera del rango seguro de $-0,1$ y -1 m/s^3 , para este último parámetro) fue clave, para lograr buenos resultados de validación de la velocidad simulada por ambos softwares;

- Finalmente, aunque los parámetros ambientales no fueron tratados en el estudio, podemos decir que el consumo de combustible, emisiones de hidrocarburos (HC) y gases como el monóxido de carbono (CO) y óxido de nitrógeno (NOx), parecen directamente proporcional al incremento de motocicletas. Resultados que pueden ser útiles a otros fines, y quedan a la mano en los anexos de este documento.

www.bdigital.ula.ve

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- ❖ **Accidente de tránsito:** Evento generalmente involuntario generado por al menos un vehículo en movimiento, que causa daños a personas e involucra bienes, lo que afecta la normalidad de circulación por las vías en un lugar específico, o dentro de su zona de influencia.
- ❖ **Conteo vehicular:** Es el registro de vehículos que pasan por un punto determinado o sección de la vía. A partir de él se puede obtener información sobre su distribución y composición en un punto de interés, en un periodo de tiempo específico.
- ❖ **Autoridades de tránsito:** Entidades públicas o privadas, a las que mediante delegación o convenio, se les asigna determinadas funciones sobre la gestión del tránsito, constituyen organismos de apoyo en las regiones.
- ❖ **Calles:** Según los fundamentos y aplicación de ingeniería de tránsito, son las que permiten el movimiento del tránsito entre áreas o sectores de la ciudad. Dan servicio directo a los generadores principales de tránsito. Las calles principales se combinan entre sí para formar un sistema destinado a la movilidad por la ciudad y en todas las direcciones.
- ❖ **CESVI Colombia:** Es el Centro de Experimentación y Seguridad Vial S.A., una entidad de carácter privado, soportada por la mayor parte de aseguradoras de automóviles. Si bien, tiene más de 35 años de funcionamiento en España, en Colombia opera desde 1999.
- ❖ **CISALVA:** Es el Instituto de investigación y desarrollo en prevención de la violencia y promoción de la convivencia social

- ❖ **Día pico:** Día que es determinado por el máximo en volumen vehicular de los días en los que se tomaron las muestras
- ❖ **Día valle:** Día que es determinado por el mínimo en volumen vehicular de los días en los que se tomaron las muestras
- ❖ **Equipo de prevención y seguridad:** El código de tránsito colombiano lo define como el conjunto de elementos necesarios para la atención inicial de emergencia a los vehículos.
- ❖ **Factor de equivalencia moto:** Relación que permite el ajuste del efecto real de determinada operación de la motocicleta en el resto de vehículos circulando, generalmente una equivalencia a vehículos ligeros.
- ❖ **Flujo discontinuo:** Hace referencia al flujo que sufre interrupciones en una corriente vehicular, ocasionadas principalmente por una intersección, dispositivo de control (PARE, Ceda el paso o semáforo). La circulación está normalmente afectada por puntos donde existen elementos fijos que impiden un tránsito libre.
- ❖ **VISSIM:** Software de micro-simulación que integra el análisis multimodal del tránsito y su infraestructura de calles.
- ❖ **Infraestructura vial:** Se define como el sistema o medio a través del cual se otorga conectividad terrestre al transporte de personas y carga, permitiendo realizar actividades productivas, de servicios, de recreación y turísticas.
- ❖ **Motocicletas:** El código de tránsito colombiano la define como un vehículo automotor de dos ruedas en línea, con capacidad para dos personas.
- ❖ **Motovía o Carril Moto:** Es un espacio en la calzada reservado para la circulación de motocicletas de forma segura y exclusiva.

