



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA EN
CONSTRUCCIONES**

**Estimación de la contaminación del aire generada por el
efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. Paseo
de los Cañaris de la ciudad de Cuenca – Ecuador, usando la
herramienta de micro simulación Aimsun 8.1.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autores:

PEÑA DÍAZ JOSE ANTONIO

POZO ROJAS JOSUE DAVID

DIRECTOR:

ING. CHRISTIAN MARCELO MOYANO TOBAR

CUENCA – ECUADOR

2021

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi papá y a mi hermana, quienes han sido de gran sustento moral durante todo este tiempo transcurrido, brindándome consejos y todo el apoyo requerido para continuar con más fuerza día a día. A mi mamá, que me mira y me cuida desde el cielo porque me ha enseñado valores y a ser persistente en lo que nos proponemos haciéndome una mejor persona. A toda mi familia y en especial a mi abuelo, Miguel Díaz Cueva, que me han motivado a despuntar en todo aquello que nos proponemos.

José Antonio Peña Díaz

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres y a mi abuela Clara, ya que, ellos siempre velaron y estuvieron presentes durante todo el proceso hasta llegar al punto en el que me encuentro. De igual manera, al resto de mi familia quienes buscaron brindarme un apoyo en cada etapa de mi vida universitaria.

Para finalizar quiero dedicar a quienes fueron mis compañeros de estudio, un grupo de personas brillantes en el ámbito académico y personal. Los cuales, gracias a su apoyo moral son responsables de que haya podido continuar con mi carrera profesional.

Josué David Pozo Rojas

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos compañeros, profesores, amigos y familiares que estuvieron presentes brindando apoyo durante el transcurso del presente trabajo de investigación. A la escuela de Ingeniería Civil con énfasis en Gerencia de Construcciones, al director Ing. José Vazquez y a todo el personal docente que conforma el departamento.

De manera especial al Ing. Christian Marcelo Moyano Tobar, director de la presente tesis, quien, de manera profesional contribuyó con sus criterios y conocimientos para culminar con este trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	21
ANTECEDENTES.....	23
JUSTIFICACIÓN.....	23
OBJETIVO GENERAL.....	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
ALCANCE.....	25
ESTADO DEL ARTE.....	26
CAPÍTULO 1.....	28
MARCO TEÓRICO.....	28
Conceptos generales.....	29
1. Estudios de volumen.....	29
1.1. Volumen.....	29
1.1.1. Volúmenes de Tránsito.....	29
1.1.2. Volúmenes de Tránsito horarios.....	29
1.1.3. Volumen horario máximo anual (VHMA).....	29
1.1.4. Volumen horario de máxima demanda (VHMD).....	29
1.2. Tipos de tránsito.....	30
1.2.1. Tránsito anual (TA).....	30
1.2.3. Tránsito mensual (TM).....	30
1.2.4. Tránsito diario (TD).....	30
1.2.5. Tránsito horario (TH).....	30
1.2.6. Tránsito en un periodo inferior a una hora (qi).....	30
1.2.7. Tránsito promedio diario (TPD).....	30
1.3. Tráfico promedio diario anual (TPDA).....	31

1.4.	Metodología para el cálculo del TPDA	31
1.4.1.	Factor horario (Fh)	32
1.4.2.	Factor diario (Fd)	32
1.4.3.	Factor semanal (Fs).....	32
1.4.4.	Factor mensual (Fm)	32
1.4.5.	Factor de hora de máxima demanda (FHMD).....	33
1.5.	Teoría del Flujo vehicular	33
1.5.1.	Flujo (q).....	33
1.5.2.	Densidad o concentración (K).....	34
1.5.3.	Velocidad (v).....	34
1.5.3.1.	Velocidad de recorrido	35
1.5.3.2.	Velocidad de marcha	35
1.5.3.3.	Velocidad de punto.....	35
1.5.3.4.	Velocidad instantánea.....	35
1.5.3.5.	Velocidad media temporal (Vt)	36
1.5.3.6.	Velocidad media espacial (Ve).....	36
1.6.	Determinación de la hora de máxima demanda	37
1.7.	Ecuación fundamental del flujo vehicular.....	37
1.7.1.	Relación lineal entre velocidad y densidad	38
1.7.2.	Relación parabólica entre flujo y densidad	39
1.7.3.	Relación parabólica entre velocidad media espacial y flujo.....	40
1.8.	Capacidad vial.....	41
1.9.	Grado de saturación	42
1.10.	Congestión vehicular	42
1.11.	Demora	42
1.11.1.	Demora Fija o uniforme (d1).....	43
1.11.2.	Demora operacional o incremental (d2).....	43
1.11.3.	Demora de tiempo parado o por cola inicial (d3).....	43
1.11.4.	Demora en los accesos	43
1.12.	Nivel de servicio.....	43
1.12.1.	Módulo de nivel de servicio	44

1.12.2.	Niveles de servicio para intersecciones no semaforizadas	45
1.12.3.	Niveles de servicio para redondeles	45
1.12.4.	Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas	46
1.13.	Tipos de análisis y nivel de detalle	46
1.13.1.	Análisis macroscópicos	46
1.13.2.	Análisis microscópico	47
1.13.3.	Análisis mesoscópico	47
1.14.	Aimsun 8.1	47
1.15.	Contaminantes atmosféricos	49
1.15.1.	Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	50
1.15.2.	Material particulado (MP)	50
1.15.3.	Material particulado grueso (MP ₁₀)	51
1.15.4.	Material particulado fino (MP _{2.5})	51
1.15.5.	Óxidos de nitrógeno (NO _x)	51
1.15.6.	Dióxido de carbono (CO ₂)	52
1.16.	Estadística	52
1.16.1.	Estadística de validación GEH	53
1.16.2.	Media Aritmética	54
1.16.3.	Población	54
1.16.4.	Muestra	55
1.16.5.	Censo	55
1.16.6.	Desviación estándar	55
1.16.7.	Varianza	55
1.17.	Principios fundamentales de la regresión lineal	55
1.17.1.	Sesgo y linealidad	55
1.17.2.	Linealidad	55
1.17.3.	Sesgo	56
1.17.4.	Homocedasticidad	56
1.17.5.	Heterocedasticidad	56
1.17.6.	Normalidad de los residuos	57
1.17.7.	Simetría	57

1.17.8.	Ortogonalidad.....	58
1.17.9.	Aleatoriedad.....	58
1.17.10.	Regresión lineal simple.....	58
1.17.11.	Regresión lineal múltiple.....	59
1.18.	Minitab 18.....	60
CAPÍTULO 2.....		61
CONDICIONES OPERACIONES Y ESTIMACIONE DE LAS EMICIONES CONTAMINANTES DEL AIRE EN EL CASO DE ESTUDIO No. 3 AV PASEO DE LOS CAÑARIS DE LA CIUDAD DE CUENCA.....		61
2.	La calidad del aire en Cuenca relacionada a la movilidad.....	61
2.1.	Antecedentes del área de estudio.....	66
2.1.1.	Definición del área de estudio.....	66
2.2.	Levantamiento de la información primaria.....	67
2.2.1.	Aforos vehiculares direccionales en intersecciones.....	67
2.2.2.	Conteo Automático.....	69
2.2.3.	Análisis por intersecciones.....	70
2.2.3.1.	Intersección 1: Av. Paseo de los Cañaris y Pachacamac.....	70
2.2.3.2.	Intersección 2: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Duma.....	72
2.2.3.3.	Intersección 3: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chaparra.....	74
2.2.3.4.	Intersección 4: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Viracochabamba.....	76
2.2.3.5.	Intersección 5: Av. Paseo de los Cañaris y El Observador.....	78
2.2.3.6.	Intersección 6: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chamba y J. Carrera Andrade.....	80
2.2.3.7.	Intersección 7: Av. Paseo de los Cañaris y Camilo Ponce y Juan José Flores.....	82
2.2.3.8.	Intersección 8: Av. Paseo de los Cañaris y Max Uhle.....	84
2.2.3.9.	Intersección 9: Av. Paseo de los Cañaris y redondel González Suárez.....	86
2.2.3.10.	Intersección 10: Av. Paseo de los Cañaris y Yana Urco.....	94
2.2.3.11.	Intersección 11: Av. Paseo de los Cañaris y Rumi - Urco.....	96
2.2.3.12.	Intersección 12: Av. Paseo de los Cañaris y Allcuquiuro.....	98
2.2.3.13.	Intersección 13: Av. Paseo de los Cañaris y Ayapungo.....	100
2.2.3.14.	Intersección 14: Av. Paseo de los Cañaris y Cojitambo.....	102
2.2.3.15.	Intersección 15: Av. Paseo de los Cañaris y Guagua Zhumi.....	104
2.2.3.16.	Intersección 16: Av. Paseo de los Cañaris y Altar Urcu.....	106

2.2.3.17.	Intersección 17: Av. Paseo de los Cañaris y Hurtado de Mendoza	108
2.3.	Levantamiento de la información secundaria.....	110
2.3.1.	Planimetría y topografía de la Av. Paseo de los Cañaris	110
2.3.2.	Características del parque automotor de Cuenca.....	111
2.4.	Construcción y Calibración del modelo de micro-simulación en Aimsun 8.1	114
2.4.1.	Creación de la red.....	115
2.4.2.	Calibración del modelo de micro-simulación.....	117
2.4.3.	Características mecánicas de los vehículos tipo en Aimsun 8.1	121
2.5.	Parámetros operacionales de las intersecciones de estudio	124
2.5.1.	Intersección 1: Av. Paseo de los Cañaris y Pachacamac	126
2.5.2.	Intersección 2: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Duma	128
2.5.3.	Intersección 3: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chaparra	130
2.5.4.	Intersección 4: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Viracochabamba	132
2.5.5.	Intersección 5: Av. Paseo de los Cañaris y El Observador.....	134
2.5.6.	Intersección 6: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chamba y J. Carrera Andrade	136
2.5.7.	Intersección 7: Av. Paseo de los Cañaris y Camilo Ponce y Juan José Flores	138
2.5.8.	Intersección 8: Av. Paseo de los Cañaris y Max Uhle.....	140
2.5.9.	Intersección 9: Av. Paseo de los Cañaris y redondel Gonzáles Suárez	144
2.5.10.	Intersección 10: Av. Paseo de los Cañaris y Yana Urco	146
2.5.11.	Intersección 11: Av. Paseo de los Cañaris y Rumi Urco	148
2.5.12.	Intersección 12: Av. Paseo de los Cañaris y Allcuquiro	150
2.5.13.	Intersección 13: Av. Paseo de los Cañaris y Ayapungo	152
2.5.14.	Intersección 14: Av. Paseo de los Cañaris y Cojitambo.....	154
2.5.15.	Intersección 15: Av. Paseo de los Cañaris y Guagua Zhumi.....	156
2.5.16.	Intersección 16: Av. Paseo de los Cañaris y Altar Urco	158
2.5.17.	Intersección 17: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Hurtado de Mendoza	160
2.5.18.	Resultados de la modelación de la red vial completa	162
2.6.	Emisiones contaminantes del aire en las intersecciones de estudio	165
2.7.	Validación de los resultados de las emisiones de Aimsun vs IVE 2.0.2.	172
CAPÍTULO 3		173
DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACION DE EMISIONES ..		173

3.	Información base	173
3.1.	Análisis de datos	173
3.1.1.	Flujo, Velocidad y Demora vs CO ₂	174
3.1.2.	Flujo, Velocidad y Demora vs VOC.....	175
3.1.3.	Flujo, Velocidad y Demora vs NOx	177
3.1.4.	Flujo, Velocidad y Demora vs MP	178
3.2.	Determinación del modelo matemático	180
3.3.	Análisis preliminar (regresión lineal multivariable)	181
3.3.1.	Análisis de regresión: CO ₂ vs Flujo, Velocidad y Demora.	181
3.3.2.	Análisis de regresión: NOx vs Flujo, Velocidad y Demora.	183
3.3.3.	Análisis de regresión: VOC vs Flujo, Velocidad y Demora.....	185
3.3.4.	Análisis de regresión: MP vs Flujo, Velocidad y Demora.	187
3.4.	Análisis definitivo (regresión lineal multivariable polinomial)	189
3.4.1.	Análisis de regresión: CO ₂ vs Flujo; Flujo * Demora; Velocidad 190	Flujo *
3.4.2.	Análisis de regresión: NOx vs Demora ² ; Flujo ² ; Velocidad ²	193
3.4.3.	Análisis de regresión: VOC vs Demora ² ; Flujo ² ; Velocidad	196
3.4.4.	Análisis de regresión: MP vs Flujo ² ; Velocidad ² ; Demora ² ; Velocidad 199	Flujo *
3.5.	Estimación de contaminantes en un acceso.....	211
3.6.	Estimación de contaminantes totales por intersección	211
3.7.	Metodología para estudios de impacto operacional y medioambiental en una vía colectora..	219
	CONCLUSIONES.....	220
	RECOMENDACIONES	221
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	223

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Factores de vehículos livianos equivalentes.....	37
Tabla 1.2. Nivel de servicio para intersecciones no semaforizadas.....	45
Tabla 1.3. Nivel de servicio para redondeles.....	45
Tabla 1.4. Nivel de servicio para intersecciones semaforizadas.....	46
Tabla 1.5. Criterios de validación GEH.....	53
Tabla 2.1. Resumen cualitativo y cuantitativo de las emisiones atmosféricas contaminantes estudiadas del cantón Cuenca en el año 2014.....	63
Tabla 2.2. Intersecciones analizadas de la Av. Paseo de los Cañaris.....	66
Tabla 2.3. Conteo automático vehicular sin clasificar.....	69
Tabla 2.4. Hora de máximo flujo en la intersección 1.....	70
Tabla 2.5. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 1.....	71
Tabla 2.6. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.....	71
Tabla 2.7. Hora de máximo flujo en la intersección 2.....	72
Tabla 2.8. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 2.....	73
Tabla 2.9. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.....	73
Tabla 2.10. Hora de máximo flujo en la intersección 3.....	74
Tabla 2.11. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 3.....	75
Tabla 2.12. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.....	75
Tabla 2.13. Hora de máximo flujo en la intersección 4.....	76
Tabla 2.14. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 4.....	77
Tabla 2.15. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.....	77
Tabla 2.16. Hora de máximo flujo en la intersección 5.....	78
Tabla 2.17. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 5.....	79
Tabla 2.18. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.....	79
Tabla 2.19. Hora de máximo flujo en la intersección 6.....	80
Tabla 2.20. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 6.....	81
Tabla 2.21. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.....	81
Tabla 2.22. Hora de máximo flujo en la intersección 7.....	82
Tabla 2.23. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 7.....	83
Tabla 2.24. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.....	83

Tabla 2.25. Hora de máximo flujo en la intersección 8.	84
Tabla 2.26. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 8.	85
Tabla 2.27. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	85
Tabla 2.28. Hora de máxima demanda en la entrada 1.	86
Tabla 2.29. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 1.	87
Tabla 2.30. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	87
Tabla 2.31. Cantidad de giros según el flujo vehicular en la entrada 1.	88
Tabla 2.32. Hora de máxima demanda en la entrada 2.	88
Tabla 2.33. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 2.	89
Tabla 2.34. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	89
Tabla 2.35. Cantidad de giros según el flujo vehicular en la entrada 2.	90
Tabla 2.36. Hora de máxima demanda en la entrada 3.	90
Tabla 2.37. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 3.	91
Tabla 2.38. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	91
Tabla 2.39. Cantidad de giros según el flujo vehicular en la entrada 3.	92
Tabla 2.40. Hora de máxima demanda en la entrada 4.	92
Tabla 2.41. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 4.	93
Tabla 2.42. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	93
Tabla 2.43. Cantidad de giros según el flujo vehicular en la entrada 4.	94
Tabla 2.44. Hora de máximo flujo en la intersección 10.	95
Tabla 2.45. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 10.	96
Tabla 2.46. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	96
Tabla 2.47. Hora de máximo flujo en la intersección 11.	97
Tabla 2.48. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 11.	98
Tabla 2.49. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	98
Tabla 2.50. Hora de máximo flujo en la intersección 12.	99
Tabla 2.51. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 12.	100
Tabla 2.52. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	100
Tabla 2.53. Hora de máximo flujo en la intersección 13.	101
Tabla 2.54. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 13.	102
Tabla 2.55. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	102

Tabla 2.56. Hora de máximo flujo en la intersección 14.	103
Tabla 2.57. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 14.	104
Tabla 2.58. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	104
Tabla 2.59. Hora de máximo flujo en la intersección 15.	105
Tabla 2.60. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 15.	106
Tabla 2.61. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	106
Tabla 2.62. Hora de máximo flujo en la intersección 16.	107
Tabla 2.63. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 16.	108
Tabla 2.64. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	108
Tabla 2.65. Hora de máximo flujo en la intersección 18.	109
Tabla 2.66. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 17.	110
Tabla 2.67. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.	110
Tabla 2.68. Clasificación del parque automotor de la ciudad de Cuenca de vehículos a gasolina.	112
Tabla 2.69. Clasificación del parque automotor de la ciudad de Cuenca de vehículos a diésel.	113
Tabla 2.70. Estadística GEH entre flujos simulados y flujos reales.	119
Tabla 2.71. Porcentaje de combustible según los grupos de vehículos.	122
Tabla 2.72. Resultados obtenidos a partir de la modelación de la red vial.	162
Tabla 2.73. Resultados promedio por acceso de cada intersección.	166
Tabla 3.1. Límites para la aplicación del modelo matemático.	181
Tabla 3.2. Contaminantes totales de la intersección 1.	212
Tabla 3.3. Contaminantes totales de la intersección 2.	212
Tabla 3.4. Contaminantes totales de la intersección 3.	213
Tabla 3.5. Contaminantes totales de la intersección 4.	213
Tabla 3.6. Contaminantes totales de la intersección 5.	214
Tabla 3.7. Contaminantes totales de la intersección 6.	214
Tabla 3.8. Contaminantes totales de la intersección 7.	215
Tabla 3.9. Contaminantes totales de la intersección 8.	215
Tabla 3.10. Contaminantes totales de la intersección 9.	216
Tabla 3.11. Contaminantes totales de la intersección 10.	216
Tabla 3.12. Contaminantes totales de la intersección 11.	217
Tabla 3.13. Contaminantes totales de la intersección 12.	217

Tabla 3.14. Contaminantes totales de la intersección 13.....	218
Tabla 3.15. Contaminantes totales de la intersección 14.....	218
Tabla 3.16. Contaminantes totales de la intersección 15.....	218
Tabla 3.17. Contaminantes totales de la intersección 16.....	219
Tabla 3.18. Contaminantes totales de la intersección 17.....	219

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Relación lineal entre la densidad y la velocidad.	38
Figura 1.2. Relación cuadrática entre flujo y densidad.....	39
Figura 1.3. Relación cuadrática entre velocidad media espacial y flujo.....	40
Figura 1.4. Niveles de Simulación de Aimsun (I Macroscópico, II Mesoscópico, III Microscópico).....	48
Figura 1.5. Ajuste por regresión con varianza uniforme con respecto a la media.	56
Figura 1.6. Ajuste por regresión con varianza desigual en cada nivel de medición.	57
Figura 1.7. Regresión lineal.....	59
Figura 2.1. Fuentes emisoras de CO ₂ de la ciudad de Cuenca en el año 2014.....	62
Figura 2.2. Promedio general de las fuentes contaminantes en la ciudad de Cuenca durante el año 2014. 64	64
Figura 2.3. Cantidad porcentual de contaminante liberado a la atmósfera según su tipo de fuente.	65
Figura 2.4. Comparativa de emisiones de CO ₂ entre ciudades y regiones ICES.....	65
Figura 2.5. Intersecciones analizadas en la Av. Paseo de los Cañaris.	67
Figura 2.6. Formato de hora utilizada para el conteo de tráfico observado.	68
Figura 2.7. Gráfico de flujos en la intersección 1.....	70
Figura 2.8. Gráfico de flujos en la intersección 2.....	72
Figura 2.9. Gráfico de flujos en la intersección 3.....	74
Figura 2.10. Gráfico de flujos en la intersección 4.....	76
Figura 2.11. Gráfico de flujos en la intersección 5.....	78
Figura 2.12. Gráfico de flujos en la intersección 6.....	80
Figura 2.13. Gráfico de flujos en la intersección 7.....	82
Figura 2.14. Gráfico de flujos en la intersección 8.....	84
Figura 2.15. Gráfico de flujos en la intersección 9.....	86
Figura 2.16. Gráfico de flujos en la intersección 10.....	95
Figura 2.17. Gráfico de flujos en la intersección 11.....	97
Figura 2.18. Gráfico de flujos en la intersección 12.....	99
Figura 2.19. Gráfico de flujos en la intersección 13.....	101
Figura 2.20. Gráfico de flujos en la intersección 14.....	103
Figura 2.21. Gráfico de flujos en la intersección 15.....	105
Figura 2.22. Gráfico de flujos en la intersección 16.....	107
Figura 2.23. Gráfico de flujos en la intersección 17.....	109

Figura 2.24. Topografía del viario ubicado entre las parroquias “Las Retamas” y “Cañaribamba”.....	111
Figura 2.25. Av. Paseo de los Cañaris y Av. Viracochabamba.	115
Figura 2.26. Av. Paseo de los Cañaris y Av. Max Uhle.	116
Figura 2.27. Redondel Av. Paseo de los Cañaris y González Suárez.	116
Figura 2.28. Av. Paseo de los Cañaris y Yana Urco.....	117
Figura 2.29. Av. Paseo de los Cañaris y Hurtado de Mendoza.	117
Figura 2.30. Comparativa gráfica entre datos reales y simulados del flujo.	118
Figura 2.31. Av. Regresión lineal de datos reales y simulados del flujo.	119
Figura 2.32. Características de dimensiones del vehículo tipo.	123
Figura 2.33. Características de peso del vehículo tipo.	123
Figura 2.34. Av. Características mecánicas vehículo tipo.	124
Figura 2.35. Tipo de combustible para cada grupo de vehículo.	125
Figura 2.36. Parámetros operacionales intersección 1.....	126
Figura 2.37. Emisiones contaminantes intersección 1.....	127
Figura 2.38. Parámetros operacionales intersección 2.....	128
Figura 2.39. Emisiones contaminantes intersección 2.....	129
Figura 2.40. Parámetros operacionales intersección 3.....	130
Figura 2.41. Emisiones contaminantes intersección 3.....	131
Figura 2.42. Parámetros operacionales intersección 4.....	132
Figura 2.43. Emisiones contaminantes intersección 4.....	133
Figura 2.44. Parámetros operacionales intersección 5.....	134
Figura 2.45. Emisiones contaminantes intersección 5.....	135
Figura 2.46. Parámetros operacionales intersección 6.....	136
Figura 2.47. Emisiones contaminantes intersección 6.....	137
Figura 2.48. Parámetros operacionales intersección 7.....	138
Figura 2.49. Emisiones contaminantes intersección 7.....	139
Figura 2.50. Parámetros operacionales intersección 8.....	141
Figura 2.51. Emisiones contaminantes intersección 8.....	143
Figura 2.52. Parámetros operacionales intersección 9.....	144
Figura 2.53. Emisiones contaminantes intersección 9.....	145
Figura 2.54. Parámetros operacionales intersección 10.....	146

Figura 2.55. Emisiones contaminantes intersección 10.....	147
Figura 2.56. Parámetros operacionales intersección 11.....	148
Figura 2.57. Emisiones contaminantes intersección 11.....	149
Figura 2.58. Parámetros operacionales intersección 12.....	150
Figura 2.59. Emisiones contaminantes intersección 12.....	151
Figura 2.60. Parámetros operacionales intersección 13.....	152
Figura 2.61. Emisiones contaminantes intersección 13.....	153
Figura 2.62. Parámetros operacionales intersección 14.....	154
Figura 2.63. Emisiones contaminantes intersección 14.....	155
Figura 2.64. Parámetros operacionales intersección 15.....	156
Figura 2.65. Emisiones contaminantes intersección 15.....	157
Figura 2.66. Parámetros operacionales intersección 16.....	158
Figura 2.67. Emisiones contaminantes intersección 16.....	159
Figura 2.68. Parámetros operacionales intersección 17.....	160
Figura 2.69. Emisiones contaminantes intersección 17.....	161
Figura 3.1. Relación entre flujo y CO ₂	174
Figura 3.2. Relación entre velocidad y CO ₂	174
Figura 3.3. Relación entre demora y CO ₂	175
Figura 3.4. Relación entre flujo y VOC.....	175
Figura 3.5. Relación entre velocidad y VOC.....	176
Figura 3.6. Relación entre demora y VOC.	176
Figura 3.7. Relación entre flujo y NOX.	177
Figura 3.8. Relación entre velocidad y NOX.	177
Figura 3.9. Relación entre demora y NOX.....	178
Figura 3.10. Relación entre flujo y MP.	178
Figura 3.11. Relación entre velocidad y MP.	179
Figura 3.12. Relación entre demora y MP.....	179
Figura 3.13. Residuos para CO ₂	183
Figura 3.14. Residuos para NOx.	185
Figura 3.15. Residuos para VOC.....	187
Figura 3.16. Residuos para MP.	189

Figura 3.17. Gráfica de probabilidad de residuos.	192
Figura 3.18. Residuos para CO ₂	192
Figura 3.19. Gráfica de probabilidad de residuos.	195
Figura 3.20. Residuos para NO _x	195
Figura 3.21. Gráfica de probabilidad de residuos.	198
Figura 3.22. Residuos para VOC.	198
Figura 3.23. Gráfica de probabilidad de residuos.	201
Figura 3.24. Residuos para MP.	201
Figura 3.25. Gráfica de dispersión: CO ₂ – Flujo; Flujo * Demora.	203
Figura 3.26. Gráfica de dispersión: CO ₂ – Flujo * Velocidad; Flujo.	204
Figura 3.27. Gráfica de dispersión: CO ₂ – Flujo * Velocidad; Flujo * Demora.	204
Figura 3.28. Gráfica de dispersión: NO _x – Velocidad ² ; Flujo ²	205
Figura 3.29. Gráfica de dispersión: NO _x – Demora ² ; Flujo ²	205
Figura 3.30. Gráfica de dispersión: NO _x – Demora ² ; Velocidad ²	206
Figura 3.31. Gráfica de dispersión: VOC – Flujo ² ; Velocidad.	206
Figura 3.32. Gráfica de dispersión: VOC – Demora ² ; Velocidad.	207
Figura 3.33. Gráfica de dispersión: VOC – Demora ² ; Flujo ²	207
Figura 3.34. Gráfica de dispersión: MP – Velocidad ² ; Flujo * Velocidad.	208
Figura 3.35. Gráfica de dispersión: MP – Demora ² ; Flujo * Velocidad.	208
Figura 3.36. Gráfica de dispersión: MP – Flujo ² ; Flujo * Velocidad.	209
Figura 3.37. Gráfica de dispersión: MP – Flujo ² ; Velocidad ²	209
Figura 3.38. Gráfica de dispersión: MP – Demora ² ; Velocidad ²	210
Figura 3.39. Gráfica de dispersión: MP – Demora ² ; Flujo ²	210

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha Técnica del vehículo Chevrolet modelo Aveo activo sedán 1.6 (MT) año 2011.	225
Anexo 2. Ficha Técnica del vehículo Chevrolet modelo Aveo activo sedán 1.6 (MT) año 2011.	226
Anexo 3. Metodología para estudios de impacto operacional y medioambiental en una vía colectora....	227

RESUMEN

Estimación de la contaminación del aire generada por el efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. Paseo de los Cañaris de la ciudad de Cuenca – Ecuador, usando la herramienta de micro-simulación Aimsun 8.1.

En las últimas décadas, la tasa de contaminación del aire generada por la circulación de vehículos motorizados ha presentado altos índices de emisiones para los habitantes de la ciudad de Cuenca. Los efectos a corto, mediano y largo plazo generados por estos contaminantes sólidos o gaseosos, provocan severas complicaciones a la salud especialmente al sistema respiratorio. Conscientes de la necesidad de establecer un modelo matemático para estimar emisiones de: dióxido de carbono, óxido nítrico, compuestos orgánicos volátiles y material particulado derivado por la congestión y saturación vehicular, este trabajo pretende correlacionar parámetros de velocidad, flujo y demoras con los contaminantes antes descritos en la Av. Paseo de los Cañaris de la ciudad de Cuenca – Ecuador, a partir de los datos generados por la herramienta informática de micro simulación de tránsito Aimsun en su versión 8.1.

Palabras clave: Aimsun 8.1, Contaminación ambiental, Micro simulación de tránsito, modelo matemático.

CHRISTIAN
MARCELO
MOYANO
TOBAR

Firmado digitalmente por CHRISTIAN MARCELO MOYANO TOBAR
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, o=SECURITY DATA S.A. 1., ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, serialNumber=121020152332, cn=CHRISTIAN MARCELO MOYANO TOBAR
Fecha: 2021.02.01 16:01:17 -05'00'

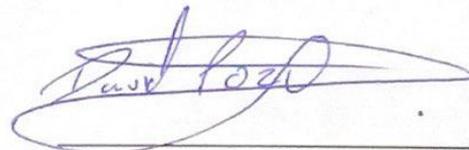
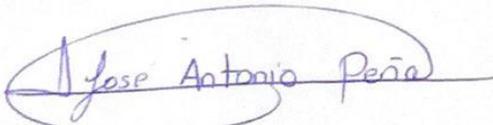


Ing. Christian Marcelo Moyano Tobar

Ing. José Fernando Vázquez Calero

Director de Trabajo de Titulación

Director de Escuela



Peña Díaz José Antonio

Pozo Rojas Josué David

Autor

Autor

ABSTRACT

Estimate of air pollution generated by the effect of motor vehicle traffic on Paseo de los Cañaris Avenue in Cuenca by using the Aimsun 8.1 micro simulation tool.

The rate of air pollution generated by motor vehicles presented alarming rates for the residents of the city of Cuenca in the last decade. The short-, medium- and long – term consequences generated by solid or gas pollutants cause severe health complications especially lung problems. This situation enhanced the need to create a mathematical model to estimate the emissions of: carbon dioxide, nitrous oxide, volatile organic compounds and derived particulate material generated by traffic congestion and saturation. Thus, this research pretends to correlate speed, flow and delay parameters on Av. Paseo de los Cañaris in Cuenca – Ecuador at its main intersections through the highest traffic flow modeled from the Aimsun 8.1 traffic micro-simulation computer tool.

Keywords: Aimsun 8.1, environmental pollution, Traffic micro simulation, mathematical model.

CHRISTIAN
MARCELO
MOYANO TOBAR

Procedo digitalmente por CHRISTIAN
MARCELO MOYANO TOBAR
Número de identificación DNI: 400,
SECURITY ITALIA S.L. SA-ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE INFORMACION,
señalada con el código 100010000000,
por CHRISTIAN MARCELO MOYANO TOBAR
FIDUCI. REP. EC. EN 12.10.11-4096

Ing. Christian Marcelo Moyano Tobar
Thesis Director

Ing. José Fernando Vázquez Calero
Faculty Director

Peña Díaz José Antonio
Author

Pozo Rojas Josué David
Author

Translated by

Ivana Sempértegui

Peña Díaz José Antonio

Pozo Rojas Josué David

Trabajo de Titulación

Ing. Christian Marcelo Moyano. M.Sc.

Estimación de la contaminación del aire generada por el efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. Paseo de los Cañaris de la ciudad de Cuenca – Ecuador, usando la herramienta de micro-simulación Aimsun 8.1.

INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, el ser humano ha buscado todo tipo de soluciones para cada problema que se le presenta. Ante la necesidad de buscar diferentes métodos, más rápidos y eficaces para movilizarse y, con la finalidad de fomentar el desarrollo de cada región, nace la propuesta de crear 'redes de transporte' entre distintos puntos estratégicos. Esta propuesta ofrece una gran cantidad de importantes beneficios tales como: la movilización de personas, desarrollo tecnológico, el comercio, intercambio de productos y el consumo de recursos (J. Garber & A. Hoel, 2009).

La globalización ha cobrado fuerza en las últimas décadas, siendo un fenómeno que las ciudades modernas enfrentan diariamente. El crecimiento poblacional en ciudades desarrolladas y la disputa por el primer lugar, obliga al ser humano a implementar nuevas técnicas y métodos en las 'redes de transporte'. En la actualidad, las grandes metrópolis productoras de materia prima, innovación tecnológica, economía sustentable y desarrollo social, poseen un sistema de 'redes de transporte' efectivas y muy desarrolladas; sin embargo, el parque automotor con cifras alarmantes y en aumento cada año, demanda mayor cantidad de espacio vial que desencadena una serie de consecuencias tanto ambientales como sociales (J. Garber & A. Hoel, 2009).

Entre los aspectos de mayor relevancia en lo que a daño al medio ambiente se refiere está, principalmente, la contaminación del aire, ya que, este es el receptor de todas las emisiones que libera el parque automotor día a día.

Por lo tanto, es de crucial importancia conocer el impacto que generan los vehículos motorizados para mantener la calidad de aire en la ciudad (Machado & Mantilla, 2015). Se estima que para el año 2050 más de un 70% de la contaminación mundial se generará en la zona urbana. Esta contaminación será producto de grandes congestiones vehiculares debido a la gran cantidad de vehículos y la saturación de las 'redes de transporte' (Fallah Shorshani et al., 2015).

A decir de Bravo (2007), el incremento del parque automotor en las ciudades de Latinoamérica y a nivel mundial responde a la necesidad del ser humano de trasladarse cómodamente de puerta a puerta. El problema nace cuando el usuario opta por el transporte privado, acelerando la saturación vial que da como resultado una mayor contaminación ambiental (Chávez & Cubides, 2018).

En la ciudad de Cuenca, Ecuador el incremento poblacional aún no representa un problema severo, sin embargo, el alto índice de vehículos privados, todos ellos impulsados por combustibles fósiles, supone caso típico de congestiones vehiculares y contaminación ambiental. Es decir, el parque automotor, el parque industrial, la rápida y descontrolada expansión urbana, dificultan el control de las emisiones al medio ambiente y contribuyen al deterioro de la calidad del aire (Chávez & Cubides, 2018).

Para continuar con el propósito fundado en el caso de estudio N°1 (Av. 10 de agosto entre Av. Loja y Av. el Paraíso) como se observa en Moyano (2017), se evaluará el comportamiento de una vía colectora representativa como lo es la Avenida Paseo de los Cañaris; para el efecto, se analizarán las intersecciones con mayor flujo vehicular, las cuales, están conformadas por redondeles e intersecciones semaforizadas y no semaforizadas. Se identificarán parámetros como: volúmenes de circulación, composición vehicular, características geométricas y topográficas, tiempos semafóricos, características de los vehículos y velocidades de marcha, instantánea y recorrido.

El modelo matemático obtenido de la correlación de flujos, velocidades y demoras permitirá estudiar, de mejor manera, el comportamiento vehicular y las emisiones producidas día a día. La metodología propuesta servirá como sustento a instituciones para agilizar procesos de cálculo en vías de geometría similar (Moyano, 2017).

ANTECEDENTES

Cuenca, al estar ubicada al sur del país, supone un estratégico punto de desarrollo económico y comercial. Debido al incremento del parque automotor en la ciudad, las vías colectoras sufren fuertes congestiones vehiculares diariamente, porque en su diseño original no contaba con el incremento desmedido de vehículos privados (Chávez & Cubides, 2018). Según datos de estudios realizados en Cuenca, los niveles de contaminación aún no superan los límites permisibles, sin embargo, hay un incremento significativo que obliga a implementar medidas correctivas (Chávez & Cubides, 2018).

Actualmente, esta ciudad no cuenta con un modelo matemático general que permita el cálculo de emisiones de gases emitidos a la atmósfera; y, los planes correctivos aplicados, según el último inventario de emisiones disponible del año 2014 emitido por la Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte, no mitigan el aumento de contaminación, por lo tanto, el presente estudio supone de gran ayuda para disminuir el incremento de gases emitidos a la atmósfera Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV - EP, 2014).

Adicionalmente, el presente documento continúa la línea de investigación iniciada como caso de estudio N°1, Av. 10 de agosto, la cual, arroja resultados de vital importancia para continuar con la investigación. De igual manera, el análisis aplicado en el caso de estudio N°1 fue replicado en el caso de estudio N°2, la Av. Don Bosco. El eje vial analizado es la Av. Paseo de los Cañaris, clasificada como una vía colectora, presentando distintos nodos de congestión y zonas comerciales en todo su largo (Chávez & Cubides, 2018).

JUSTIFICACIÓN

La contaminación, producto de la combustión de los compuestos fósiles, es liberada a la atmósfera diariamente, desencadenando múltiples efectos perjudiciales; el más común, el de efecto invernadero (Chávez & Cubides, 2018). La problemática vial aborda no solo un tema poblacional, sino también, operacional. Los largos tiempos de espera en las intersecciones y el mal funcionamiento de los semáforos, trae como consecuencia el despidio a la atmósfera de múltiples gases, tales como: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), material particulado

(MP) y gases de efecto invernadero como: benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, etc. (Moyano, 2017).

De acuerdo al último inventario de emisiones disponible del cantón Cuenca realizado en el año 2014, emitido por la (EMOV – EP), y como infiere Moyano (2017), se tiene que: el 94.5% de las emisiones de monóxido de carbono (CO), el 71.2% de Óxidos de nitrógeno (NO_x), 39.6% de Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVNM), 60.4% de dióxido de azufre (SO₂), 42.5% de material particulado fino (MP_{2.5}) y 55.6% de material particulado fino (MP₁₀), son producidos por el tráfico particular motorizado considerados como contaminantes primarios.

De acuerdo a estudios realizados por la Dirección Municipal de Tránsito, la tasa de crecimiento poblacional es de un 2% y la del parque automotor es de un 10% a 12%, lo que ha dado como resultado que la contaminación generada por vehículos provoque enfermedades principalmente de tipo respiratorio (Chávez & Cubides, 2018).

El conductor del vehículo infiere de manera directa en la emisión de contaminantes; es decir, un conductor cuyo comportamiento es agresivo, genera mayor cantidad de contaminación que uno pasivo, debido a que tiende a acelerar y frenar con mayor frecuencia (Moyano, 2017). Según la (EMOV – EP), el 57% de los contaminantes producidos en la ciudad de Cuenca se da por los vehículos motorizados, con una media de 2.42 toneladas de CO₂ per cápita.

OBJETIVO GENERAL

Establecer un modelo matemático de comportamiento para cuantificar la contaminación presente en el aire (CO₂, NO_x, VOC y MP) causada por la circulación vehicular motorizada, establecido previamente en un caso de estudio N° 1 Av. 10 de Agosto en la ciudad de Cuenca – Ecuador, implementando un factor de correspondencia entre flujo, velocidad y demora y emisión contaminante, generado de un estudio N° 2 Av. Paseo de los Cañaris en la ciudad de Cuenca – Ecuador con micro simulaciones de tránsito usando un software informático Aimsun 8.1.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar todos parámetros operacionales presentes en el área donde se llevará a cabo el estudio tales como: velocidad de recorrido, marcha e instantánea, flujo vehicular, estructura del tráfico e información mecánica de los vehículos tipo representativos.
- Evaluar la conducta operacional en el área de estudio.
- Calcular los parámetros necesarios para llevar a cabo la micro-simulación (% Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de entrada, % TPDA salida, % de giros, estructura del tráfico, hora de máxima demanda, variación horaria del tráfico, etc.)
- Efectuar una micro-simulación en la Av. Paseo de los Cañaris que tenga un factor de correspondencia elevado.
- Obtener un modelo matemático que corresponda a los parámetros de flujo, velocidad y demora con la cuantificación de contaminantes del aire (CO₂, NOX, VOC y MP).

ALCANCE

El alcance de este proyecto se plantea bajo los objetivos propuestos y está constituido por tres capítulos detallados a continuación.

Capítulo uno, basándonos en normas nacionales, publicaciones y normas técnicas internacionales se detallarán conceptos y definiciones referentes a la ingeniería en tránsito. Mediante el levantamiento de información y toma de datos en campo se obtendrán parámetros necesarios para ingresar en la herramienta informática Aimsun 8.1. El estudio está emplazado en la Av. Paseo de los Cañaris entre la Av. Pumapungo y la Av. Hurtado de Mendoza. Finalmente, se presenta una descripción general de las características, especificaciones técnicas y principales aplicaciones de los instrumentos de medición y modelación, utilizados para la determinación del modelo de emisiones de gases.

Capítulo dos, se exponen los resultados obtenidos a partir de la información ingresada en la primera parte. Una vez realizadas las micro simulaciones pertinentes se establecen las características operativas del eje vial por intersección (Nivel de servicio, Flujo, Velocidad y Demora). Se calculan las emisiones de los contaminantes por sección con la herramienta informática de micro-simulación de tránsito Aimsun 8.1.

Capítulo tres, con la estimación de los contaminantes emitidos se determina las ecuaciones útiles para el cálculo de emisiones por intersección. Se propone que la información obtenida y calculada puede ser utilizada en viarios con características geométricas similares. Finalmente, se proponen actividades que permitirán la generación de un modelo matemático general para la ciudad de Cuenca.

ESTADO DEL ARTE

Es importante teorizar los principales aportes que se han dado sobre este tema con estudios que los anteceden y que sirven de referentes al presente trabajo de investigación. Uno de ellos, a nivel nacional, es el de Bravo (2007), donde se señala que día a día hay grandes cantidades de emisiones liberadas a la atmósfera por el parque automotor en la ciudad de Quito.

Los nodos de alta congestión vehicular no solo perjudican a la calidad del aire, sino que, desarrollan problemas muy complejos a nivel social.

Para la autora, la congestión vehicular al no tener óptimos tiempos en las intersecciones semaforizadas, desencadena múltiples perturbaciones para el usuario, quien circula para llegar a su destino. Por lo tanto, al momento de manejar se generan cambios en la conducta que van desde retrasos para actividades, mayor consumo de combustible por los tiempos de espera, daño a la economía del sector, reducción en la productividad, estrés social, entre otros (Bravo, 2007).

En este caso, el uso de micro simuladores en las intersecciones: Av. 12 de octubre y Calle Roca; Av. Naciones Unidas y Av. 10 de agosto; Av. Colón entre Av. 6 de diciembre y Av. 10 de agosto de la ciudad de Quito, brindó información necesaria para mitigar la congestión y disminuir las emisiones de gases a la atmósfera.

El nivel de servicio de las intersecciones, gracias al micro simulador de tránsito, se verá afectado de manera positiva reduciendo, principalmente, tiempos de espera en los semáforos.

Las características de la vía es un factor a considerar, ya que si el ancho de carril, vereda, berma, pendiente entre otros no es el correcto la intersección, se verá afectada y, posiblemente, se requieran modificaciones (Bravo, 2007).

Otro de los aportes valiosos es un estudio a nivel internacional, de los autores Machado & Mantilla (2015), quienes reflexionan sobre el problema de la contaminación y su repercusión a nivel mundial. Sugieren que los países con mayor cantidad de habitantes son los más afectados, por lo tanto, suponen una actual complicación a combatir.

En Bucaramanga- Colombia, hay puestos de servicio para la medición del aire que están situados en lugares específicos y que cumplen la función de monitorear la calidad del aire. Estas mediciones constantes realizan tablas comparativas con los diferentes mecanismos para la medición de emisiones de gases y de modelación de tráfico vehicular (Machado & Mantilla, 2015). Lo que se pretende es mantener la calidad de aire óptima para los seres vivos, monitorear la emisión de gases e identificar el impacto que genera el flujo constante de circulación de vehículos.

Existen varios modelos para la estimación de contaminantes y simulación vehicular tales como: Mobile, Moves, Ive, Copert para emisión de gases y Getram, Etraus, Transcad, Aimsun entre otros; todos ellos, bajo el mismo parámetro en común de programación, aquel que permite el cálculo de emisiones y la modelación de tránsito, según el tipo de gas y clasificados bajo un régimen de categorías (Machado & Mantilla, 2015).

Según Apaza (2017), la congestión vehicular no solo se da por la saturación del parque automotor, sino que, el mantenimiento, mala planificación y falta de rutas alternativas, generan embotellamientos vehiculares.

Por lo tanto, el mantenimiento de una vía para que esta se encuentre en óptimas condiciones de circulación no solo es un factor estético; sino también, operacional, ya que, el deterioro de la calzada y la acumulación de residuos sólidos, genera congestión y disminuye el tiempo de vida para el que la intersección fue diseñada (Apaza, 2017).

El uso de un modelo matemático que describa el comportamiento, tanto de vehículos como medios de transporte alternativo (triciclos motorizados, buses, camiones, volquetas), facilitará a las empresas a cargo de la planificación urbana, buscar soluciones a los problemas mencionados.

Si hablamos a nivel local, uno de los grandes inconvenientes de la congestión vehicular son las festividades que se desarrollan en la zona de estudio (Centro Histórico, parques, plazoletas, centros educativos, etc.). A consecuencia, se cierra parcial y totalmente las vías, para dar paso a los desfiles socioculturales cuencanos, lo que imposibilita a los usuarios circular por el lugar; y, si a esto le sumamos la falta de vías alternas de circulación, nos da como resultado un caso de estudio muy congestionado y de difícil circulación.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

Existe una gran variedad de razones que motivan a las personas a transitar diariamente por las calles de una ciudad; actividades de interés personal como trabajar, estudiar, comprar, turismo, visitar seres queridos entre otros son motivos que inducen al transporte entre diferentes puntos. La descontrolada urbanización de las ciudades trae una serie de consecuencias negativas como problemas sociales, consumo de recursos y contaminación. Frenar esta problemática no es sencillo, ya que, se debe buscar convivencia armónica entre el espacio y el medio ambiente (Alcántara, 2010).

El círculo de consumo/desarrollo en el siglo XXI desencadena a una serie de repercusiones negativas sobre el planeta tierra. El consumismo cobra cada vez más fuerza en las actuales generaciones dando como resultado que al ser humano le resulte muy complejo renunciar a sus facilidades y a la calidad de vida. La reducción del consumo, el desarrollo de fuentes renovables y eficiencia de producción son algunas de las propuestas para erradicar la paradoja de consumo y desarrollo. Sin embargo, el consumo energético que demanda la producción de combustibles fósiles y el uso en los vehículos motorizados, supone una huella ambiental que, a largo plazo, se podría volver irreversible debido al

nivel de daño provocado. Tomar conciencia y frenar el deterioro del medio ambiente es el siguiente paso para una vida digna y libre de contaminación (Alarcón, 2011).

CONCEPTOS GENERALES

Como infiere Cal y Mayor & Cárdenas (2007), en su libro *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones* en el capítulo 8, referente a; Volúmenes de tránsito encontramos las siguientes definiciones.

1. Estudios de volumen

1.1. Volumen

Es la cantidad de vehículos que circulan por un punto, en un tiempo determinado.

1.1.1. Volúmenes de Tránsito

En la ingeniería de tránsito los volúmenes sirven para calcular la capacidad de viarios clasificándolas por jerarquías, niveles de servicio en intersecciones, diseño de pavimentos, diseño de intersecciones, etc. Los volúmenes de tránsito varían según la unidad de tiempo en la cual son medidos estas pueden ser de: hora, día, semana, mes y año (Chávez & Cubides, 2018).

1.1.2. Volúmenes de Tránsito horarios

Se definen a continuación los siguientes volúmenes de tránsito horarios dados en vehículos por hora.

1.1.3. Volumen horario máximo anual (VHMA)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de una vía durante un año corrido. Es la hora de mayor volumen del año.

1.1.4. Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de una vía durante 60 minutos consecutivos. Representa el volumen de máxima demanda de un día en particular.

1.2. Tipos de tránsito

1.2.1. Tránsito anual (TA)

Es el total de vehículos que circulan durante un año por un punto de calzada. $T=1$ año. Muestra un patrón de viajes que se genera en un área geográfica determinada.

1.2.3. Tránsito mensual (TM)

Es la cantidad de vehículos total que circulan durante un mes por un punto de control. $T=1$ mes

1.2.4. Tránsito diario (TD)

Es la cantidad de vehículos total que circulan durante un día por un punto de control. $T=1$ semana.