- ❖ **Movilidad:** Es la cantidad de viajes que puede absorber el sistema (capacidad) en función de la rapidez con la que se puede transportar.
- ❖ **Pasajero:** Se define como la persona distinta al conductor que se transporta en un vehículo público.
- ❖ **Peatón:** Se define como la persona que transita a pie por una vía o calle.
- ❖ **RUNT:** Es Registro Único Nacional de Tránsito.
- ❖ **Semáforo:** Se define como los elementos que permiten regular y ordenar el tránsito, o bien, el dispositivo electrónico que regula el tránsito de vehículos y peatones, mediante el uso de señales luminosas de color rojo, ámbar y verde.
- ❖ **Señal de tránsito:** Se define como el elemento físico vertical o marca especial, que puede ser de carácter preventiva, reglamentaria e informativa, que indica la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías o calles.
- ❖ **Tránsito:** El código de tránsito colombiano lo define como la circulación de vehículos, personas o animales por una vía pública o privada.
- ❖ **Transporte:** El código de tránsito colombiano lo define como el traslado de personas, animales o cosas, de un punto a otro, a través de un medio físico.
- ❖ **TSIS:** Software de micro simulación y optimización del tránsito, de aplicación específica a redes de calles y autopistas en una ciudad.
- ❖ **Velocidad de recorrido promedio:** Es la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo n veces.
- ❖ **Vía:** El código de tránsito colombiano la define como la zona reservada al uso público o privado, destinada al tránsito de vehículos, personas y animales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo J., Echeverry J., Bocarejo J., Lleras G., Ospina G. y Rodríguez A. (2009). *El transporte como soporte al desarrollo del país. Una visión al 2040*. Universidad de Los Andes. Colombia.

Acuerdo No. 0083. *Aprobación y adopción del plan de ordenamiento territorial del municipio de San José de Cúcuta*. (2001, enero 07). Concejo Municipal de San José de Cúcuta, Colombia.

Acuerdo No. 089. *Aprobación y adopción de la modificación excepcional al plan de ordenamiento territorial del municipio de San José de Cúcuta*. (2011, diciembre 30). Concejo Municipal de San José de Cúcuta, Colombia.

Logistics P.T (Mayo 2012), VISSIM Alemania

Andemos (2021). Informe interactivo sector automotor. Matrículas de vehículos y motos nuevas. Abril 2021. Disponible: <https://datastudio.google.com/reporting/832d7738-08f7-4e3a-8843-65d4a746cfcc/page/srkzB>

Agudelo Torres, A. (2006). *Análisis integral del estado de la Avenida Alberto Mendoza Hoyos sector Túneles del Batallón Ayacucho - glorieta Expo-ferias*. [trabajo de grado de especialización]. Manizales, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Amado Cervo, L. y Alcino, P. (1980). *Metodología científica*. México. McGraw-Hill.

Asociación Técnica de Carreteras y el comité español de la A.I.P.C.R. (1985). *Manual de Capacidad de Carretera. Highway Capacity Manual (HCM) 2000*. España.

Arias Fidias G. (2006). *El proyecto de investigación. introducción a la metodología Científica*. Caracas, República Bolivariana de Venezuela. Episteme.

Cámara de la Industria Automotriz de la Asociación Nacional de Empresarios (ANDI). (2017 julio). *Las motocicletas en Colombia, aliados del desarrollo del país*. Bogotá: Comunicación integral.

Cámara de la Industria Automotriz de la Asociación Nacional de Empresarios (ANDI) y Federation National de Comerciantes (FENALCO). (2017). *Las motocicletas en Colombia: aliadas del desarrollo del país*. Disponible: <https://www.larepublica.co/empresas/cucuta-y-manizales-las-ciudades-donde-mas-se-vendieron-carros-a-julio-2765481>. Consultado: 2020, marzo 27.

Centro de Experimentación y Seguridad Vial Colombia (CESVI). *Causa de accidentes de motocicletas en Colombia*. (2016, marzo 15). Disponible: <https://www.revistaautocrash.com/causas-accidentalidad-motocicletas-colombia/>

Chanax Matul, J. (2015), *Alternativas del ordenamiento vial para el mejoramiento del flujo vehicular de la calzada Raul Aguilar Batres*. Trabajo de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Chandra, S., Sikdar, P.K. (2000). Factors affecting PCU in mixed traffic situations in urban roads. *Road and Transport Research* , 9(3), 40 50.

Cossalter, Vittore & Lot, Roberto & Massaro, Matteo & Sartori, R. (2011). *Development and validation of an advanced motorcycle riding simulator*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 225. 705-720. 10.1177/0954407010396006.

Decreto 0239. *Medidas de tránsito para automóviles, motocicletas, camionetas, camiones, volquetas y vehículos tipo taxi en la ciudad de San José de Cúcuta*. (2017, abril 04). Concejo Municipal de San José de Cúcuta, Colombia.