1.2.5. Tránsito horario (TH)

Es la cantidad de vehículos total que circulan durante una hora por un punto de control. $T=1$ día. Nos permite determinar la longitud y magnitud de los periodos de máxima demanda de una intersección para proponer una solución a problemas de tráfico.

1.2.6. Tránsito en un periodo inferior a una hora (q_i)

Es la cantidad de vehículos total que circulan por un punto de control durante un periodo inferior a una hora. En este caso se utiliza $T < 1$ hora y esta representa por i que oscila entre 5 y 15 minutos. Indica cómo varía el flujo de vehículos dentro de la hora de máxima demanda.

1.2.7. Tránsito promedio diario (TPD)

Es la cantidad de vehículos que circulan durante un periodo dado similar o menor a un año y mayor que un día, dividido para el número de días del periodo.

Ecuación 1

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} < T \leq 1 \text{ año}}$$

$N = \#$ de vehículos que pasan durante T días

1.3. Tráfico promedio diario anual (TPDA)

Es la cantidad de vehículos que circulan por un tramo de calzada en un día y es representativo de todo un año.

Ecuación 2

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

1.4. Metodología para el cálculo del TPDA

Como se menciona en la *Norma para Estudio y Diseño Vial NEVI - 12* (2013), volumen '2' libro 'A' apartado 203.4.5 referente al, Tráfico y Normas de Diseño Geométrico de carreteras, se encuentra el “Método de los factores” avalado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador utilizado para el cálculo del TPDA utilizado en el presente trabajo.

Requisitos para el cálculo del TPDA:

- Conteo automático durante 24 horas consecutivas por un mes completo y mínimo de una semana de una vía de características geométricas y operativas similares a la del caso de estudio, se utilizó los datos de conteo automático de la Av. Remigio Crespo Toral.
- Conteo manual de tráfico observado en las intersecciones más representativas de la zona de estudio, de 2 horas consecutivas
- El consumo de combustibles de la provincia del Azuay del año inmediatamente inferior al del conteo para este caso se ocupó el del año 2015, el último publicado por la Secretaría de Hidrocarburos del Ecuador. Los derivados de petróleo considerados son: gasolina ecopaís, gasolina súper, diésel 2 y diésel premium utilizados por los vehículos registrados en los conteos manuales y automáticos realizados.

Este método consiste en obtener distintos factores (Fh), (Fd), (Fs) y (Fi), los cuales multiplicados entre sí da como resultado un solo factor Fe que afecta al tráfico observado para obtener el TPDA.

TO= Tráfico observado

Fe= Factor de expansión

1.4.1. Factor horario (Fh)

Permite llevar el tráfico observado que fue de 12 horas a un valor de tráfico diario.

Ecuación 3

$$Fh = \frac{\text{Total tráfico del conteo automático del día correspondiente al conteo manual}}{\text{Tráfico de conteo automático correspondiente a las horas de conteo manual}}$$

1.4.2. Factor diario (Fd)

Permite llevar el tráfico diario a un valor de tráfico semanal.

Ecuación 4

$$Fd = \frac{\text{Promedio diario semanal de conteo automático}}{\text{Tráfico de conteo automático correspondiente a las horas de conteo manual}}$$

1.4.3. Factor semanal (Fs)

Permite llevar el tráfico semanal a un valor del tráfico mensual.

Ecuación 5

$$Fs = \frac{\text{Promedio diario semanal de conteo automático}}{\text{Tráfico de la semana que contiene el día de conteo manual}}$$

1.4.4. Factor mensual (Fm)

Permite llevar el tráfico mensual a un valor de tráfico anual.

Ecuación 6

$$Fm = \frac{\text{Consumo promedio mensual de combustible}}{\text{Consumo de combustible del mes que contiene el conteo manual}}$$

Una vez obtenidos estos factores se multiplican entre sí para determinar el factor de expansión Fe :

Ecuación 7

$$Fe = Fh * Fd * Fm$$

1.4.5. Factor de hora de máxima demanda (FHMD)

Es la relación que se genera entre el volumen de tráfico durante la hora de máxima demanda y el mayor volumen registrado en un periodo de quince minutos multiplicado por 4, el cual debe ser igual o menor que uno.

Ecuación 8

$$FHP = \frac{q_{60}}{q_{15}}$$

q_{60} = volumen horario de máxima demanda

q_{15} = volumen máximo dentro de los períodos de 15 minutos del q_{60}

En autopistas de alto flujo vehicular se realizan divisiones en períodos de 5 minutos. Para este caso en la fórmula el denominador se multiplica por 12.

Ecuación 9

$$FHP = \frac{q_{60}}{q_5}$$

q_5 = volumen máximo dentro de los períodos de 5 minutos del q_{60}

1.5. Teoría del Flujo vehicular

1.5.1. Flujo (q)

Es la frecuencia con la cual los vehículos circulan por un punto o sección de calzada. Este valor es medido en un intervalo de tiempo menor a una hora y viene dado en (veh/h o veh/s).

Ecuación 10

$$q = \frac{N}{T}$$

N = números de vehículos

T = intervalo de tiempo

Para transformar la expresión (10) a una tasa horaria equivalente (veh/h) se debe aplicar lo siguiente:

Ecuación 11

$$q = \frac{N * 3600}{T}$$

1.5.2. Densidad o concentración (K)

Es la cantidad de vehículos que circulan por una distancia entre dos puntos específicos de la vía en un momento determinado. Su unidad de medida es vehículos por kilómetro (veh/km) y se calcula con la siguiente expresión:

Ecuación 12

$$k = \frac{N}{d}$$

k = densidad (veh/km)

N = número de vehículos (veh)

d = longitud de la vía (Km o m)

1.5.3. Velocidad (v)

Como infiere Cal y Mayor & Cárdenas (2007), en su libro *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones* en el capítulo 9, referente a; Velocidades se detallan las siguientes definiciones.

Es la relación que existe entre el espacio recorrido en un tiempo determinado por un vehículo, es decir, la relación de movimiento expresada por un vehículo durante un tiempo determinado. Se las expresa en el sistema internacional de unidades en (km/h o m/s).

1.5.3.1. Velocidad de recorrido

Se da por la relación entre el espacio recorrido y el tiempo total en completar el tramo, incluyendo el tiempo de demora. Es la media espacial de las velocidades instantáneas. Para su cálculo se utiliza el método de vehículo flotante.

Ecuación 13

$$Vv = \frac{d}{tv}$$

Vv: velocidad de recorrido (km/h) o (m/s)

d: distancia total cursada (km) o (m)

tv: tiempo total de recorrido incluido demoras (seg)

1.5.3.2. Velocidad de marcha

Es la relación entre la distancia de recorrido total y el tiempo de marcha, no incluyen las demoras. Se determina con la siguiente ecuación.

Ecuación 14

$$Vv = \frac{d}{tr}$$

Vv: velocidad de recorrido (km/h) o (m/s)

d: distancia total cursada (km) o (m)

tr: tiempo total de recorrido no incluye demoras (seg)

1.5.3.3. Velocidad de punto

Velocidad con la cual un vehículo circula por un punto específico de la calzada.

1.5.3.4. Velocidad instantánea

Velocidad de un vehículo el cual se encuentra circulando a lo largo de un tramo de carretera en un instante determinado.

1.5.3.5. Velocidad media temporal (Vt)

Es la media aritmética de todas las velocidades registradas de vehículos en un punto específico del viario en un lapso de tiempo determinado. Se calcula con la siguiente fórmula. Es una distribución temporal de velocidades de punto.

Ecuación 15

$$Vt = \frac{\sum_{i=1}^n Vi}{n}$$

Vt = velocidad media temporal (km/h) o (m/s)

Vi = velocidad instantánea del vehículo (km/h) o (m/s)

n = número total de vehículos observados

1.5.3.6. Velocidad media espacial (Ve)

Se conoce como la media aritmética de las velocidades de los vehículos que circulan por un tramo específico de calzada. Es la relación entre la muestra total de vehículos y la sumatoria de la inversa de las velocidades. Es una distribución espacial de velocidades instantáneas.

Ecuación 16

$$Ve = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{Vi} \right)}$$

Ve = velocidad media espacial (km/h) o (m/s)

Vi = velocidad instantánea del vehículo *i* (km/h) o (m/s)

n = número total de vehículos observados

1.6. Determinación de la hora de máxima demanda

Los datos del flujo vehicular levantados en el día de máxima demanda y, sobre los cuales se van a establecer las medidas correctivas se basan en el método de conversión a “vehículos livianos equivalentes” propuesto por el *Highway Capacity Manual*, (HCM 2000).

El método consiste en transformar mediante factores todo tráfico de conteo manualmente a vehículos livianos equivalentes, para lo cual, se presenta la siguiente tabla 1.1.

Tabla1.1. Factores de vehículos livianos equivalentes.

Tipo de Vehículo	Vía rural	Vía urbana	Redondel	Intersección semafórica
Coches livianos	1	1	1	1
Camiones medios	3	1.75	2.8	1.75
Camiones pesados	3	2.5	2.8	1.75
Autobuses	3	3	2.8	2.25
Motos	1	0.75	0.75	0.33
Bicicletas	0.5	0.33	0.5	0.2

Fuente: Estimación de la contaminación del aire generada por el efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. 10 de agosto de la ciudad de Cuenca – Ecuador, usando la herramienta de micro simulación de tránsito Aimsun 8.1 (Moyano, 2017).

1.7. Ecuación fundamental del flujo vehicular

Esta ecuación de tipo directamente proporcional entre las variables previamente mencionadas flujo (q), velocidad (v) y densidad (k), permite cuantificar la relación que existe mediante la siguiente expresión:

Ecuación 17

$$q = v * k$$

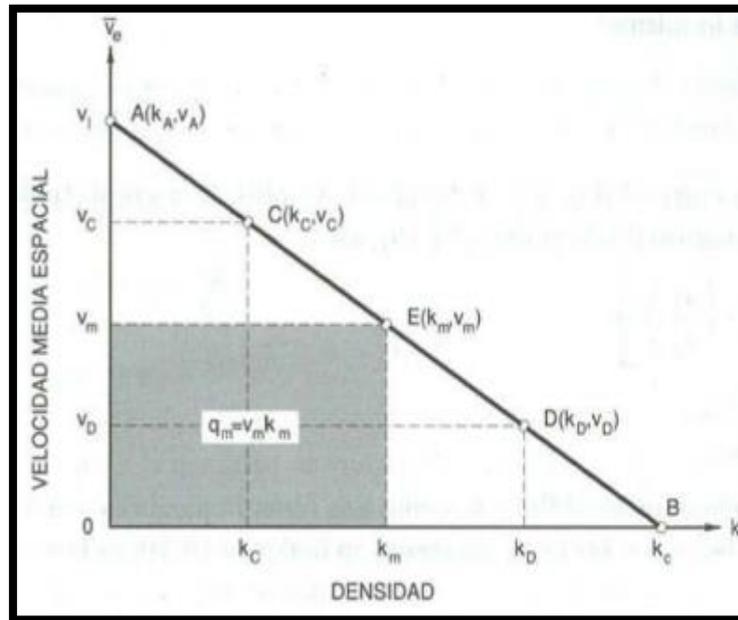
q = flujo (veh/h)

v = velocidad (km/m) o (m/s)

k = densidad (veh/km/carril)

1.7.1. Relación lineal entre velocidad y densidad

La relación que existe entre la densidad y la velocidad es linealmente proporcional tal como se muestra en la figura 1.1.



Nota: El modelo lineal obedece a uno de los primeros estudios realizado por B.D Greenshields en 1935, el cual, toma una serie de datos de velocidad y densidad bajo distintas condiciones de tránsito para ajustarlos mediante el método de mínimos cuadrados y obtener la ecuación (18).

Figura 1.1. Relación lineal entre la densidad y la velocidad.

Fuente: *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones* (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).

Adicionalmente, se debe partir del concepto de que, la densidad vehicular nunca tendrá el valor de cero, ya que, para que exista velocidad debe presentarse. Por lo menos, un vehículo sobre el viario. La velocidad será máxima posible cuando la densidad tienda a cero, permitiendo que los vehículos circulen a velocidad libre. En el otro caso, mayor densidad implica mayor congestionamiento vehicular provocando velocidades cercanas a cero, dando como resultado vehículos estacionados en cola. El flujo máximo (q_{max}) se encuentra ubicado en la mitad de la recta representado por el punto E y cuyo cálculo se obtiene a partir de la multiplicación entre la velocidad media espacial y la densidad vehicular.

Ecuación 18

$$\bar{V}_e = V_l - \left(\frac{V_l}{k_c} \right) * k$$

\bar{V}_e = velocidad media espacial (km/h) o (m/s)

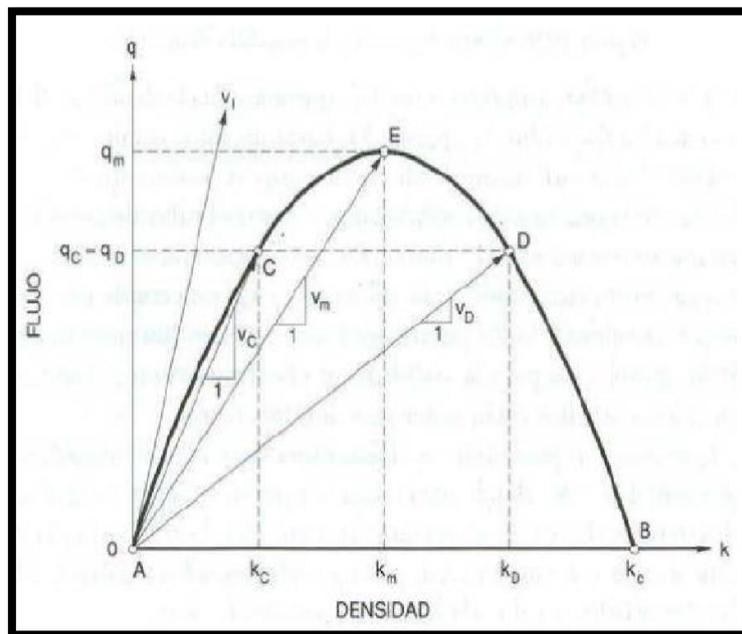
k = densidad (veh/km/carril)

V_1 = velocidad media espacial a flujo libre (km/h) o (m/s)

k_c = densidad de congestionamiento (veh/km/carril)

1.7.2. Relación parabólica entre flujo y densidad

La relación que existe entre el flujo y la densidad vehicular es de tipo cuadrática describiendo una función parabólica como se muestra en la figura 1.2.



Nota: La siguiente función cuadrática se obtiene, a partir de, la sustitución del término independiente velocidad de la ecuación (18) en la ecuación fundamental del flujo vehicular (17) dando como resultado la ecuación (19).

Figura 1.2. Relación cuadrática entre flujo y densidad.

Fuente: *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones* (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).

Cabe recalcar que, el flujo se mantiene en crecimiento hasta un punto en el que la densidad de circulación es máxima creando un punto de inflexión en la función. Para esta función parabólica se tiene dos condiciones de tránsito. Densidad tendiendo a cero y flujo nulo representa condiciones para velocidad de libre circulación (punto A) y densidad máxima con flujo nulo indica velocidad de circulación mínima (punto B).

Ecuación 19

$$q = V_l * k - \left(\frac{V_l}{k_c} \right) * k^2$$

q = flujo (veh/h o veh/s)

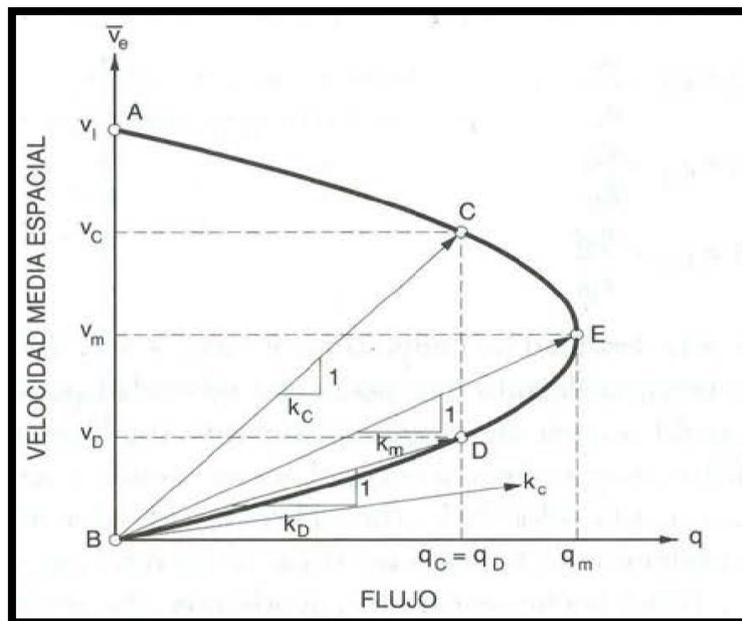
k = densidad (veh/km/carril)

V_l = velocidad media espacial a flujo libre (km/h)

k_c = densidad de congestión (veh/km/carril)

1.7.3. Relación parabólica entre velocidad media espacial y flujo

De igual manera, la relación entre velocidad media espacial y flujo describe una función parabólica horizontal como se aprecia en la figura 1.3.



Nota: Para este caso, la función cuadrática descrita como una parábola horizontal se obtiene despejando la densidad de la ecuación (18), sustituyendo en la ecuación fundamental del flujo vehicular (17) y finalmente de ese resultado despejar la variable velocidad, ecuación (20).

Figura 1.3. Relación cuadrática entre velocidad media espacial y flujo.

Fuente: *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones* (Cal y Mayor & Cárdenas, 2007).

De igual manera, la función presenta dos condiciones de tránsito. Partiendo de que el tiempo y la distancia son constantes en ambas condiciones. En el punto A se encuentra la máxima velocidad de libre circulación, por la cual, transita un mínimo flujo vehicular donde la densidad tiende a cero y el punto B representa la velocidad teórica de cero indicando que los vehículos están parados, dado que, se alcanzó la máxima densidad.

El punto de inflexión de la función determina la velocidad óptima de circulación a la que puede transitar el máximo flujo vehicular.

Ecuación 20

$$\bar{V}_e = \frac{V_I}{2} \pm \frac{\sqrt{V_I^2 - 4 \left(\frac{V_I}{k_c}\right) * q}}{2}$$

\bar{V}_e = velocidad media espacial (km/h)

q = flujo (veh/km o veh/s)

k = densidad (veh/km/carril)

V_I = velocidad media espacial a flujo libre (km/h)

k_c = densidad de congestionamiento (veh/km/carril)

1.8. Capacidad vial

Se conoce como el número máximo de vehículos que pueden llegar a circular por un punto de un carril en un lapso de tiempo determinado tomando en cuenta la infraestructura vial, la jerarquía y las condiciones que la rodean. La mayoría de análisis realizados proponen un período de conteo de 15 minutos.

El estudio para determinar la capacidad vial de un sistema tiene como objetivo satisfacer múltiples análisis. Brindar al usuario un equilibrio entre oferta y demanda, es decir, el servicio ofrecido y los usuarios que harán uso del sistema, por otro lado, se considera también estudios de autosuficiencia (cuantitativos) y calidad (cualitativos) (Moyano, 2017).

1.9. Grado de saturación

Es un método con el que se evalúa el comportamiento y funcionamiento de las vías relacionando al volumen del viario con la capacidad. Se mide mediante la asignación de tráfico y la capacidad de absorción vehicular que posee con el fin de conocer el nivel de aprovechamiento que tiene la vía. Con este análisis se determina si la vía puede albergar al tráfico que recibirá diariamente o si se encuentra sobredimensionada con espacios vehiculares excesivos (Moyano, 2017).

El grado de saturación se calcula con la siguiente expresión:

Ecuación 21

$$X_i = \frac{v_i}{c_i}$$

X_i = grado de saturación para el grupo de carriles i

v_i = tasa de flujo de demanda actual o proyectada del grupo de carriles i

c_i = capacidad del flujo de carriles i

1.10. Congestión vehicular

La saturación de un sistema se provoca porque en los períodos de máxima demanda el congestionamiento aumenta y la velocidad disminuye dando como resultado estructuras viales ineficientes. Cuando la demanda supera a la capacidad del eje vial la variabilidad de flujo ocasiona dos tipos de problemas muy comunes, largas colas y altas demoras (Moyano, 2017).

1.11. Demora

Se conoce como el tiempo transcurrido por el vehículo desde que se detiene al final de la cola hasta que entra a la intersección, es decir, el tiempo que le toma en desplazarse desde el final hasta el comienzo. La demora total promedio depende de la capacidad de la intersección y del grado de saturación, ya que, si la saturación supera el valor de 0.9 el valor de la demora promedio dependerá de la duración del período de análisis (Moyano, 2017).

1.11.1. Demora Fija o uniforme (d1)

Es causada por los dispositivos que regulan el tráfico en una intersección. No depende de los volúmenes vehiculares ni tampoco cualquier obstáculo presente.

1.11.2. Demora operacional o incremental (d2)

Es causada por movimientos vehiculares que obstaculizan al flujo normal del tránsito.

1.11.3. Demora de tiempo parado o por cola inicial (d3)

Hace referencia al tiempo que transcurre durante el cual los vehículos están estáticos.

1.11.4. Demora en los accesos

Se calcula como la media ponderada entre todas las demoras totales de los sentidos en el eje vial de la intersección.

1.12. Nivel de servicio

Siguiendo la metodología del HCM 2000 los niveles de servicio de una intersección se clasifican mediante letras, siendo “A” el puntaje más alto y “F” el puntaje más bajo. El nivel de servicio es un parámetro que clasifica a las intersecciones tomando en cuenta una serie de mediciones operacionales que son usadas para calcular el nivel de comodidad y eficiencia de la intersección. Las variables consideradas en la valoración de intersección semaforizadas y no semaforizadas son: velocidad de circulación, tiempo de recorrido, libertad de maniobras, seguridad vial, entre otras (HCM, 2000).

- **Nivel de servicio A**

Describe la capacidad de los vehículos de ir a la velocidad deseada y la facilidad de realizar maniobras dentro y durante las zonas de interacción vehicular. Este nivel se otorga a aquellos elementos de análisis ya sean intersecciones semaforizadas, redondeles, carreteras, entre otras que tengan la máxima comodidad y eficiencia para la circulación vehicular.

- **Nivel de servicio B**

La velocidad de libre circulación permanece constante, es decir, el conductor se desplaza por el viario a velocidad deseada, sin embargo, la libertad de realizar maniobras se ve afectada por la presencia moderada de tráfico. Este nivel todavía es considerado dentro del rango de flujo libre.

- **Nivel de servicio C**

La capacidad de realizar maniobras se ve afectada presentando ciertas restricciones y la velocidad de libre circulación disminuye debido a la presencia de otros vehículos. Se encuentra en el rango de flujo estable.

- **Nivel de servicio D**

Tanto la velocidad de libre circulación como la capacidad de maniobrabilidad se encuentran altamente afectadas. La circulación vehicular es densa pero invariable y la comodidad manifestada por el chofer y el peatón es baja.

- **Nivel de servicio E**

La velocidad libre de circulación se ve severamente afectada y es uniforme. La capacidad de maniobrabilidad es casi nula y existe una preferencia entre el vehículo y el peatón. El flujo vehicular está al borde del colapso al igual que su funcionamiento.

- **Nivel de servicio F**

La capacidad del elemento a analizar se encuentra totalmente colapsado, es decir, la cantidad de vehículos que circulan es muy superior a la capacidad de diseño. Es asignado cuando el flujo vehicular es forzado.

1.12.1. Módulo de nivel de servicio

Se calcula como el promedio de las demoras de tiempo parado por cada vehículo en las intersecciones no semafóricas, semafóricas y redondeles.

1.12.2. Niveles de servicio para intersecciones no semaforizadas

Para establecer el nivel de servicio en una intersección no semaforizada de debe tomar en cuenta únicamente las demoras por tiempo parado de un vehículo. Los niveles de servicio en intersecciones no semaforizada se calculan bajo los siguientes criterios de demoras:

Tabla 1.2. *Nivel de servicio para intersecciones no semaforizadas.*

Nivel de Servicio	Demora (sg)
A	Menores a 10
B	Mayores a 10 y menores a 15
C	Mayores a 15 y menores a 25
D	Mayores a 25 y menores 35
E	Mayores a 35 y menores a 50

Fuente: (HCM, 2000).

1.12.3. Niveles de servicio para redondeles

Para establecer el nivel de servicio en redondeles se debe tomar en cuenta dos parámetros; las demoras por tiempo parado de un vehículo y la relación que existe entre volumen y capacidad. Si el resultado de dicha operación es igual a 1 se considera directamente como nivel F. Los niveles de servicio en redondeles se calculan bajo los siguientes criterios de demoras:

Tabla 1.3. *Nivel de servicio para redondeles.*

Nivel de Servicio	Demora (sg)
A	Menores a 10
B	Mayores a 10 y menores a 15
C	Mayores a 15 y menores a 25
D	Mayores a 25 y menores 35
E	Mayores a 35 y menores a 50
F	Mayores a 50

Fuente: (HCM, 2000).

1.12.4. Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas

Para establecer el nivel de servicio en una intersección semaforizada de debe tomar en cuenta las demoras por tiempo parado de un vehículo, ya que, no solo influye el tránsito de la intersección, sino que también los sistemas de control vehicular (semáforos). Los niveles de servicio en intersecciones semaforizada se calculan los siguientes criterios:

Tabla 1.4. Nivel de servicio para intersecciones semaforizadas.

Nivel de Servicio	Demora (sg)
A	Menores a 10
B	Mayores a 10 y menores a 20
C	Mayores a 20 y menores a 35
D	Mayores a 35 y menores 55
E	Mayores a 55 y menores a 80
F	Mayores a 80

Fuente: (HCM, 2000).

1.13. Tipos de análisis y nivel de detalle

El tráfico posee tres tipos de análisis cada uno de ellos describe un nivel de detalle distinto. Según las condiciones y características del tráfico su clasificación es de tipo operacional, ya que, se analizan comportamientos de flujo y parámetros geométricos de las vías. Se muestra la siguiente clasificación:

1.13.1. Análisis macroscópicos

Muestra el comportamiento de los vehículos en términos de sus variables de flujo, velocidad, y densidad de carácter global. Supone un movimiento homogéneo y condiciones de flujo estacionario describiendo las características generales de corriente vehicular. Por su clasificación, los modelos macroscópicos hacen uso de ecuaciones diferenciales y pueden ser: lineales, no lineales, logarítmicos, exponenciales, entre otros y son usados para modelar áreas de gran tamaño con bajo nivel de detalle (Apaza, 2017) y (Machado & Mantilla, 2015).

1.13.2. Análisis microscópico

Realiza un análisis detallado del comportamiento individual de cada vehículo en un espacio temporal y como interactúa con los demás vehículos en la intersección. Estos modelos consideran: espaciamientos, velocidades, ubicación y aceleración de los vehículos. Existen dos tipos de modelos microscópicos; el primero se deriva directamente de las condiciones de los modelos macroscópicos obedeciendo sus leyes y el segundo analiza comportamientos específicos subdividido en: el comportamiento del conductor al interactuar con otros vehículos (Car - Following), los pasos que un conductor realiza para un cambio de carril analizando necesidad y conveniencia (Lane Change), la viabilidad que representa un cambio de carril analizando posiciones y velocidades del resto de vehículos (Gap Acceptance), entre otros (Chávez & Cubides, 2018) y (Bravo, 2007).

1.13.3. Análisis mesoscópico

Este análisis muestra un nivel de detalle medio, ya que, no detalla cada vehículo ni los distingue con respecto a un entorno, sino que, los analiza como un grupo. Usa funciones de distribución probabilística y toma en cuenta la dinámica de procesos como: comportamiento entre vehículos, cambios de carril, carácter del conductor, aceleración, etc. Entre los modelos mesoscópicos más comunes están: distribución de progreso, los de tipo cluster, gas cinético entre otros (Bravo, 2007).

1.14. Aimsun 8.1

Es una herramienta informática de vanguardia utilizada para la micro simulación de tráfico vehicular. Es la más veloz en su clase permite modelar desde una intersección en particular hasta una zona urbana completa. Se destaca por su eficiencia y por la capacidad de recrear análisis macroscópicos, microscópicos, mesoscópicos e híbridos. El nivel de detalle y la presión que ofrece esta herramienta es gracias a la cantidad de investigaciones realizadas en base a artículos científicos relacionados y el minucioso desarrollo de la programación. Debido a su simpleza y facilidad de uso es utilizado por universidades y departamentos de investigación a lo largo de todo el mundo. La siguiente figura 1.4. muestra los diferentes niveles de análisis que Aimsun 8.1 es capaz de modelar.

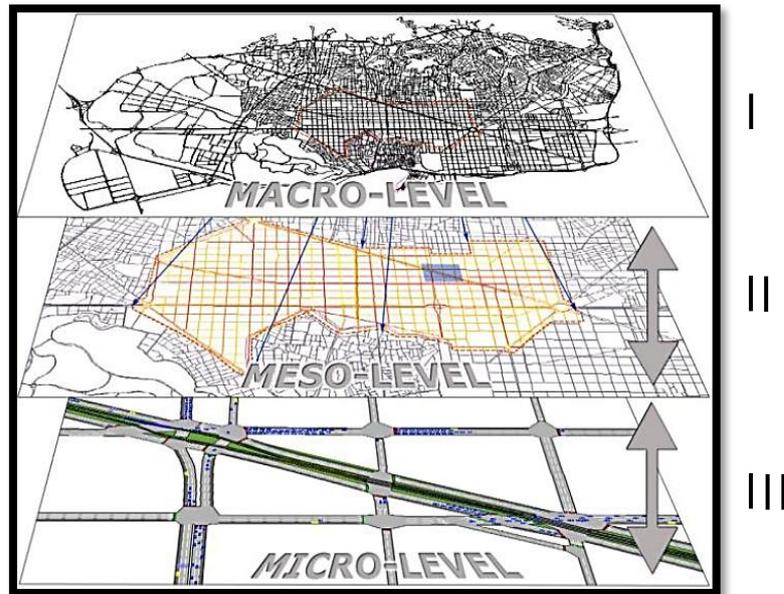


Figura 1.4. Niveles de Simulación de Aimsun (I Macroscópico, II Mesoscópico, III Microscópico).
 Fuente: *Estimación de la contaminación del aire generada por el efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. 10 de agosto de la ciudad de Cuenca – Ecuador, usando la herramienta de micro simulación de tránsito Aimsun 8.1* (Moyano, 2017).

- Entre las principales aplicaciones del software antes mencionado tenemos:
- Mejoramiento y optimización de señales semafóricas.
- Análisis de impacto de estructuras viales como: redondeles, pasos deprimidos, carreteras, autopistas, etc.
- Análisis de impacto ambiental producto del tráfico vehicular.
- Estudio de tarifas para peajes de carreteras
- Análisis de seguridad vial
- Sistemas inteligentes de transporte
- Análisis de: carreteras, autopistas, intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, redondeles entre otros, en base al manual de capacidad de carreteras (HCM)
- Estudios en 2D y en 3D
- Análisis y optimización de velocidades e implementación de estrategias de demanda vehicular

Aimsun 8.1 en su programación base, cuenta con el modelo de estimación de contaminantes emitidos a la atmósfera propuesto por Int Panis, Broekx, & Liu (2006), en el artículo *Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed*

limits, por otro lado, se aplicó un análisis de tipo microscópico, ya que, a lo largo del viario se analiza el funcionamiento de las intersecciones no semaforizada, semaforizadas y redondeles tomando en cuenta los parámetros operacionales y geométricos descritos en la teoría del HCM 2000.

1.15. Contaminantes atmosféricos

Cuenca en virtud como una ciudad limpia y con calidad del aire adecuado para la salud pública cuenta con monitoreos diarios iniciados en el año 2008 y, gracias al Municipio de Cuenca emite un informe de la calidad del aire anualmente hasta la presente fecha. A partir del año 2012 se incorpora a los aforos diarios una estación de medición automática instalada en el centro histórico y en el año 2016 un sensor automático que mide la cantidad de material particulado fino siendo este el más perjudicial para la salud y el más abundante. Se estima que aproximadamente 500 personas al año fallecen a causa de enfermedades respiratorias originadas por la contaminación ambiental producto del parque automotor. Contaminantes como: el dióxido de carbono (CO₂), óxidos nitrosos (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (VOC) y material particulado (MP) fueron escogidos para la modelación del presente trabajo y también como los de mayor impacto negativo a la salud. Los valores obtenidos en los aforos por los equipos y sensores instalados, son validados por documentos como: Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECCA), guías de la Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) (EMOV - EP, 2018).

La ciudad de Cuenca debido al parque automotor, posee una de las mayores cargas contaminantes liberadas a la atmósfera. Los combustibles fósiles derivados de petróleo junto a distintos hidrocarburos forman lo que hoy se conoce como gasolina y diésel, principal y única fuente de energía mecánica para los vehículos de la ciudad y de todo el país. La combustión de los elementos antes mencionados genera dióxido de carbono (CO₂), el cual, se combina con dos moléculas de nitrógeno (N₂) producto de una estabilidad térmica del motor formando dióxido de nitrógeno (NO_x).

El material particulado grueso (MP₁₀) es generado por: la combustión, el desgaste de los neumáticos, el recubrimiento para frenos y por la erosión de la superficie de rodadura. Por otra parte, el material particulado fino (MP_{2.5}) de igual manera producto únicamente

de la combustión de los vehículos a diésel, liberan entre diez y cien veces más partículas que un vehículo a gasolina (Chávez & Cubides, 2018) y (EMOV - EP, 2018).

Finalmente, las emisiones VOC corresponden a procesos de combustión vehicular y la evaporación por el movimiento y almacenamiento de combustibles fósiles. Cabe recalcar, que un importante porcentaje de emisiones VOC corresponde a fuentes naturales. La descomposición de materia orgánica y la ausencia de oxígeno producen CH₄, conocido como metano, un peligroso gas de efecto invernadero de corta duración y de considerable importancia en la creación de ozono troposférico (EMOV - EP, 2018).

1.15.1. Compuestos orgánicos volátiles (VOC)

Corresponde a cualquier compuesto de carbono excluyendo al monóxido de carbono y al dióxido de carbono, que desarrolle la producción de ozono en la troposfera. Tanto el isopreno como los monoterpenos son compuestos de origen natural altamente reactivos y de suma importancia en la generación de ozono troposférico. Tienen propiedades volátiles, tóxicas, inflamables y se evaporan a presión y temperatura ambiental (Chávez & Cubides, 2018) y (EMOV - EP, 2018).

Exposición de cortos períodos de tiempo a este tipo de compuestos provocan irritación en los ojos, nariz y garganta. En casos severos provocan dolores de cabeza y náusea y en exposiciones críticas causan afección de hígado, riñones y del sistema nervioso central. Son clasificados como peligrosos según su capacidad de daño a la salud y tóxicos como principal fuente cancerígena (EMOV - EP, 2018).

1.15.2. Material particulado (MP)

Está conformado por la mezcla de partículas sólidas y líquidas. Clasificadas como partículas primarias o grandes y partículas secundarias o pequeñas.

Las partículas secundarias son contaminantes gaseosos formadas gracias a la condensación o licuefacción pueden alterar la concentración de tamaño y forma modificando las condiciones normales de la atmósfera. Pueden trasladarse por largas distancias, ya que, se encuentran en el rango de sub micrón e ingresan fácilmente al organismo por las vías respiratorias afectando pulmones provocando asma y déficit respiratorio y absorbidas el torrente sanguíneo provocando un alto riesgo de desarrollar cáncer.

Por otra parte, las partículas grandes derivadas de los hidrocarburos (NO_x y SO_2), como las emisiones de humo y hollín son oscuras y fácilmente detectables por el ojo humano. Permanecen poco tiempo en la atmósfera y precipitan cerca de la fuente vehicular de emisión (EMOV - EP, 2018).

1.15.3. Material particulado grueso (MP_{10})

Aquellas partículas que tienen diámetro menor a $10 \mu\text{m}$ (micras) pero mayor a $2.5 \mu\text{m}$ (micras). Son principalmente generadas por el flujo vehicular en vías sin pavimentar. Factores como: la erosión eólica, la quema residuos agrícolas y desperdicios de la construcción son los encargados de producir dichas partículas depositadas en los viarios (EMOV - EP, 2018).

1.15.4. Material particulado fino ($\text{MP}_{2.5}$)

Consideradas como partículas finas aquellas cuyo diámetro es menor que $2.5 \mu\text{m}$ (micras). Su principal fuente de emisión son los motores de los vehículos impulsados a diésel. Debido a su tamaño penetran directamente a los alvéolos pulmonares encargados de controlar el intercambio entre oxígeno y dióxido de carbono entre la sangre y el pulmón. Constantes exposiciones provocan reducción de la visibilidad si el tamaño de partícula se encuentra entre $0.4 \mu\text{m}$ y $0.7 \mu\text{m}$ que correspondo al rango de longitud de onda de la luz visible (EMOV - EP, 2018).

1.15.5. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

La nomenclatura de NO_x es usada para expresar la suma de la partícula de NO y NO_2 . Son los principales compuestos en participar en la formación de ozono troposférico cuando reaccionan químicamente con los compuestos orgánicos volátiles y la radiación solar. Su fuente de emisión es la combustión proveniente de motores a gasolina y cuando se junta con la humedad atmosférica forma ácido nítrico. Las partículas de ácido nítrico se elevan gracias a la evaporación, se condensadas a cierta altura y precipitan dando paso al fenómeno conocido como lluvia acida.

Las estructuras que se exponen a largos y constantes períodos de lluvia acida presentan deterioro de monumentos tanto de piedra como mármol y corrosión de elementos metálicos en las infraestructuras (EMOV - EP, 2018).

1.15.6. Dióxido de carbono (CO₂)

Constituido por dos átomos de oxígenos y uno de carbono es un gas cuya fórmula es CO₂ muy similar al monóxido de carbono, ya que, es inodoro e incoloro. El dióxido de carbono, al igual, que el resto de contaminantes proviene de la combustión que es una reacción química de hidrocarburos mezclados con oxígeno capaz de incorporarse muy fácilmente al medio ambiente. Existe dos tipos de fuentes emisoras de CO₂: fuentes naturales y fuentes de actividad humana. Cuando se encuentra en estado natural está en estado gaseoso, con presión y temperatura adecuada pasa a estado líquido y con temperatura bajo cero se lo conoce como hielo seco o nieve carbónica.

Entre las principales fuentes naturales de mayor aporte de dióxido de carbono están: fuentes oceánicas, respiración de los seres vivos, materia orgánica en descomposición, incendios forestales y erupciones volcánicas. Por otro lado, la fuente de mayor efecto perjudicial para el medio ambiente es la quema de combustibles fósiles (carbón, gas natural, petróleo). Las consecuencias de inhalar este gas varían según el tiempo de exposición, cortos períodos de tiempo provocarán dolores de cabeza y náusea, mientras que, una prolongada exposición causará la muerte.

Al ser un gas de efecto invernadero actúa como protector, es decir, permite el ingreso de radiación solar a la atmósfera, pero impide su evacuación reteniéndola.

La acumulación de calor en la atmósfera producto del dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO), provoca aumento de temperatura ocasionando severos cambios climáticos. El deshielo de los polos, el cambio de las corrientes marinas, el aumento del nivel del mar, el cambio en la conducta de los animales, entre otros, son los principales factores que alteran el ecosistema terrestre y la vida (Chávez & Cubides, 2018) y (EMOV - EP, 2018).

1.16. Estadística

Se conoce a la estadística como la ciencia que hace uso de herramientas para el cálculo y proyección de datos basados reseñas históricas y recolección de información. Para la obtención del modelo matemático del presente documento, se utilizó métodos estadísticos con el objetivo de agudizar la respuesta y arrojar datos apegados a la realidad.

Con el uso de métodos como la regresión lineal y regresión múltiple se establece como variables dependientes los contaminantes estudiados y como variables independientes el flujo, la velocidad y la demora para cada contaminante (Chávez & Cubides, 2018).

1.16.1. Estadística de validación GEH

Establece una relación directa entre datos simulados y datos medidos en campo aportando validez y veracidad al resultado calculado. Nombrada en honor a su creador Geoffrey E. Havers en 1970 utilizada principalmente en la ingeniería de tránsito, es conocida porque toma en cuenta el error relativo y el resultado no depende de valores nulos. Para cada arco que se modela se tiene un indicador GEH y los valores arrojados se encuentran de un rango de aceptación detallados en la siguiente tabla 1.5 (Chávez & Cubides, 2018) y (Cifuentes & Nieto, 2018).

Tabla 1.5. *Criterios de validación GEH.*

GEH	
0 a 5	adecuada correspondencia entre vehículos observados y simulados,
5 a 10	ajuste moderado
> 10	alta probabilidad de tener problemas en el punto de toma de información

Nota: Para el cálculo de los valores GEH se aplica la siguiente ecuación (22).

Fuente: *Desarrollo de un modelo microscópico de tránsito en los accesos viales del aeropuerto internacional El Dorado de Bogotá* (Cifuentes & Nieto, 2018).

Ecuación 22

$$GEH = \sqrt{\frac{2(w - v)^2}{w + v}}$$

GEH=estadístico de validación

W= valores reales a ser validados

V=valores simulados a ser validados

1.16.2. Media Aritmética

La media aritmética, también conocida como promedio, se define como el valor que se obtiene a partir de la sumatoria de datos observados entre la cantidad de datos considerados para el análisis. Es muy utilizada para comparar análisis estadísticos similares y es la medida de tendencia central donde la suma de las desviaciones con respecto a ella es cero.

En términos estadísticos la media aritmética se puede obtener para una población o de una muestra siendo su nomenclatura su única diferencia (Salazar & Del Castillo, 2018).

Ecuación 23

$$\bar{X} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_n}{N}$$

Ecuación 24

$$\bar{X} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_n}{\mu}$$

\bar{X} = media aritmética

V_n = valores considerados

N = total de valores considerados para población

μ = total de valores considerados para una muestra

1.16.3. Población

Abarca a todos los elementos cuyas características buscamos estudiar, es decir, es el conjunto completo que se desea describir para presentar conclusiones.

1.16.4. Muestra

Corresponde al conjunto de elementos seleccionados de una población. Para establecer conclusiones representativas de una población la muestra debe ser adecuada, homogénea y correctamente extraída.

1.16.5. Censo

Se define como el estudio que se realiza a cada uno de los elementos que forman parte de una población. Es poco frecuente debido a la dificultad que presenta el levantamiento de información, sobre todo, si la población es muy extensa.

1.16.6. Desviación estándar

Como también existe medidas de tendencia central, la desviación estándar es una medida de dispersión e indica que tan dispersos se encuentran el conjunto de datos con relación a la media aritmética. La interpretación numérica de este valor indica en cuantas unidades lineales en promedio se encuentran los datos con respecto a la media. Se conoce con el símbolo σ (sigma) y su cálculo puede ser para población y para muestra.

1.16.7. Varianza

Se calcula como la desviación estándar al cuadrado σ^2 y mide que tan dispersos están los datos con respecto a la media en unidades cuadráticas. Al igual que la desviación estándar es una medida muy utilizada por métodos estadísticos para la obtención de conclusiones con respecto a una muestra o población.

1.17. Principios fundamentales de la regresión lineal

1.17.1. Sesgo y linealidad

Son herramientas de la estadística utilizadas para cuantificar la precisión de un método de medición.

1.17.2. Linealidad

Indica la exactitud de los aforos en todo el rango analizado y verifica si el método utilizado para realizar la medición tiene la misma precisión para todos los valores de referencia.

1.17.3. Sesgo

Se presenta cuando la distribución carece de simetría presentando valores en los extremos fuera del rango analizado. Su valor indica la precisión del método de medición comparado con un valor base de referencia.

1.17.4. Homocedasticidad

Se da cuando la varianza de dos o más grupos de mediciones realizadas es uniforme y homogénea con respecto al modelo base analizado y a las variables independientes tal y como se presenta en la figura 1.5.

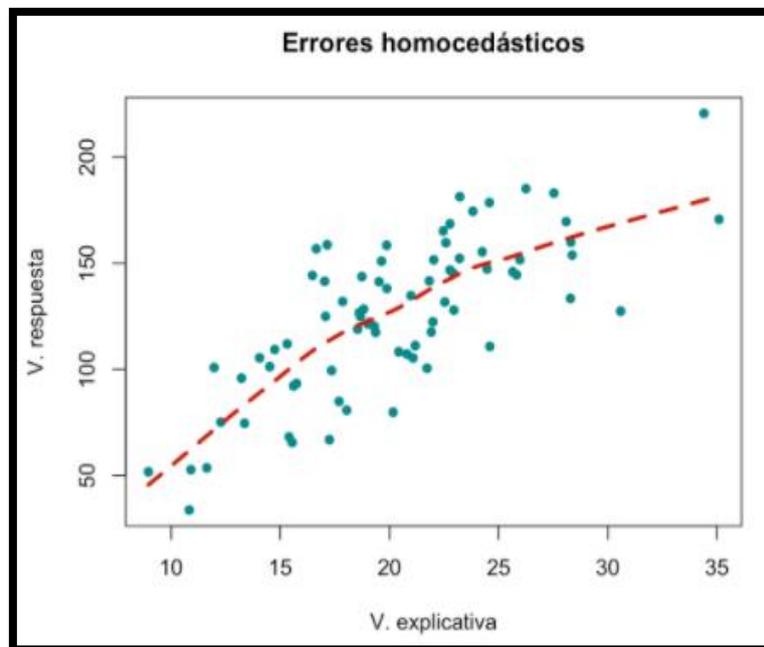


Figura 1.5. *Ajuste por regresión con varianza uniforme con respecto a la media.*

Fuente: (Santibáñez, 2018).

1.17.5. Heterocedasticidad

Indica que el modelo de regresión puede no ser válido para el número de mediciones porque la varianza de los datos levantados se encuentra muy disperso con respecto a la media aritmética.

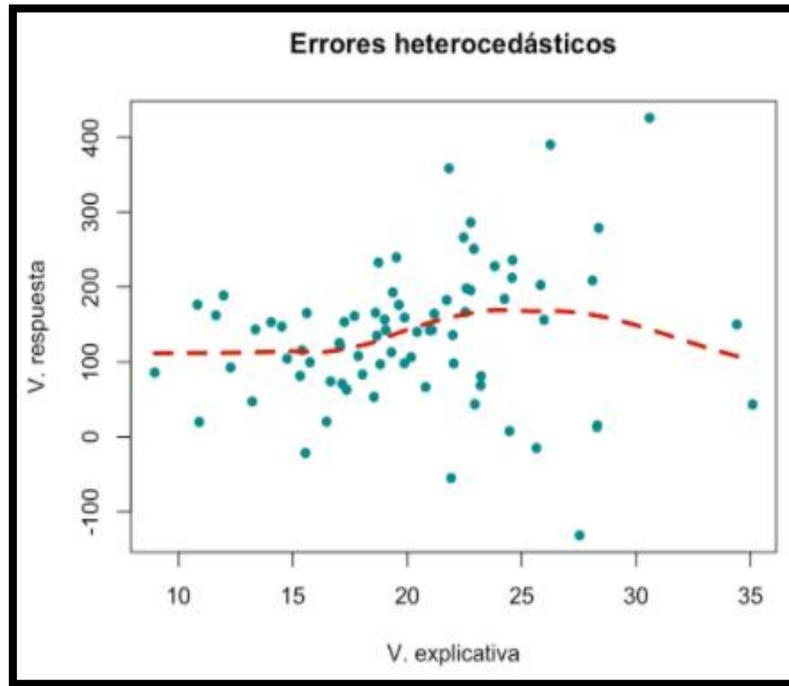


Figura 1.6. *Ajuste por regresión con varianza desigual en cada nivel de medición.*
Fuente: (Santibáñez, 2018).

1.17.6. Normalidad de los residuos

Es una condición que se cumple únicamente si los pares de datos y los residuos se ajustan a la curva de distribución normal de Gauss bajo un nivel de confianza del 95%. El resultado de la distribución de estos errores con respecto a la ecuación de la regresión rechaza o acepta la hipótesis planteada.