Dinero (2014). 10 ventajas y desventajas del uso de motos y de bicicletas. Colombia. Revista Dinero. Recuperado de <http://www.dinero.com>

Dirección de Transito de Bucaramanga. (2016). *Informe de gestión Dirección de Transito de Bucaramanga*. (2016, enero a octubre). Bucaramanga.

Decreto Ley 1421. *Normas necesarias para garantizar el acuerdo cumplimiento de las funciones y eficiente prestación de los servicios y dictar normas de tránsito y transporte*. (1993). Diario Oficial No. 40.958, julio 22, 1993.

Escobar, Natalia (2015). *Informe anual de Movilidad y transporte público, retos de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Red de ciudades cómo vamos, Alcaldía de Santa fé de Bogota.

Instituto de investigación y desarrollo en prevención de la violencia y promoción de la convivencia social (CISALVA) y Grupo de Investigación de Tránsito, Transporte y Vías (GITTV). *Estimación del impacto del piloto de la Motovía de Cali*. (2014, octubre).

Ley 769. *Código Nacional de Tránsito Terrestre y otras disposiciones* (2002). Senado de la República de Colombia. Diario Oficial No. 44.932, septiembre 13, 2002.

Ley 1239. *Código Nacional de Tránsito y Límites de velocidad en carreteras nacionales y departamentales* (2008). Senado de la República de Colombia. Diario Oficial No. 47.061, julio 25, 2008.

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (INVIAS). (2013). Colombia.

Manual de Diseño de Carreteras y Puentes (DMRB). Agencia de Carreteras del Reino Unido, Directrices de Modelización de Microsimulación de Wisconsin, Directrices de Modelización de Tráfico para el Transporte de Londres y otros entes 123

Medicina legal. Forensis Interactivo 2014.24-JULpdf (2)

Observatorio Nacional de Seguridad Vial de Colombia (ONSV). *Boletín Estadístico Cúcuta, fallecidos y lesionados (enero 2018 a diciembre 2019)*. Cúcuta.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Paquetes de medidas técnicas de seguridad vial*. Suiza. Autor.

Peña Cabra, A. (2015). *Determinación del Factor de Equivalencia de Motocicletas en Flujo Ininterrumpido en Vías con Pendiente*. [Trabajo de grado de maestría]. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería civil y ambiental. Bogotá.

Registro Único Nacional de Tránsito en Colombia (RUNT). (2019, diciembre 31). *Estadística RUNT en cifras. Datos en línea en RUNT: Balance del sector tránsito y transporte 2019*. Disponible: <https://www.runt.com.co/runt-en-cifras>

Sabino Carlos A. (2000). *El proceso de investigación*. Caracas, República Bolivariana de Venezuela. Panapo.

Santiago Aj., y Rathi, Ak. (1990). *Sistema integrado de software de tráfico (TSIS)*. United Engineering Center. Nueva York, NY Estados Unidos.

Sánchez Rodríguez, S. A., y Hernández Ramos, J. F. (2015). *Análisis operacional de la vía actual entre Sameco y Cencar y planteamiento de un escenario futuro de mejoramiento, usando modelación*. [Trabajo de pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana, Cali.

Sayago Alzate, Andrés F. (2014). *Determinación del efecto de las motos en el flujo de saturación de intersecciones semaforizadas de dos carriles*. [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Medellín. Medellín.

STT Medellín. (2008). *Carril sólo motos, prueba piloto*. Medellín, Secretaría de Transportes y Tránsito.

Moreno, E. (2006). *Calibración de factores de impedancia en el análisis de congestión urbana, aplicando sistema integrado de software de tráfico (TSIS)*. Ciencia e Ingeniería, 27(2), pp. 99-105. ISSN: 1316-7081. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=5075/507550778007>

Tan, D.T., Tu, V.T. and Sano, K. (2018) *Estimation of Motorcycle Equivalent Units on Urban Streets*. Asian Transport Studies. 5(2), 243-255.

Velandia Siachoque, P. (2014). *Criterios metodológicos para involucrar el factor moto en los estudios de tránsito en Bogotá*. [Trabajo de grado de maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá.

Yarce Marín, Y. (2015). *Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas aplicado en la ciudad de Medellín*. [Trabajo de grado de maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín.

www.bdigital.ula.ve