1.17.7. Simetría

La distribución simétrica parte del concepto de que todos los datos están ubicados de la misma manera con respecto a la mediana. Debido a la complejidad del estudio, en ciertos casos es más adecuado referirse a una distribución simétrica que a una normal, ya que, la distribución normal puede ser robusta y puede no ajustarse al grado de confianza planteado en la hipótesis. Procedimientos estadísticos como los métodos no paramétricos refuerzan que una distribución simétrica es también útil como sustento teórico y por ende conveniente para análisis de datos complejos.

1.17.8. Ortogonalidad

Es una herramienta que permite interpretar de manera rápida y sencilla los estudios experimentales que se están llevando a cabo. Un correcto diseño ortogonal estima de manera independiente la interacción entre variables. Por otro lado, si el diseño no es ortogonal, ya sea, por mal planteo o por pérdida de datos su interpretación no será sencilla.

1.17.9. Aleatoriedad

Para que una muestra de una población sea considerada como aleatoria, debe ocurrir que todas las muestras poblacionales de un tamaño determinado tengan las mismas posibilidades de ser seleccionadas. Las muestras aleatorias disminuyen el sesgo de selección y son muy utilizadas para generalizar las características de una población. Se entiende a sesgo por selección como la posibilidad de ciertos sujetos en ser elegidos con mayor probabilidad.

1.17.10. Regresión lineal simple

Se conoce a la regresión lineal simple como la relación inherente que existe entre dos variables de naturaleza similar.

Constantemente se busca dar soluciones a problemas de carácter probabilístico, es decir, que para una consecuencia en particular existen múltiples causas que la provocaron. En el presente trabajo de investigación se relacionan variables de tránsito con variables de contaminación atmosférica siendo las variables independientes el flujo la velocidad y la demora y las dependientes los contaminantes antes mencionados (Walpole et al., 2012).

Cuando en la relación entre las variables no existe probabilidad, se considera como correlación determinista, es decir, para un valor “x” hay un valor en “y”, sin embargo, en la ingeniería de tránsito las relaciones entre variables no son deterministas, ya que, para un flujo de vehículos existen múltiples tipos de emisiones dependiendo de su clasificación. El objetivo de la regresión lineal es encontrar y cuantificar de la mejor manera el grado de correlación de las variables empleando procedimientos que permitan predecir valores frente a la respuesta de variable independiente, como se muestra en la figura 1.7. (Chávez & Cubides, 2018) y (Walpole et al., 2012).

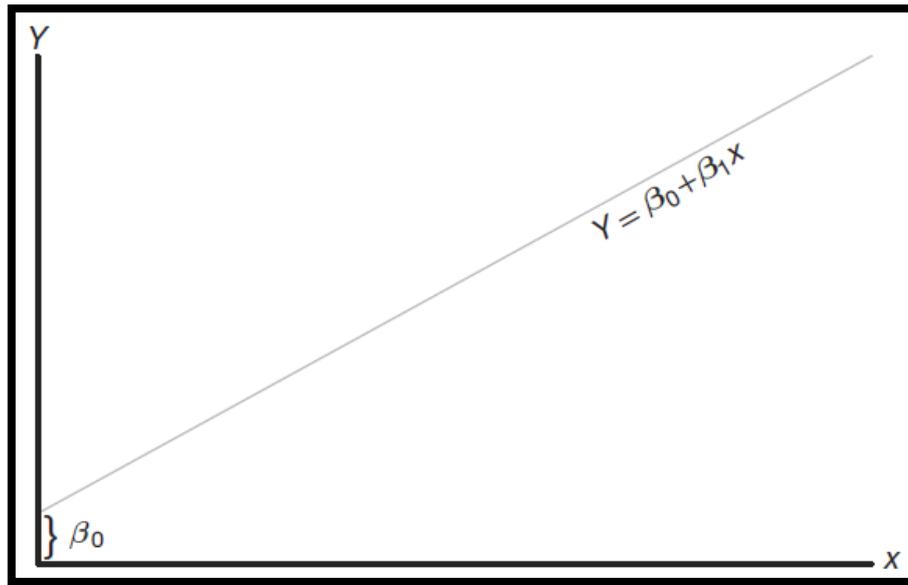


Figura 1.7. Regresión lineal.

Fuente: *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (Walpole et al., 2012).

Ecuación 25

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * x$$

Y = variable dependiente

β_0 = coeficiente de intersección

β_1 = coeficiente de variable independiente x

x = variable independiente

1.17.11. Regresión lineal múltiple

La regresión lineal múltiple a diferencia de la regresión lineal simple usa un conjunto de variables independientes, las cuales, son representadas dentro de un plano en el espacio tridimensional. Las variables para considerarlas como explicativas o independientes debido al grado de complejidad del modelo deben cumplir con los siguientes criterios: tener representación numérica, no deben repetirse, representar una justificación teórica y ser proporcional a la variable dependiente (Rojo, 2007).

Para poder analizar y explicar de manera más acertada el comportamiento de los vehículos en cada intersección de la Av. Paseo de los Cañaris es necesario establecer tres variables independientes: flujo, velocidad y demora y relacionarlas con las variables dependientes para este caso establecidas como los contaminantes (CO₂, NO_x, MP y VOC).

Ecuación 26

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3$$

Y = variable dependiente

β_0 = coeficiente de intersección

β_1 = coeficiente de variable independiente x1

x 1= primera variable independiente

β_2 = coeficiente de variable independiente x2

x 2= segunda variable independiente

β_3 = coeficiente de variable independiente x3

x 3= tercera variable independiente

1.18. Minitab 18

Es una herramienta informática utilizada para funciones estadísticas básicas y avanzadas. Fue desarrollado en el año 1972 por instructores programadores de la facultad de estadística de la universidad estatal de Pensilvania (Estados Unidos). Proporciona gran cantidad de aplicaciones estadísticas siendo esta, la herramienta ideal para el cálculo y análisis de dato del presente trabajo de investigación. Es la última versión disponible en el mercado y proporciona las siguientes funciones al usuario: análisis de datos exploratorios, cálculos básicos, capacidad de estadística compresible, regresión lineal y regresión no lineal, tabulaciones, series temporales, simulaciones, pruebas de normalidad, entre otras.

CAPÍTULO 2

CONDICIONES OPERACIONES Y ESTIMACIONE DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DEL AIRE EN EL CASO DE ESTUDIO NO. 3 AV PASEO DE LOS CAÑARIS DE LA CIUDAD DE CUENCA

En el capítulo a continuación se delimita y especifica todas las condiciones operaciones y características de la Av. Paseo de los Cañaris. Se valida el análisis de la calidad del aire y censos realizados con documentos guía tales como 'Informe de la calidad del aire', 'Cuenca ciudad sostenible/ plan de acción' y 'Instituto Nacional de Estadísticas y censos'. En las características del viario consta el proceso de levantamiento de información primario y secundario, la influencia del tráfico y el detalle de las intersecciones con su respectivo flujo clasificado por acceso. Con la calibración de los datos y la validación del modelo de micro simulación se procede a la estimación de los contaminantes emitidos por los vehículos a la atmósfera. Finalmente, los resultados arrojados en el paso previo se someterán a procesos estadísticos para verificar y cuantificar el nivel de correlación entre variables.

2. La calidad del aire en Cuenca relacionada a la movilidad

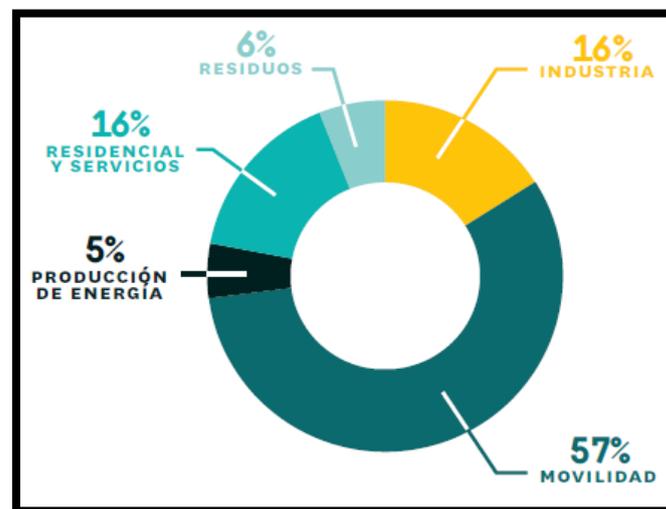
La ciudad de Cuenca, ubicada al sur del país, oficialmente conocida también como Santa Ana de los cuatro ríos de Cuenca, es la tercera ciudad más poblada del Ecuador. De acuerdo, al último censo poblacional realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2017), la ciudad cuenta con 524.563 habitantes. Con una tasa de crecimiento del 2.1% anual, se espera que para el 2020 tenga 636.996 habitantes. La mayoría de la población es urbana y se encuentra distribuida en 15 parroquias correspondiendo al 66%, mientras que, el 34% restante es rural y está distribuida en 21 parroquias según los datos del INEC levantados en el año 2010.

Como se hace mención en el plan de acción publicado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en su informe, 'Cuenca ciudad sostenible' emitido en el 2014, la movilidad en la ciudad presenta varios inconvenientes debido a que actualmente el número de viajes públicos (sin incluir taxis) realizados por la ciudadanía corresponde aproximadamente a un 38%, mientras que, en 1950 este valor era de un 58%.

Esto se debe principalmente al incremento de usuarios interesados en adquirir vehículos particulares por las facilidades disponibles, causando desinterés por el sistema de transporte público.

Cuenca forma parte de la ‘Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles’ (ICES) y tiene el privilegio de contar con 19 estaciones pasivas de permanente medición y monitoreo de la calidad del aire. Según los aforos realizados por las estaciones de monitoreo, Cuenca produce un equivalente estimado a 2.4 toneladas de CO₂ per cápita cuya fuente principal es el transporte motorizado. La metodología ICES califica a Cuenca como una ciudad sostenible, ya que, presenta un índice de producción inferior a 5 toneladas de CO₂ anuales. Con la aplicación de las acciones propuestas en la ruta de mitigación se espera que para el año 2030 el porcentaje de gases de efecto invernadero (GEI) se reduzca en un 51% con respecto al valor actual y para el 2050 un 40%, es decir, que para dicho año se estima un valor cercano a 0.63 toneladas de CO₂ per cápita anuales según (BID, 2014).

A continuación, en la figura 2.1. se muestran todas las fuentes emisoras de CO₂ con sus respectivos porcentajes representativos en el año 2014.



Nota: La metodología ICE complemento al estudio realizado por el municipio de Cuenca en el año 2009 y determino que el 57% de la generación de CO₂ es de origen vehicular.

Figura 2.1. Fuentes emisoras de CO₂ de la ciudad de Cuenca en el año 2014.
Fuente: (BID, 2014).

Hasta la presente fecha, el cantón Cuenca dispone únicamente de tres inventarios de emisiones. El primer informe fue publicado en el año 2007 por disposición de la fundación Natura y Cuencaire. El segundo y el tercero en el año 2009 y 2014 respectivamente, ambos emitidos bajo la iniciativa y dirección de la EMOV – EP. Los inventarios basan su estudio en la variabilidad de los principales factores mencionados a continuación: fuentes emisoras, actividad vehicular, incremento poblacional, actividades industriales y calidad de los combustibles. Las fuentes emisoras de contaminantes analizadas son: tráfico vehicular, vegetación, industrias, térmica, disolventes, gasolineras GLP doméstico, tráfico aéreo, rellenos sanitarios, ladrilleras, erosión eólica y canteras. En la siguiente tabla se detalla el valor en toneladas anuales de cada fuente de contaminación y su porcentaje representativo.

Tabla 2.1. Resumen cualitativo y cuantitativo de las emisiones atmosféricas contaminantes estudiadas del cantón Cuenca en el año 2014.

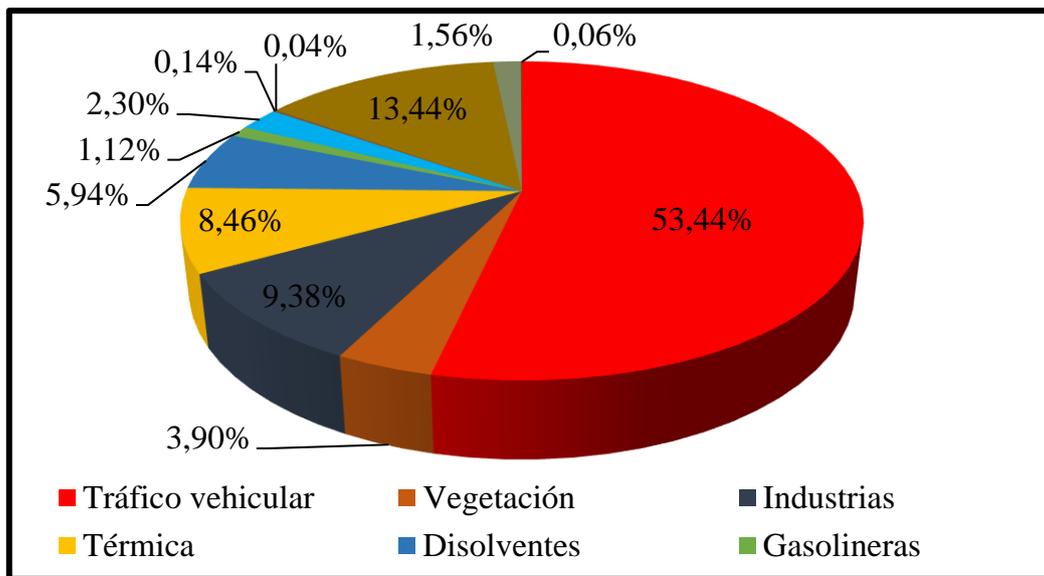
	NOX		VOC		MP 10		MP 2.5		CO2		Promedio
	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	t/a	%	%
Tráfico Vehicular	5981.0	71.2	6065.4	39.6	800.2	55.6	384.0	42.4	801 285.9	58.4	53.4
Vegetación	0.0	0.0	2982.0	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9
Industrias	654.4	7.8	156.2	1.0	73.1	5.1	52.1	5.7	374 845.9	27.3	9.4
Térmica	1553.8	18.5	126.8	0.8	102.1	7.1	102.1	11.3	63 578.7	4.6	8.5
Disolventes	0.0	0.0	4551.7	29.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9
Gasolineras	0.0	0.0	851.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
GLP doméstico	137.9	1.6	4.6	0.0	9.1	0.6	9.1	0.1	126 578.0	9.2	2.3
Tráfico aéreo	24.2	0.3	5.4	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	6 145.9	0.4	0.1
Rellenos sanitarios	0.0	0.0	32.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	12 292.4	0.0	0.0
Ladrilleras	51.0	0.6	534.2	3.5	353.4	24.6	349.3	38.5	66 704.6	0.0	13.4
Erosión eólica	0.0	0.0	0.0	0.0	96.8	6.7	9.7	1.1	0.0	0.0	1.6
Canteras	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
TOTAL	8402	100	15310	100	1439	100	907	100	1 372 434	100	100

Fuente: (EMOV – EP, 2014).

Como se aprecia en la tabla 2.1., los compuestos con mayor concentración en toneladas anuales liberada a la atmósfera son, el óxido de nitrógeno y el dióxido de carbono ambos, producto de la combustión.

El porcentaje de contaminación generada únicamente por el tráfico vehicular en la mayoría de los casos analizados supera el 50% del total de concentraciones generadas por las demás fuentes.

La figura 2.2. a continuación muestra el promedio porcentual de las fuentes contaminantes y su importancia.

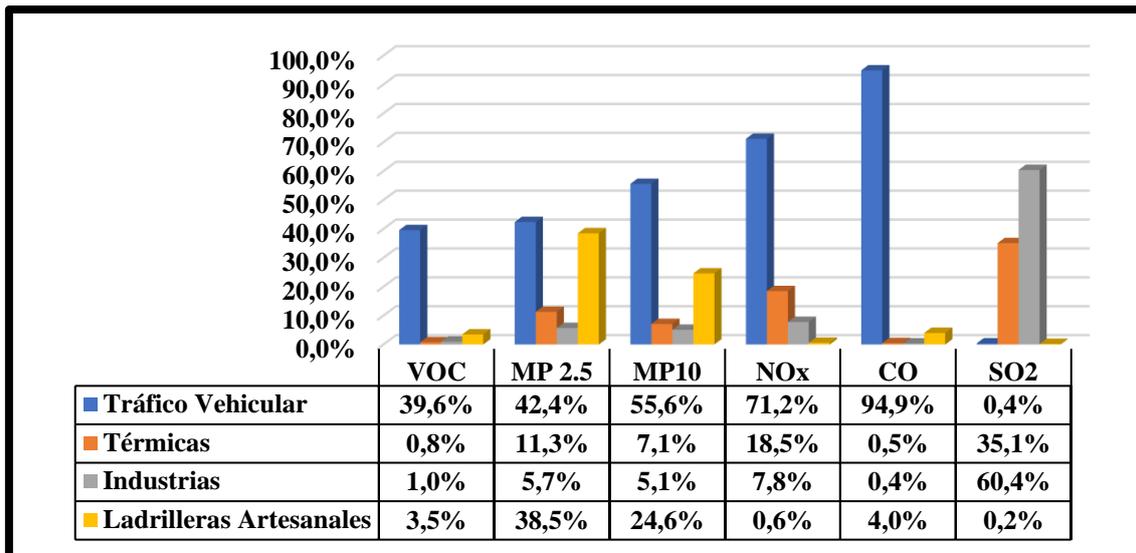


Nota: A partir de los porcentajes de cada fuente contaminante mostrados en la tabla 2.1. se calcula un promedio general y se demuestra la incidencia del tráfico vehicular como principal fuente contaminante de los gases estudiados.

Figura 2.2. *Promedio general de las fuentes contaminantes en la ciudad de Cuenca durante el año 2014.*
Fuente: (EMOV – EP, 2014).

Al analizar las emisiones de GEI y el Producto Interno Bruto (PIB), es decir, la eficiencia que presenta la ciudad con respecto a las emisiones de carbono, da como resultado un valor de 0.11, el cual, califica a Cuenca como ciudad sostenible porque es inferior al valor límite de 0.35 establecido por la metodología ICES (BID, 2014).

La siguiente figura 2.3. muestra la cantidad porcentual de contaminante emitido a la atmósfera según su fuente.



Nota: El tráfico se posiciona como principal fuente contaminante de GEI entre los contaminantes estudiados corroborando con las investigaciones realizadas por el Banco Interamericano de Desarrollo en el año 2014 y por el inventario de emisiones del cantón Cuenca del 2014.

Figura 2.3. Cantidad porcentual de contaminante liberado a la atmósfera según su tipo de fuente.
Fuente: (EMOV – EP, 2014).

La figura 2.4. muestra las emisiones anuales de CO₂ en base a la metodología ICES durante el año 2014 de Cuenca y del resto de ciudades y regiones ICES.

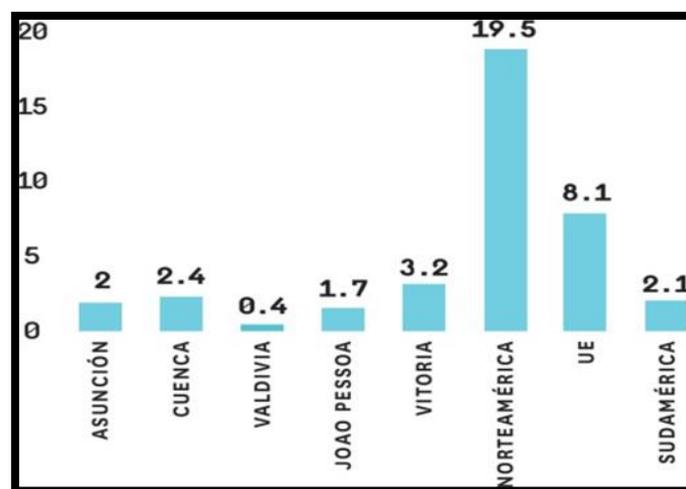


Figura 2.4. Comparativa de emisiones de CO₂ entre ciudades y regiones ICES.
Fuente: (BID, 2014).

Como se observa, Cuenca presenta un bajo índice en la producción anual de CO₂ con respecto a las demás regiones, lo cual, resulta alentador y favorable gracias al constante

monitoreo de la calidad del aire. Sin embargo, como se había mencionado antes el índice de crecimiento del parque automotor y la cantidad de autos en relación a la población es alarmante. Es de vital importancia controlar el rápido acenso de los índices contaminantes con planes de contingencia y de mitigación.

2.1. Antecedentes del área de estudio

2.1.1. Definición del área de estudio

El caso de estudio No. 3 está emplazado en las parroquias Cañaribamba y Las Retamas del cantón Cuenca. La avenida Paseo de los Cañaris según la jerarquía vial es considerada como un eje colector y está delimitada por la Av. Pumapungo al Sur – Oeste y la Av. Hurtado de Mendoza al norte. El viario en todo su largo cuenta con 36 intersecciones de las cuales: 16 son de jerarquía local, 7 de jerarquía colectora, 5 calles sin retorno, 6 intersecciones semaforizadas, 2 redondeles y una longitud total de 2.6 km por sentido de circulación.

La tabla 2.2. detalla las principales intersecciones analizadas que forman parte de la Av. Paseo de los Cañaris.

Tabla 2.2. *Intersecciones analizadas de la Av. Paseo de los Cañaris.*

Intersecciones de la Av. Paseo de los Cañaris			
1	Av. Paseo de los Cañaris y Pachacamac	9	Av. Paseo de los Cañaris y redondel Av. González Suárez
2	Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Duma	10	Av. Paseo de los Cañaris y Yana Urco
3	Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chaparra	11	Av. Paseo de los Cañaris y Rumi - Urco
4	Av. Paseo de los Cañaris y Av. Viracochabamba	12	Av. Paseo de los Cañaris y Allcuquiuro
5	Av. Paseo de los Cañaris y El Observador	13	Av. Paseo de los Cañaris y Ayapungo
6	Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chamba y J. Carrera Andrade	14	Av. Paseo de los Cañaris y Cojitambo
7	Av. Paseo de los Cañaris y Camilo Ponce y Juan José Flores	15	Av. Paseo de los Cañaris y Guagua Zhumi
		16	Av. Paseo de los Cañaris y Altar Urcu
8	Av. Paseo de los Cañaris y Max Uhle	17	Av. Paseo de los Cañaris y Av. Hurtado de Mendoza

Fuente: Autores a partir de Excel.

La figura 2.5. se muestra la ubicación de cada intersección analizada a lo largo de la Av. Paseo de los Cañaris.



Figura 2.5. *Intersecciones analizadas en la Av. Paseo de los Cañaris.*
Fuente: Autores a partir de Google Earth.

2.2. Levantamiento de la información primaria

La información utilizada para el presente documento de investigación analiza la información relacionada con los levantamientos vehiculares con su respectiva clasificación según número de ejes, livianos, buses y motocicletas, velocidades operativas y características geométricas y operacionales del viario.

2.2.1. Aforos vehiculares direccionales en intersecciones

Para el levantamiento de tráfico observado de las 17 principales intersecciones analizadas que forman parte del eje vial, se instaló cámaras de video vigilancia por un período de 2 horas para captar el tráfico en la hora de máxima demanda (HMD). La tabulación de los datos obtenidos se realizó en un formato de hoja electrónica (figura 2.6.) predefinidas por los autores, donde, se clasifica al tráfico según sus características físicas tales como: número de ejes, livianos, buses y motocicletas. Se calcula parámetros referentes a la ingeniería de tránsito como TPDA, hora de máxima demanda, flujos de entrada y salida, flujo de máxima demanda de cada acceso, entre otros. A continuación, se muestra la hoja utilizada para el levantamiento de tráfico observado, el conteo automático utilizado para la obtención de los factores que influyen en el cálculo del TPDA necesario para llevar a cabo la modelación en la herramienta de micro simulación de tránsito Aimsun 8.1 y el

detalle de los giros por intersección durante la hora de máxima demanda (Chávez & Cubides, 2018) y (Moyano, 2017).

La figura 2.6. muestra el formato de hoja de conteo utilizado para levantar el tráfico observado.

INTERSECCIÓN				FECHA				DIA DE LA SEMANA													
HORAS	LIVANOS				BUSES				CAMION C2				CAMION C3				DOS RUEDAS				TOTAL
																					
	↑	↗	↘	↻	↑	↗	↘	↻	↑	↗	↘	↻	↑	↗	↘	↻	↑	↗	↘	↻	
12h00-12h15																					
12h15-12h30																					
12h30-12h45																					
12h45-13h00																					
13h00-13h15																					
13h15-13h30																					
13h30-13h45																					
13h45-14h00																					

Figura 2.6. Formato de hora utilizada para el conteo de tráfico observado.
 Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.2. Conteo Automático

El conteo automático utilizado para el cálculo del tráfico promedio diario anual (TPDA) se ubica en la intersección de la Av. Remigio Crespo y Federico Proaño en sentido este – oeste (E - O), ya que, la intersección presenta características operacionales y geométricas similares a la intersección de la Av. Yana Urco y Av. Paseo de los Cañaris.

La tabla 2.3. muestra el conteo automático de 12 horas realizado por un equipo de medición en la ubicación previamente mencionada.

Tabla 2.3. *Conteo automático vehicular sin clasificar.*

HORAS	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	LUNES
00:00-01:00	54	81	123	280.000	447	333	31.000
01:00-02:00	24	28	52	150.000	350	280	15.000
02:00-03:00	12	29	40	69.000	273	286	12.000
03:00-04:00	9	12	22	43.000	211	156	17.000
04:00-05:00	15	31	24	40	77	66	21
05:00-06:00	42	54	47	47.000	66	46	37.000
06:00-07:00	248	244	201	186	147	80	214
07:00-08:00	582	578	641	562	257	142	601
08:00-09:00	674	698	642	655	502	270	701
09:00-10:00	801	795	820	791	669	288	850
10:00-11:00	946	842	931	940	755	421	890
11:00-12:00	1031	857	1199	1083	944	459	955
12:00-13:00	988	854	1105	966	965	590	937
13:00-14:00	779	785	884	908	882	599	803
14:00-15:00	664	749	718	804	728	585	825
15:00-16:00	971	906	868	972	744	584	821
16:00-17:00	995	748	991	933	898	637	1027
17:00-18:00	1005	837	925	863	687	654	873
18:00-19:00	793	802	865	613	1058	658	727
19:00-20:00	727	765	768	605	565	569	757
20:00-21:00	714	732	830	784	804	542	673
21:00-22:00	483	602	767	863	775	351	489
22:00-23:00	439	452	873	867	750	211	320
23:00-24:00	194	238	470	800	625	97	164
TOTALES E-O	13190	12719	14806	14824	14179	8904	12760
%	14.43%	13.92%	16.20%	16.22%	15.52%	9.74%	13.96%

Fuente: *Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV – EP, 2012).*

2.2.3. Análisis por intersecciones.

2.2.3.1. Intersección 1: Av. Paseo de los Cañaris y Pachacamac

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 2765 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 1 (figura 2.7.) se identificó tres accesos directos y tres salidas directas.

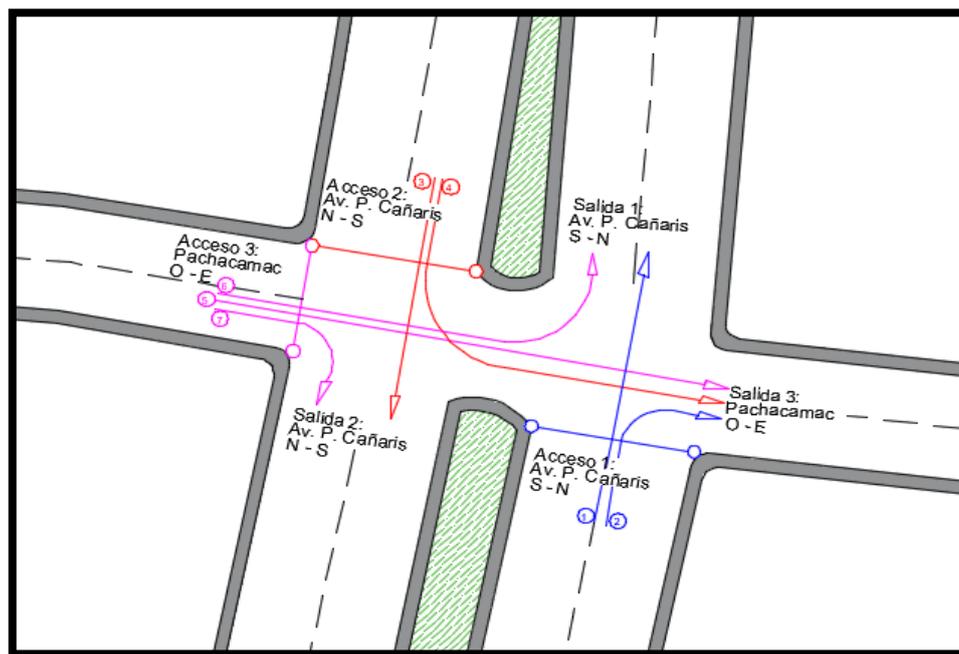


Figura 2.7. Gráfico de flujos en la intersección 1.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 1

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.4. a continuación.

Tabla 2.4. Hora de máximo flujo en la intersección 1.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h30 - 13h30	2207	10%	10%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.4. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h30 hasta las 13h30 y cuenta con un total de 2207 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 1

Durante la hora de máxima demanda (12h30 a 13h30) en la intersección 1 se analizan los tres tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 89.66% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 7.44% y finalmente en tercer puesto se ubica los camiones de tipo C2 con un 2.90%. No existe líneas de buses que transiten esta intersección.

Tabla 2.5. *Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 1.*

Flujo por tipo de Vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h30 - 12h45	521	0	16	0		45
12h45 - 13h00	529	0	18	0	0	44
13h00 - 13h15	455	0	14	0	0	53
13h15 - 13h30	474	0	16	0	0	23
Total	1978	0	64	0	0	164

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.6. *Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.*

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	1978	89.66%
Bues	0	0.00%
C2	64	2.90%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	164	7.44%
Total	2207	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.2. Intersección 2: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Duma

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 2670 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 2 (figura 2.8.) se identificó tres accesos directos y tres salidas directas.

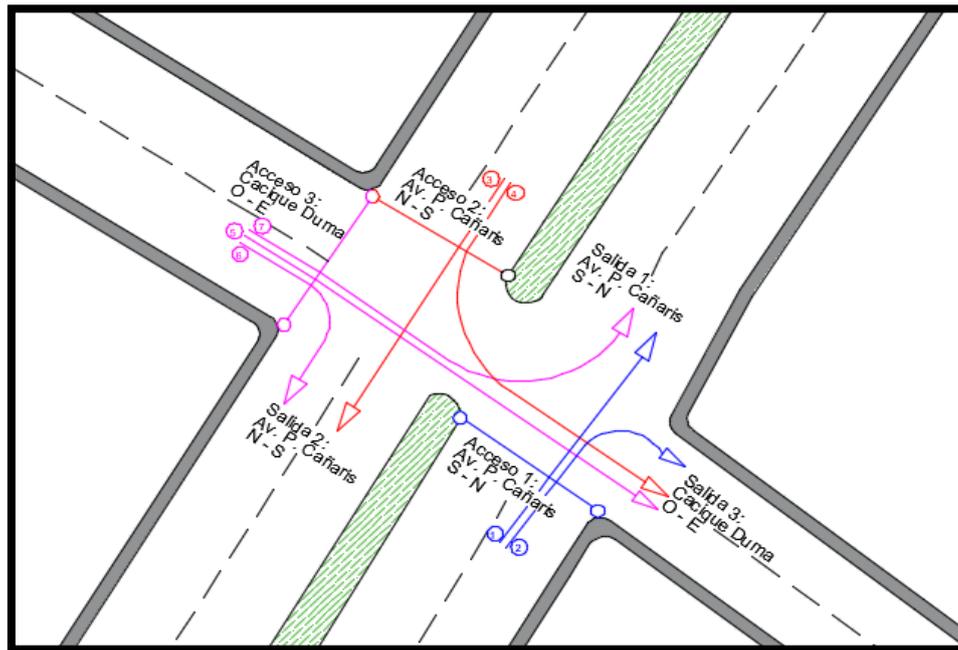


Figura 2.8. Gráfico de flujos en la intersección 2.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 2

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.7. a continuación.

Tabla 2.7. Hora de máximo flujo en la intersección 2.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h15 - 13h15	2131	11%	11%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.7. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h15 hasta las 13h15 y cuenta con un total de 2131 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 2

Durante la hora de máxima demanda (12h15 a 13h15) en la intersección 2 se analizan los tres tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 86.07% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 12.11% y finalmente en tercer puesto se ubica los camiones de tipo C2 con un 1.82%. No existe líneas de buses que transiten por esta intersección.

Tabla 2.8. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 2.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h15 - 12h30	471	0	10	0	0	81
12h30 - 12h45	446	0	6	0	0	58
12h45 - 13h00	447	0	10	0	0	55
13h00 - 13h15	470	0	13	0	0	64
Total	1834	0	39	0	0	258

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.9. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	1834	86.07%
Buses	0	0.00%
C2	39	1.82%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	258	12.11%
Total	2131	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.3. Intersección 3: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chaparra

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 2427 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 3 (figura 2.9.) se identificó tres accesos directos y tres salidas directas.

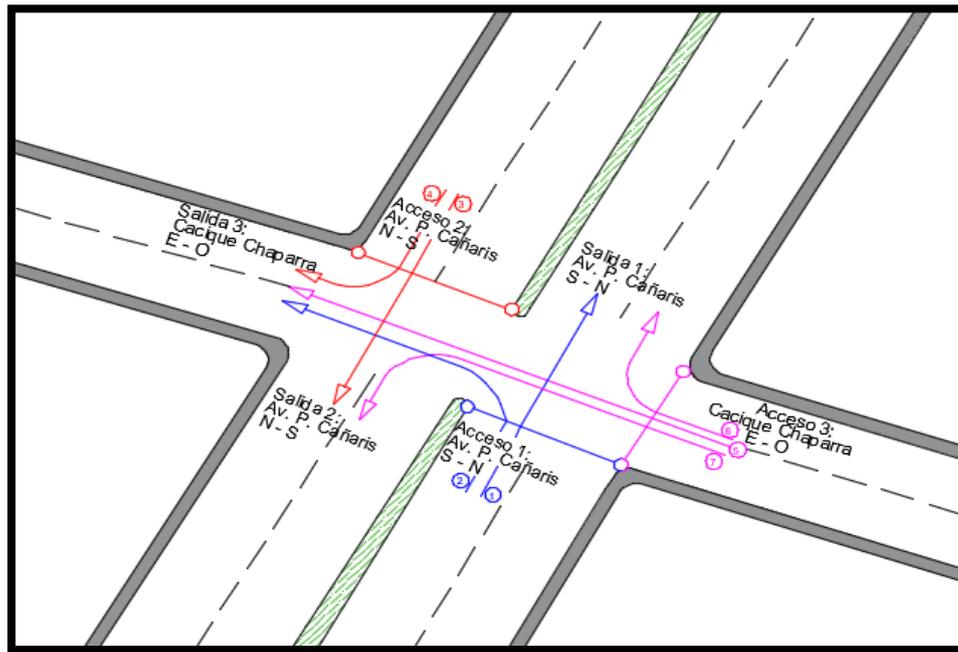


Figura 2.9. Gráfico de flujos en la intersección 3.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 3

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.10. a continuación.

Tabla 2.10. Hora de máximo flujo en la intersección 3.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h30 - 13h30	1937	10%	10%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.10. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h30 hasta las 13h30 y cuenta con un total de 1937 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 3

Durante la hora de máxima demanda (12h30 a 13h30) en la intersección 3 se analizan los tres tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 85.19% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 12.48% y finalmente en tercer puesto se ubica los camiones de tipo C2 con un 2.2%. No existen líneas de buses que transiten por esta intersección.

Tabla 2.11. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 3.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h30- 12h45	408	0	9	3	0	64
12h45 - 13h00	421	0	18	0	0	51
13h00 - 13h15	400	0	4	0	0	61
13h15 - 13h30	421	0	13	0	0	65
Total	1650	0	43	3	0	242

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.12. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	1650	85.19%
Buses	0	0.00%
C2	43	2.20%
C3	3	0.13%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	242	12.48%
Total	1937	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.4. Intersección 4: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Viracochabamba

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 3064 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 4 (figura 2.10.) se identificó cuatro accesos directos y cuatro salidas directas.

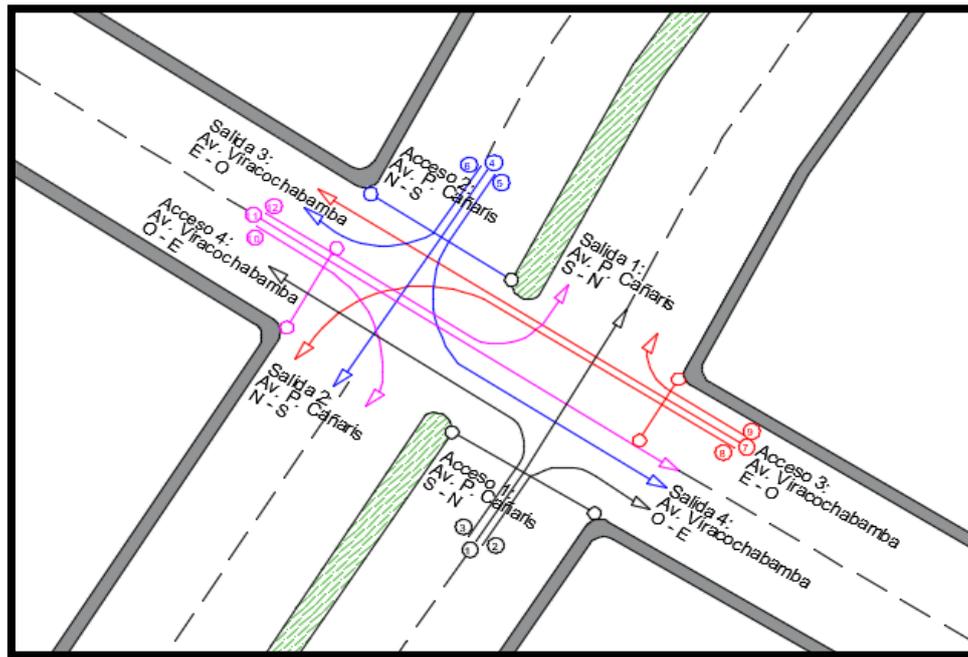


Figura 2.10. Gráfico de flujos en la intersección 4.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 4

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.13. a continuación.

Tabla 2.13. Hora de máximo flujo en la intersección 4.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h00 - 13h00	2445	10%	10%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.13. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h00 hasta las 13h00 y cuenta con un total de 2445 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 4

Durante la hora de máxima demanda (12h00 a 13h00) en la intersección 4 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 87.24% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 9.38%. En el tercer y cuarto puesto se ubica los camiones de tipo C2 y buses con un 2.97% y un 0.41% respectivamente.

Tabla 2.14. *Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 4.*

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h00 - 12h15	544	4	15	0	0	64
12h15 - 12h30	545	3	24	0	0	61
12h30 - 13h45	516	3	15	0	0	54
13h45 - 13h00	528	1	19	0	0	50
Total	2133	10	73	0	0	229

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.15. *Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.*

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	2133	87.24%
Bues	10	0.41%
C2	73	2.97%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	229	9.38%
Total	2445	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.5. Intersección 5: Av. Paseo de los Cañaris y El Observador

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 2339 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 5 (figura 2.11.) se identificó cuatro accesos directos y tres salidas directas.

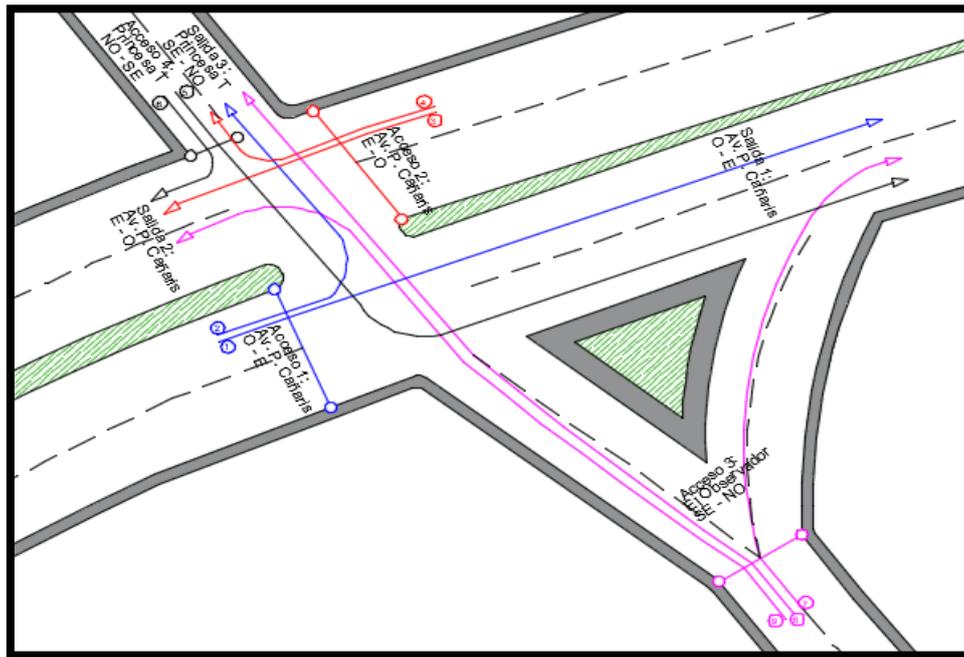


Figura 2.11. Gráfico de flujos en la intersección 5.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 5

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.16. a continuación.

Tabla 2.16. Hora de máximo flujo en la intersección 5.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h15 - 13h15	1867	8%	8%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.16. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h15 hasta las 13h15 y cuenta con un total de 1867 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 5

Durante la hora de máxima demanda (12h15 a 13h15) en la intersección 5 se analizan los tres tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 85.97% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 11.14% y finalmente en tercer puesto se ubica los camiones de tipo C2 con un 2.75%. No existen líneas de buses que transiten por esta intersección.

Tabla 2.17. *Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 5.*

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h15 - 12h30	363	0	16	0	0	55
12h30 - 12h45	442	0	8	1	0	41
12h45 - 13h00	430	0	15	1	0	63
13h00 - 13h15	370	0	13	0	0	49
Total	1605	0	51	3	0	208

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.18. *Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.*

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	1605	85.97%
Bues	0	0.00%
C2	51	2.75%
C3	3	0.13%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	208	11.14%
Total	1867	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.6. Intersección 6: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chamba y J. Carrera Andrade

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 2587 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 6 (figura 2.12.) se identificó cuatro accesos directos y cuatro salidas directas.

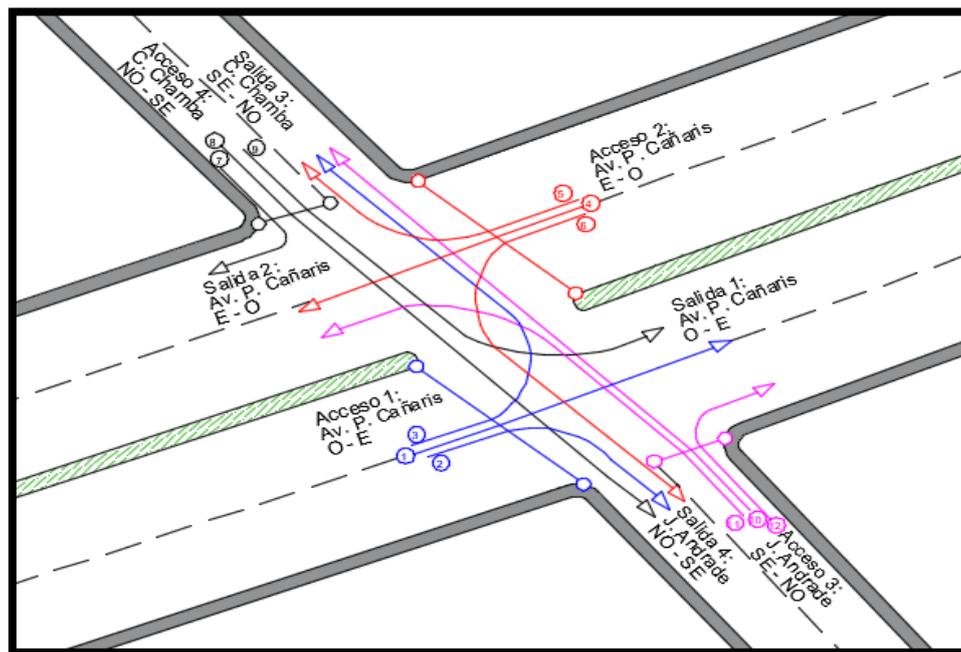


Figura 2.12. Gráfico de flujos en la intersección 6.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 6

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.19. a continuación.

Tabla 2.19. Hora de máximo flujo en la intersección 6.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h00 - 13h00	2065	10%	10%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.19. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h00 hasta las 13h00 y cuenta con un total de 2065 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 6

Durante la hora de máxima demanda (12h00 a 13h00) en la intersección 6 se analizan los tres tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 82.95% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 13.35% y finalmente en tercer puesto se ubica los camiones de tipo C2 con un 3.58%. No existen líneas de buses que transiten por esta intersección.

Tabla 2.20. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 6.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h00 - 12h15	450	0	30	0	0	71
12h15 - 12h30	450	0	19	0	0	66
12h30 - 13h45	391	0	13	0	0	84
13h45 - 13h00	422	0	13	3	0	54
Total	1713	0	74	3	0	276

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.21. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	1713	82.95%
Bues	0	0.00%
C2	74	3.58%
C3	3	0.12%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	276	13.35%
Total	2065	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.7. Intersección 7: Av. Paseo de los Cañaris y Camilo Ponce y Juan José Flores

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 3148 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 7 (figura 2.13.) se identificó cuatro accesos directos y cuatro salidas directas.

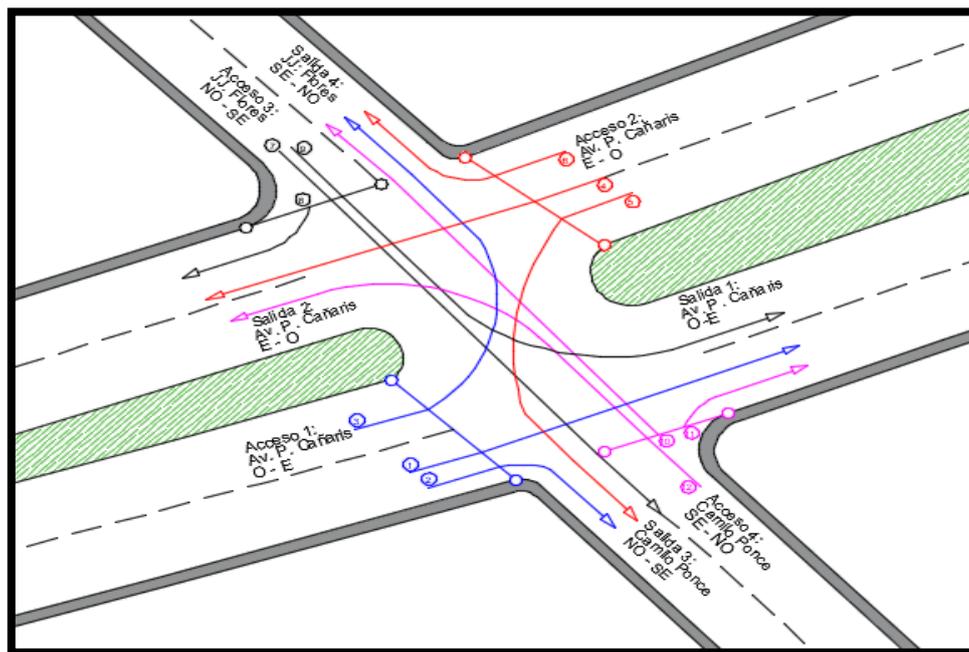


Figura 2.13. Gráfico de flujos en la intersección 7.

Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 7

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.22. a continuación.

Tabla 2.22. Hora de máximo flujo en la intersección 7.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h15 - 13h15	2512	9%	9%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.22. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h15 hasta las 13h15 y cuenta con un total de 2512 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 7

Durante la hora de máxima demanda (12h15 a 13h15) en la intersección 7 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 87.98% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 9.43%. En el tercer y cuarto puesto se ubica los camiones de tipo C2 y buses con un 2.14% y un 0.25% respectivamente.

Tabla 2.23. *Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 7.*

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h15 - 12h30	634	3	15	0	0	64
12h30 - 12h45	543	1	16	1	0	51
12h45 - 13h00	510	1	10	4	0	43
13h00 - 13h15	524	1	13	0	0	79
Total	2210	6	54	5	0	237

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.24. *Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.*

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	2210	87.98%
Buses	6	0.25%
C2	54	2.14%
C3	5	0.20%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	237	9.43%
Total	2512	100%

Fuente: Autores.

2.2.3.8. Intersección 8: Av. Paseo de los Cañaris y Max Uhle

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 3992 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 8 (figura 2.14.) se identificó cuatro accesos directos y cuatro salidas directas.

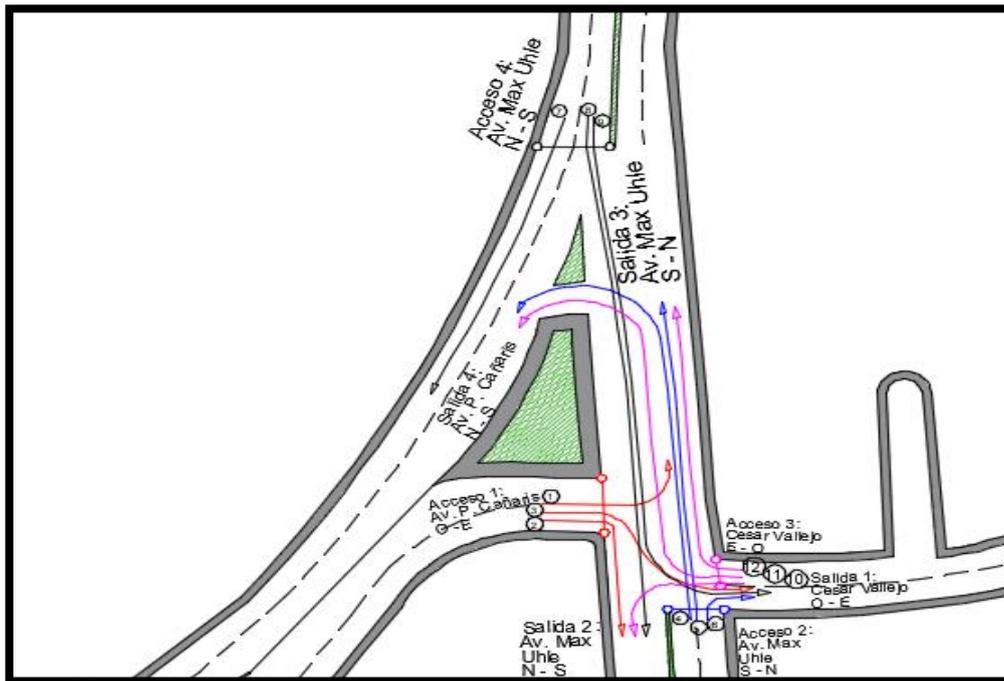


Figura 2.14. Gráfico de flujos en la intersección 8.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 8

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.25. a continuación.

Tabla 2.25. Hora de máximo flujo en la intersección 8.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h15 - 13h15	3186	9%	9%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.25. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h15 hasta las 13h15 y cuenta con un total de 3186 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 8

Durante la hora de máxima demanda (12h15 a 13h15) en la intersección 8 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 85.76% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 10.74%. En el tercer y cuarto puesto se ubica los camiones de tipo C2 y buses con un 2.79% y un 0.63% respectivamente.

Tabla 2.26. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 8.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h15 - 12h30	665	3	15	1	0	95
12h30 - 12h45	720	8	24	0	0	88
12h45 - 13h00	667	5	29	1	0	74
13h00 - 13h15	680	5	21	0	0	85
Total	2733	20	89	3	0	342

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.27. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	2733	85.76%
Buses	20	0.63%
C2	89	2.79%
C3	3	0.08%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	342	10.74%
Total	3186	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.9. Intersección 9: Av. Paseo de los Cañaris y redondel González Suárez

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 4785 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 9 (figura 2.15.) se identificó cuatro accesos directos y cuatro salidas directas.

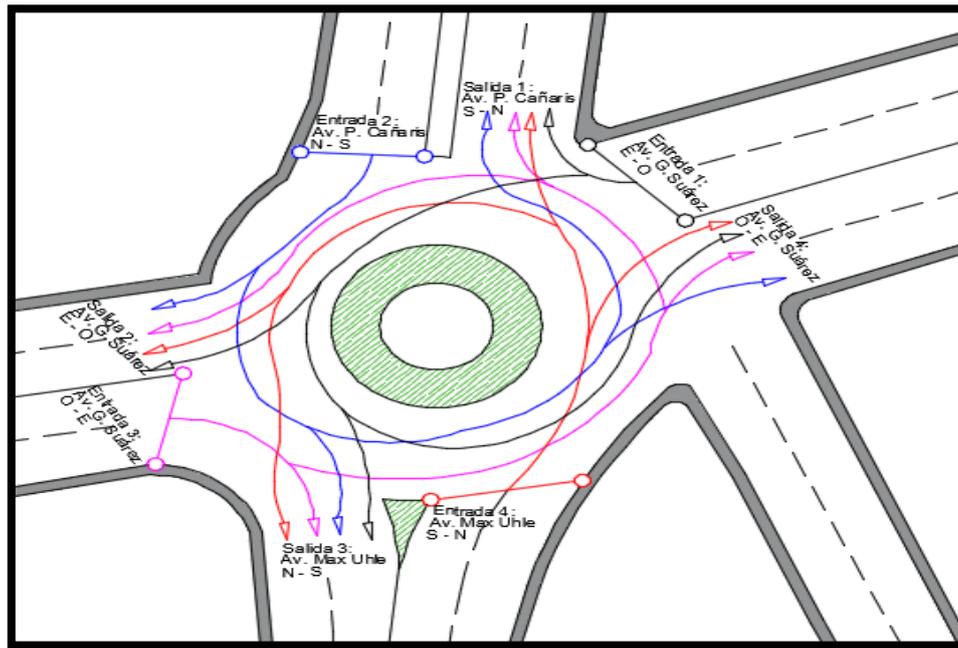


Figura 2.15. Gráfico de flujos en la intersección 9.

Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máxima en los accesos de la intersección

Entrada 1: Av. González Suárez E – O

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.28. a continuación.

Tabla 2.28. Hora de máxima demanda en la entrada 1.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h00 - 13h00	1076	28%	28%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.28. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h00 hasta las 13h00 y cuenta con un total de 1076 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 1

Durante la hora de máxima demanda (12h00 a 13h00) en la entrada 1 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 86.99% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 8.25%. En el tercer y cuarto puesto se ubica los camiones de tipo C2 y buses con un 2.90% y un 1.86% respectivamente.

Tabla 2.29. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 1.

Flujo por tipo de vehículo						
# Flujo	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
1	77	0	4	0	0	7
2	307	13	13	0	0	40
3	321	3	7	0	0	23
4	44	0	1	0	0	1
Total	749	16	25	0	0	71

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.30. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	749	86.99%
Buses	16	1.86%
C2	25	2.90%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	71	8.25%
Total	861	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.31. Cantidad de giros según el flujo vehicular en la entrada 1.

ENTRADA 1: Av. González Suárez E - O					
GIROS (TPDA)	Giro	Flujo	Flujo total	% Flujo (acceso)	% Flujo (intersección)
	Av. P. Cañaris S - N	1	88	10,22%	2,88%
	Av. González Suárez E - O	2	373	43,32%	12,21%
	Av. P. Cañaris N - S	3	354	41,11%	11,59%
	Av. González Suárez O - E	4	46	5,34%	1,51%
	TOTAL		861	100%	28%

Fuente: Autores a partir de Excel.

Entrada 2: Av. Paseo de los Cañaris N – S

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.32. a continuación.

Tabla 2.32. Hora de máxima demanda en la entrada 2.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h00 - 13h00	614	16%	16%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.32. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h00 hasta las 13h00 y cuenta con un total de 614 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 2

Durante la hora de máxima demanda (12h00 a 13h0) en la entrada 2 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 86.35% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 9.78%. En el tercer y cuarto puesto se ubica los camiones de tipo C2 y buses con un 3.67% y un 0.20% respectivamente.

Tabla 2.33. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 2.

Flujo por tipo de vehículo						
# Flujo	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
5	41	0	5	0	0	5
6	309	1	9	0	0	35
7	72	0	4	0	0	8
8	2	0	0	0	0	0
Total	424	1	18	0	0	48

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.34. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	424	86.35%
Buses	1	0.20%
C2	18	3.67%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	48	9.78%
Total	491	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.35. Cantidad de giros según el flujo vehicular en la entrada 2.

ENTRADA 2: Av. Paseo de los Cañaris N - S					
GIROS (TPDA)	Giro	Flujo	Flujo total	% Flujo (acceso)	% Flujo (intersección)
	Av. González Suárez E - O	5	51	10,39%	1,67%
	Av. P. Cañaris N - S	6	354	72,10%	11,59%
	Av. González Suárez O - E	7	84	17,11%	2,75%
	Av. P. Cañaris S - N	8	2	0,41%	0,07%
	TOTAL		491	100%	16%

Fuente: Autores a partir de Excel.

Entrada 3: Av. González Suárez E – O

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.36. a continuación.

Tabla 2.36. Hora de máxima demanda en la entrada 3.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h30 - 13h30	1089	29%	29%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.36. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h30 hasta las 13h30 y cuenta con un total de 1089 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 3

Durante la hora de máxima demanda (12h30 a 13h30) en la entrada 3 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 85.65% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 10.79%. En el tercer y cuarto puesto se ubican los buses seguido de los camiones de tipo C2 con un 1.84% y un 1.72% respectivamente.

Tabla 2.37. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 3.

Flujo por tipo de vehículo						
# Flujo	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
9	304	0	3	0	0	43
10	480	16	8	0	0	48
11	39	0	4	0	0	3
12	2	0	0	0	0	0
Total	825	16	15	0	0	94

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.38. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	746	85.65%
Buses	16	1.84%
C2	15	1.72%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	94	10.79%
Total	871	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.39. Cantidad de giros según el flujo vehicular en la entrada 3.

ENTRADA 3: Av. González Suárez E - O					
GIROS (TPDA)	Giro	Flujo	Flujo total	% Flujo (acceso)	% Flujo (intersección)
	Av. P. Cañaris N - S	9	350	40,180%	11,46%
	Av. González Suárez O - E	10	480	55,110%	15,71%
	Av. P. Cañaris S - N	11	39	4,480%	1,28%
	Av. González Suárez E - O	12	2	0,230%	0,07%
	TOTAL		871	100%	29%

Fuente: Autores a partir de Excel.

Entrada 4: Av. Max Uhle S – N

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.40. a continuación.

Tabla 2.40. Hora de máxima demanda en la entrada 4.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h30 - 13h00	1040	27%	27%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.40. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h30 hasta las 13h30 y cuenta con un total de 1040 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 4

Durante la hora de máxima demanda (12h30 a 13h00) en la entrada 4 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia. El vehículo más común para este caso es el liviano con un 84.16% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 8.61%. En el tercer y cuarto puesto se ubica los camiones de tipo C2 y buses con un 2.53% y un 0.23% respectivamente.

Tabla 2.41. *Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la entrada 4.*

Flujo por tipo de vehículo						
# Flujo	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
13	244	2	6	0	0	29
14	290	16	9	0	0	27
15	195	0	7	0	0	19
16	4	0	0	0	0	0
Total	733	18	22	0	0	75

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.42. *Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.*

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	733	84.16%
Buses	2	0.23%
C2	22	2.53%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	75	8.61%
Total	832	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.43. Cantidad de giros según el flujo vehicular en la entrada 4.

ENTRADA 4: Av. Max Uhle S - N					
GIROS (TPDA)	Giro	Flujo	Flujo total	% Flujo (acceso)	% Flujo (intersección)
	Av. González Suárez O - E	13	28	33,77%	9,00%
	Av. P. Cañaris S - N	14	326	39,18%	11,00%
	Av. González Suárez E - O	15	221	26,56%	7,00%
	Av. P. Cañaris N - S	16	4	0,48%	0,00%
TOTAL			579	100%	27%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.10. Intersección 10: Av. Paseo de los Cañaris y Yana Urco

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 2552 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 10 (figura 2.16.) se identificó cuatro accesos directos y cuatro salidas directas.

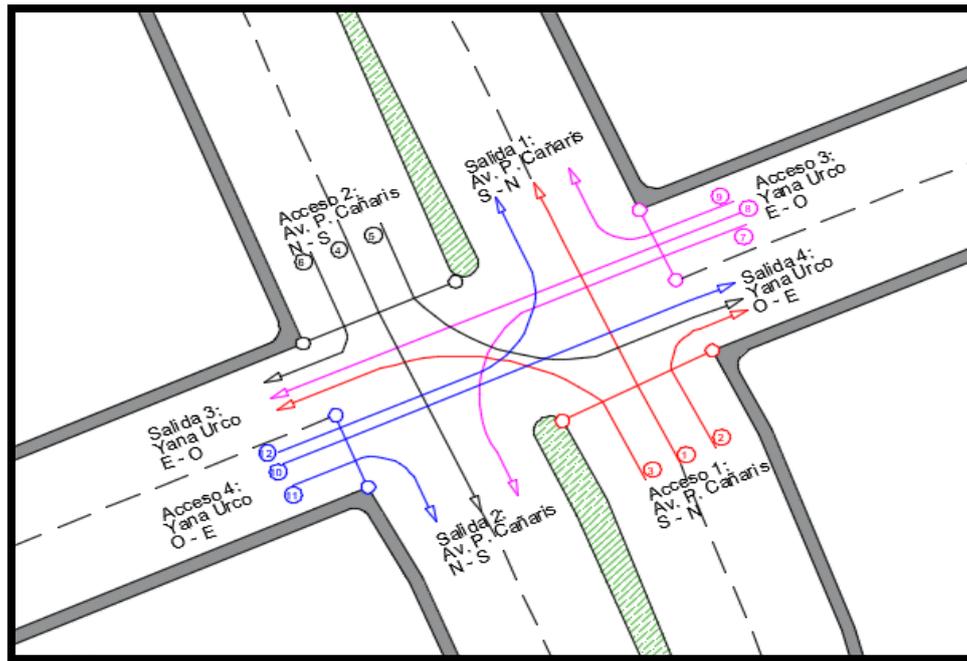


Figura 2.16. Gráfico de flujos en la intersección 10.

Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 10

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.44. a continuación.

Tabla 2.44. Hora de máximo flujo en la intersección 10.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h30 - 13h30	2037	8%	8%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.44. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h30 hasta las 13h30 y cuenta con un total de 2037 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 10

Durante la hora de máxima demanda (12h30 a 13h30) en la intersección 10 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia.

El vehículo más común para este caso es el liviano con un 84.93% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 10.46%. En el tercer y cuarto puesto se ubican los camiones de tipo C2 y buses con un 2.95% y un 1.66% respectivamente.

Tabla 2.45. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 10.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h30 - 12h45	380	11	16	0	0	48
12h45 - 13h00	444	8	15	0	0	65
13h00 - 13h15	439	5	15	0	0	58
13h15 - 13h30	469	10	14	0	0	43
Total	1730	34	60	0	0	213

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.46. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	1730	84.93%
Buses	34	1.66%
C2	60	2.95%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	213	10.46%
Total	2037	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.11. Intersección 11: Av. Paseo de los Cañaris y Rumi - Urco

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 1215 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 11 (figura 2.17.) se identificó tres accesos directos y tres salidas directas.

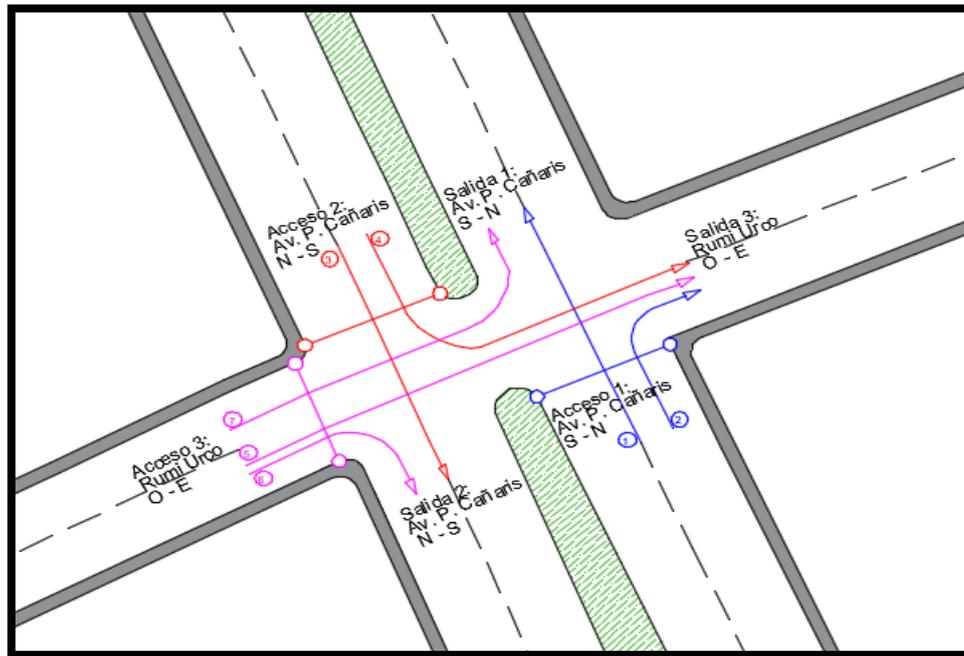


Figura 2.17. Gráfico de flujos en la intersección 11.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 11

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.47. a continuación.

Tabla 2.47. Hora de máximo flujo en la intersección 11.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h30 - 13h30	970	11%	11%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.47. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h30 hasta las 13h30 y cuenta con un total de 970 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 11

Durante la hora de máxima demanda (12h30 a 13h30) en la intersección 11 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia.

El vehículo más común para este caso es el liviano con un 81.65% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 14.21%. En el tercer y cuarto puesto se ubican los camiones de tipo C2 y buses con un 2.45% y un 1.68% respectivamente.

Tabla 2.48. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 11.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h30 - 12h45	192	1	8	0	0	25
12h45 - 13h00	202	3	6	0	0	30
13h00 - 13h15	194	6	5	0	0	38
13h15 - 13h30	204	6	5	0	0	45
Total	792	16	24	0	0	138

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.49. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	792	81.65%
Bues	16	1.68%
C2	24	2.45%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	138	14.21%
Total	970	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.12. Intersección 12: Av. Paseo de los Cañaris y Allcuquiro

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 1326 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 12 (figura 2.18.) se identificó tres accesos directos y tres salidas directas.

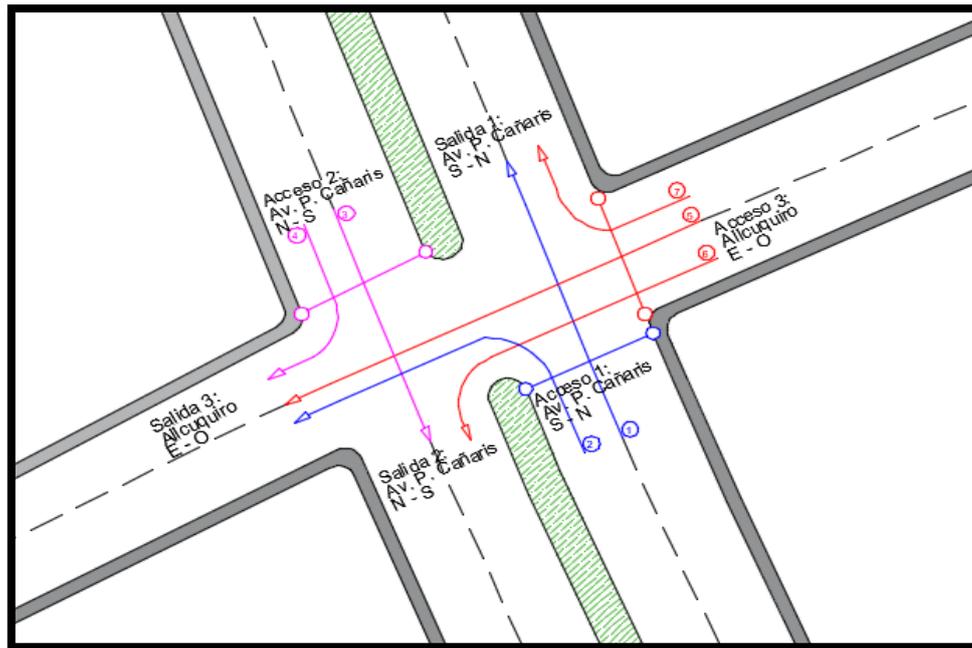


Figura 2.18. Gráfico de flujos en la intersección 12.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 12

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.50. a continuación.

Tabla 2.50. Hora de máximo flujo en la intersección 12.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h00 - 13h00	1056	8%	8%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.50. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h00 hasta las 13h00 y cuenta con un total de 1056 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 12

Durante la hora de máxima demanda (12h00 a 13h00) en la intersección 12 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia.

El vehículo más común para este caso es el liviano con un 83.75% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 10.44%. En el tercer y cuarto puesto se ubican los camiones de tipo C2 y buses con un 4.27% y un 1.3% respectivamente.

Tabla 2.51. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 12.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h00 - 12h15	229	4	13	3	0	33
12h15 - 12h30	217	4	8	0	0	20
12h30 - 13h45	221	4	19	0	0	36
13h45 - 13h00	218	3	6	0	0	21
Total	885	14	45	3	0	110

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.52. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	885	83.75%
Bues	14	1.30%
C2	45	4.27%
C3	3	0.24%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	110	10.44%
Total	1056	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.13. Intersección 13: Av. Paseo de los Cañaris y Ayapungo

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 1138 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 13 (figura 2.19.) se identificó tres accesos directos y tres salidas directas.

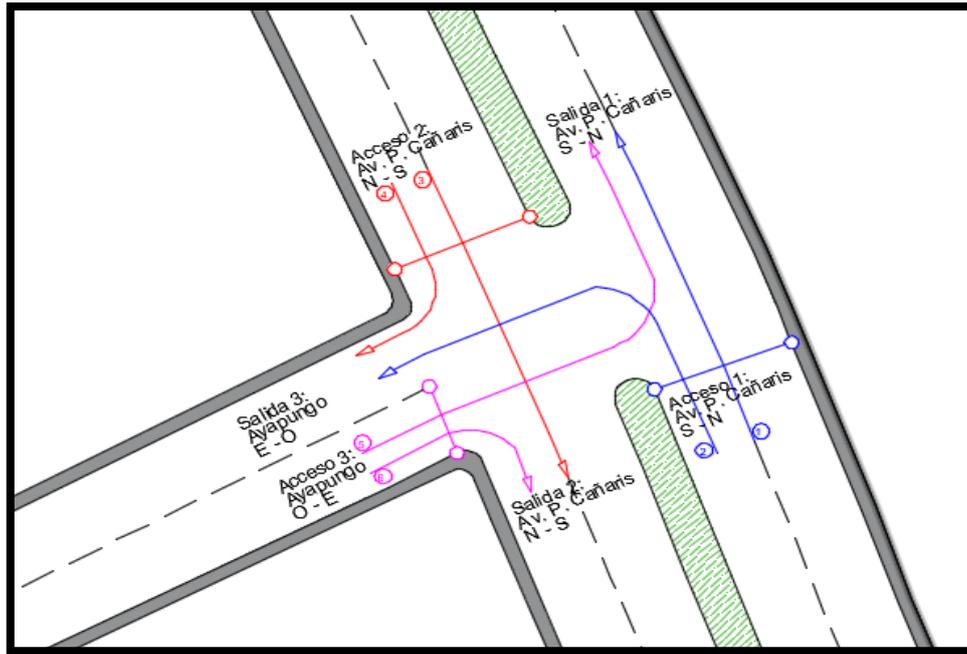


Figura 2.19. Gráfico de flujos en la intersección 13.

Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 13

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.53. a continuación.

Tabla 2.53. Hora de máximo flujo en la intersección 13.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h15 - 13h15	908	8%	8%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.53. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h15 hasta las 13h15 y cuenta con un total de 908 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 13

Durante la hora de máxima demanda (12h15 a 13h15) en la intersección 13 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia.

El vehículo más común para este caso es el liviano con un 82.48% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 12.55%. En el tercer y cuarto puesto se ubican los camiones de tipo C2 y buses con un 2.62% y un 2.34% respectivamente.

Tabla 2.54. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 13.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h15 - 12h30	249	4	9	0	0	29
12h30 - 12h45	98	6	4	0	0	20
12h45 - 13h00	183	5	5	0	0	30
13h00 - 13h15	219	6	6	0	0	35
Total	749	21	24	0	0	114

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.55. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	749	82.48%
Buses	21	2.34%
C2	24	2.62%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	114	12.55%
Total	908	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.14. Intersección 14: Av. Paseo de los Cañaris y Cojitambo

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 1187 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 14 (figura 2.20.) se identificó dos accesos directos y tres salidas directas.

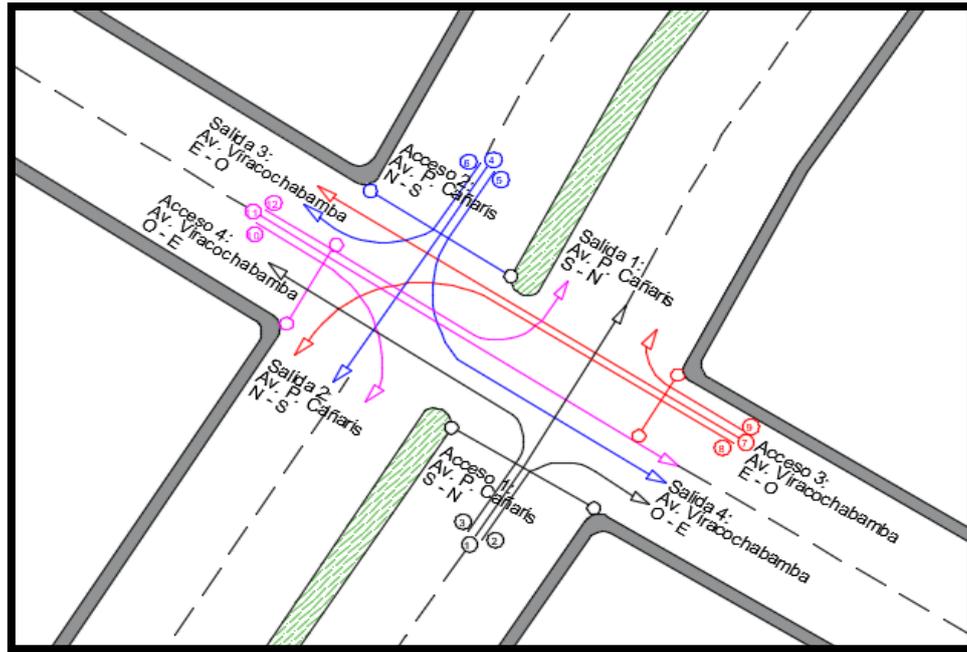


Figura 2.20. Gráfico de flujos en la intersección 14.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 14

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.56. a continuación.

Tabla 2.56. Hora de máximo flujo en la intersección 14.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h00 - 13h00	947	9%	9%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.56. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h00 hasta las 13h00 y cuenta con un total de 947 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 14

Durante la hora de máxima demanda (12h00 a 13h00) en la intersección 14 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia.

El vehículo más común para este caso es el liviano con un 84.79% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 10.71%. En el tercer y cuarto puesto se ubican los camiones de tipo C2 y buses con un 3.7% y un 0.79% respectivamente.

Tabla 2.57. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 14.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h00 - 12h15	197	5	11	0	0	30
12h15 - 12h30	178	0	9	0	0	19
12h30 - 13h45	214	0	8	0	0	30
13h45 - 13h00	214	3	8	0	0	23
Total	803	8	35	0	0	101

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.58. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	803	84.79%
Bues	8	0.79%
C2	35	3.70%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	101	10.71%
Total	947	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.15. Intersección 15: Av. Paseo de los Cañaris y Guagua Zhumi

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 1118 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 15 (figura 2.21.) se identificó tres accesos directos y dos salidas directas.

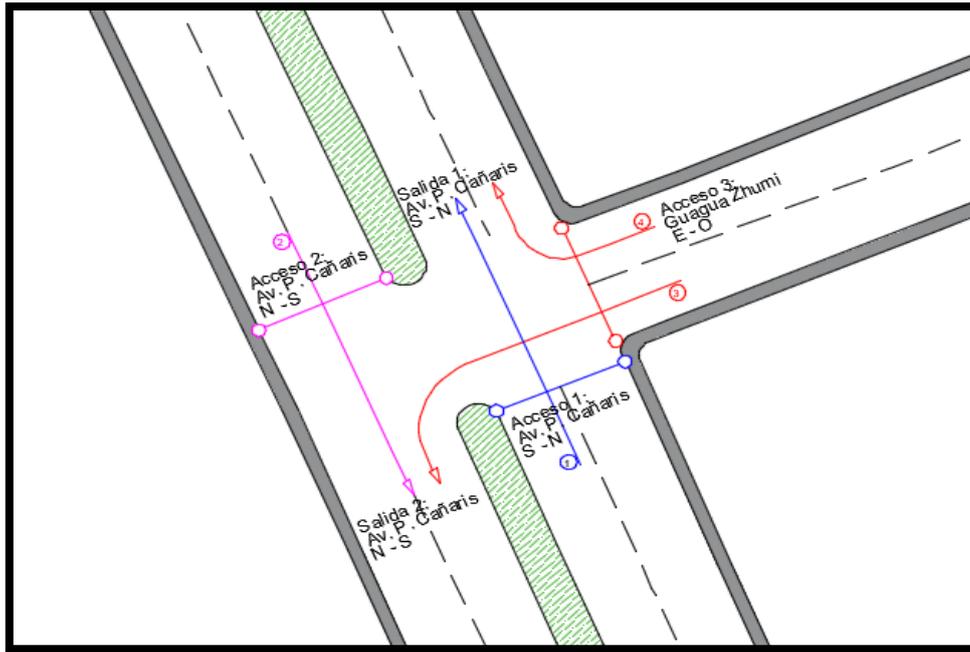


Figura 2.21. Gráfico de flujos en la intersección 15.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 15

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.59. a continuación.

Tabla 2.59. Hora de máximo flujo en la intersección 15.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h00 - 13h00	892	8%	8%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.59. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h00 hasta las 13h00 y cuenta con un total de 892 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 15

Durante la hora de máxima demanda (12h00 a 13h00) en la intersección 15 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia.

El vehículo más común para este caso es el liviano con un 84.83% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 11.24%. En el tercer y cuarto puesto se ubican los camiones de tipo C2 y buses con un 3.51% y un 0.42% respectivamente.

Tabla 2.60. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 15.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h00 - 12h15	193	3	6	0	0	31
12h15 - 12h30	170	0	9	0	0	18
12h30 - 13h45	202	0	8	0	0	26
13h45 - 13h00	192	1	9	0	0	25
Total	757	4	31	0	0	100

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.61. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	757	84.83%
Buses	4	0.42%
C2	31	3.51%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	100	11.24%
Total	892	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.16. Intersección 16: Av. Paseo de los Cañaris y Altar Urcu

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 1187 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 16 (figura 2.22.) se identificó tres accesos directos y cuatro salidas directas.

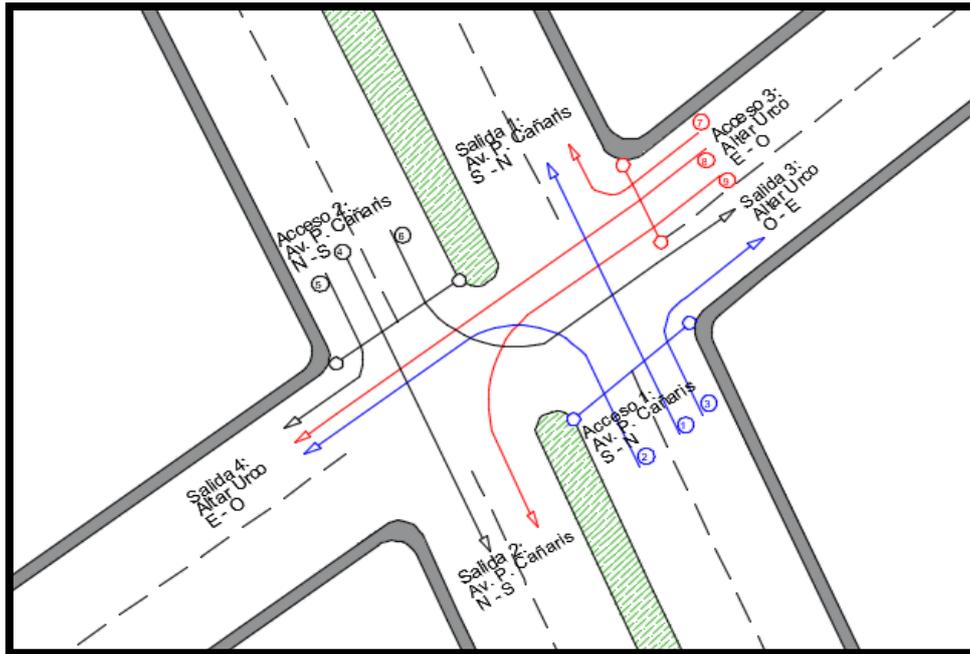


Figura 2.22. Gráfico de flujos en la intersección 16.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 16

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.62. a continuación.

Tabla 2.62. Hora de máximo flujo en la intersección 16.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h00 - 13h00	947	9%	9%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.62. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h00 hasta las 13h00 y cuenta con un total de 947 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 16

Durante la hora de máxima demanda (12h00 a 13h00) en la intersección 16 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia.

El vehículo más común para este caso es el liviano con un 83.20% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 12.04%. En el tercer y cuarto puesto se ubican los camiones de tipo C2 y buses con un 2.51% y un 2.25% respectivamente.

Tabla 2.63. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 16.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h00 - 12h15	249	4	9	0	0	29
12h15 - 12h30	137	6	4	0	0	20
12h30 - 13h45	183	5	5	0	0	30
13h45 - 13h00	219	6	6	0	0	35
Total	788	21	24	0	0	114

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.64. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	788	83.20%
Buses	21	2.25%
C2	24	2.51%
C3	0	0.00%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	114	12.04%
Total	947	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.2.3.17. Intersección 17: Av. Paseo de los Cañaris y Hurtado de Mendoza

La intersección tiene un tráfico promedio diario anual (TPDA) equivalente a 2790 vehículos por hora. Según el diseño geométrico del viario, se establece que para poder cuantificar el tráfico observado se determine un número de accesos directos y salidas directas. Para el caso de la intersección 17 (figura 2.23.) se identificó tres accesos directos y tres salidas directas.

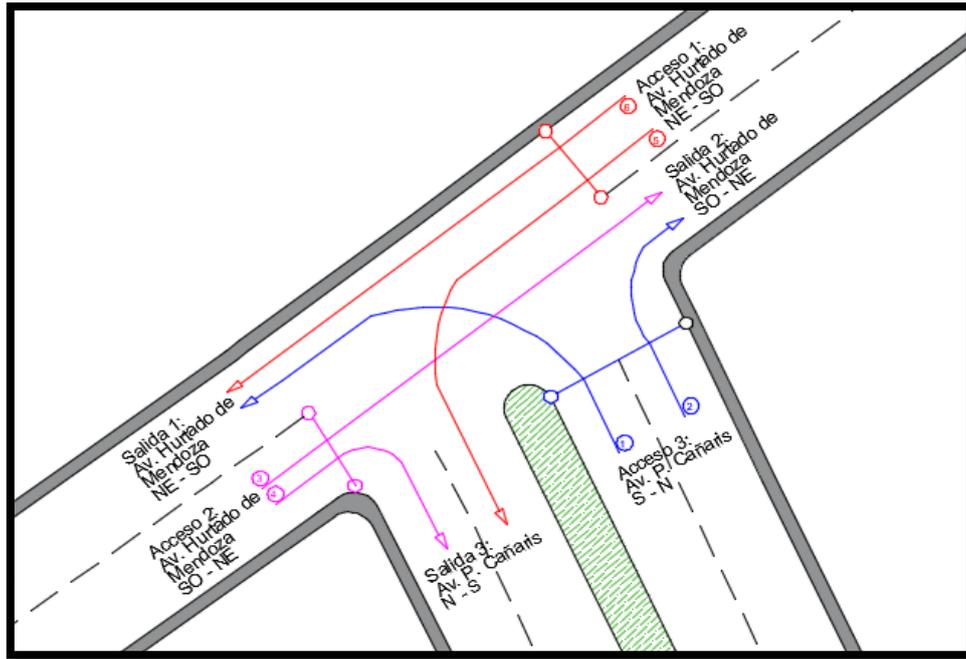


Figura 2.23. Gráfico de flujos en la intersección 17.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

Horas de máximo flujo en la intersección 17

Se determina una hora de máxima demanda dentro del período de dos horas de grabación matutino como indica la tabla 2.65. a continuación.

Tabla 2.65. Hora de máximo flujo en la intersección 18.

Hora Pico		TPDA Total	% TPDA (acceso)	% TPDA (intersección)
Mañana	12h00 - 13h00	2227	11%	11%

Fuente: Autores a partir de Excel.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2.65. la hora de máxima demanda durante el período matutino de grabación es desde las 12h00 hasta las 13h00 y cuenta con un total de 2227 vehículos con su respectiva clasificación.

Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 17

Durante la hora de máxima demanda (12h00 a 13h00) en la intersección 17 se analizan los cuatro tipos de vehículos con mayor incidencia.

El vehículo más común para este caso es el liviano con un 85.42% del total de carros que transitan por la intersección, seguido de dos ruedas con un 10.07%. En el tercer y cuarto puesto se ubican los camiones de tipo C2 y buses con un 3.38% y un 0.79% respectivamente.

Tabla 2.66. Clasificación vehicular en la hora de máxima demanda para la intersección 17.

Flujo por tipo de vehículo						
Hora	Livianos	Buses	C2	C3	C4	Dos Ruedas
12h00 - 12h15	492	10	25	1	0	50
12h15 - 12h30	479	3	18	3	0	63
12h30 - 13h45	489	3	13	3	0	50
13h45 - 13h00	442	3	20	1	0	61
Total	1902	18	75	8	0	224

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 2.67. Clasificación porcentual de los vehículos en la hora de máxima demanda.

Tipo de vehículo	Flujo	% Flujo
Livianos	1902	85.42%
Bues	18	0.79%
C2	75	3.38%
C3	8	0.34%
C4	0	0.00%
Dos ruedas	224	10.07%
Total	2227	100%

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.3. Levantamiento de la información secundaria

2.3.1. Planimetría y topografía de la Av. Paseo de los Cañaris

Parte de la información secundaria utilizada para desarrollar el presente trabajo de investigación es la topografía del viario y de las parroquias Cañaribamba y Las Retamas. Con la ayuda de la dirección municipal de tránsito del GAD de Cuenca, se dispuso de la topografía geo referenciada en coordenadas WGS84, la cual, funcionará como referencia para la red de flujo vehicular en la herramienta de micro simulación de tránsito.

La figura 2.24 describe el área de emplazamiento del viario estudiado.

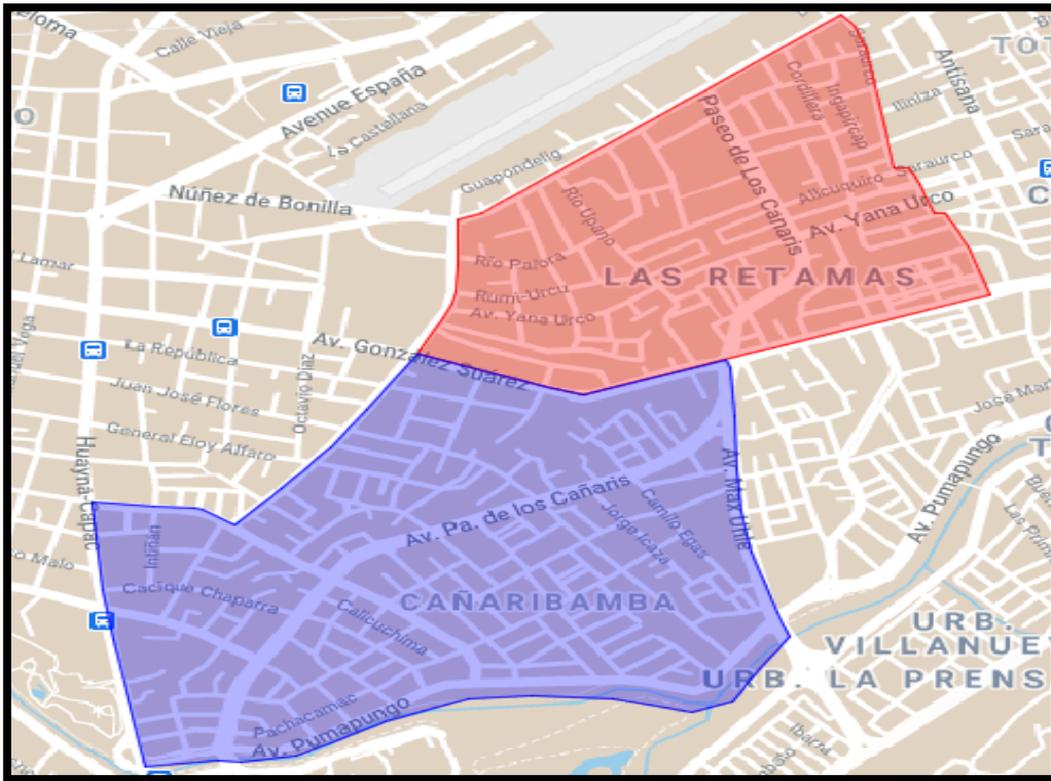


Figura 2.24. Topografía del viario ubicado entre las parroquias “Las Retamas” y “Cañaribamba”.
Fuente: Autores a partir de CivilCad 3D 2019.

2.3.2. Características del parque automotor de Cuenca.

Actualmente la ciudad de Cuenca no cuenta con un documento actualizado, el cual, brinde la información pertinente sobre la caracterización del parque automotor. Ni con la participación de la (EMOV – EP), a través, de su gerencia de transporte, el departamento Municipal encargado de la calidad del aire, la Dirección Municipal de Tránsito del GAD de Cuenca, el consorcio Danton encargado de la revisión técnica vehicular (Cuenca Aire), la Agencia Nacional de Tránsito y páginas oficiales de estadísticas como Ecuador en cifras, se logró determinar las características del parque automotor de la ciudad. Motivos como la falta de detalle en la información de clasificación, la falta de interés de parte de las autoridades competentes y el procesamiento de información para un resultado depurado provocaron que llevar a cabo este apartado del presente documento de investigación no sea posible.

Sin embargo, se optó por recurrir a la información más actualizada disponible en el 'inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca' emitido en el año 2014.

De acuerdo al último inventario de emisiones atmosféricas 131 488 vehículos son a gasolina. De este número el 67.26% son automóviles, 20.31% son camionetas y furgonetas, 7.92% son motocicletas, 3.66% taxis, 0.15% vehículos pesados y 0.7% híbridos (EMOV - EP, 2014).

La tabla 2.68. muestra la cantidad y tipo de vehículos que ocupan gasolina clasificados según su cilindraje.

Tabla 2.68. Clasificación del parque automotor de la ciudad de Cuenca de vehículos a gasolina.

Año	Automóviles			Híbridos			Camionetas y furgonetas			Taxis			Pesados	Motos	Total
	< 1400 cm ³	1400 - 2000 cm ³	> 2000 cm ³	< 1400 cm ³	1400 - 2000 cm ³	> 2000 cm ³	< 1400 cm ³	1400 - 2000 cm ³	> 2000 cm ³	< 1400 cm ³	1400 - 2000 cm ³	> 2000 cm ³			
1989 y anteriores	1909	1654	502	0	0	0	572	2114	251	0	0	0	75	134	7211
1990	723	126	66	0	0	0	54	37	142	0	0	0	7	9	1164
1991	822	311	94	0	0	0	67	70	164	0	0	0	4	12	1544
1992	750	810	277	0	0	0	69	84	211	0	0	0	3	10	2214
1993	499	851	336	0	0	0	95	131	387	0	0	0	4	22	2325
1994	622	1571	314	0	0	0	166	192	662	0	0	0	4	26	3557
1995	480	954	245	0	0	0	144	109	615	0	0	0	6	7	2560
1996	615	1032	189	0	0	0	100	103	531	0	0	0	7	21	2598
1997	468	1084	254	0	0	0	62	67	527	0	0	0	0	13	2475
1998	649	1855	533	0	0	0	66	107	882	0	0	0	4	15	4111
1999	453	1303	423	0	0	0	101	59	882	0	7	0	1	1	3230
2000	84	371	51	0	0	0	0	18	88	1	1	0	0	15	629
2001	892	2273	587	0	0	0	25	35	760	4	164	0	6	53	4799
2002	750	3364	657	0	0	0	38	41	1326	1	273	0	6	106	6562
2003	424	2967	490	0	0	0	43	25	1250	1	229	0	7	116	5552
2004	317	2610	423	0	0	0	26	22	1084	1	169	0	4	182	4838
2005	452	3309	434	0	0	0	66	31	1215	1	464	0	13	182	6167
2006	665	3411	641	0	0	0	48	31	1329	4	358	1	3	307	6798
2007	695	3614	880	0	0	0	51	16	1416	0	373	1	9	258	7313
2008	486	2977	763	0	1	1	6	9	1193	6	307	0	1	288	6038
2009	632	4114	588	0	1	109	34	4	1197	4	468	0	1	423	7575
2010	367	3357	534	0	51	349	16	16	1076	6	436	0	1	527	6736
2011	706	4751	565	0	3	94	78	9	1026	0	525	0	0	748	8505
2012	710	3532	450	0	63	21	204	23	698	1	327	0	4	1362	7395

2013	480	3133	647	0	141	0	169	9	803	0	428	3	7	1715	7535
2014	1259	3885	1368	0	41	44	120	35	1169	7	247	1	23	3858	12057
Total	16909	59219	12311	0	301	618	2420	3397	20884	37	4776	6	200	10410	131488
%	12.9	45.0	9.4	0.0	0.2	0.5	1.8	2.6	15.9	0.0	3.6	0.0	0.2	7.9	100

Fuente: (EMOV – EP, 2014).

Por otra parte, existen 15 996 vehículos impulsados a diésel de los cuales 42.8% son vehículos pesados (camiones, volquetas, tráileres y tanqueros), 38.9% son camionetas y furgonetas, 14.4% son buses y finalmente el 3.9% son automóviles.

La tabla 2.69. a continuación muestra la clasificación vehicular del parque automotor en Cuenca que utiliza diésel.

Tabla 2.69. Clasificación del parque automotor de la ciudad de Cuenca de vehículos a diésel.

Año	Automóviles	Camiones y furgonetas	Buses	Pesados	Total
1989 y anteriores	7	0	3	243	253
1990	1	0	0	96	97
1991	0	0	0	64	64
1992	0	1	0	74	75
1993	1	1	0	31	33
1994	0	5	10	76	91
1995	1	19	16	79	115
1996	0	1	23	40	64
1997	0	3	11	38	52
1998	1	5	25	98	129
1999	0	15	29	123	167
2000	3	1	4	23	31
2001	1	42	68	205	316
2002	5	100	248	375	728
2003	4	190	285	259	738
2004	8	197	251	176	632
2005	85	203	168	221	677
2006	109	186	205	266	766
2007	126	188	153	411	878
2008	79	262	85	399	825
2009	102	697	112	513	1424
2010	57	618	105	336	1116
2011	15	845	161	553	1574
2012	3	584	106	491	1184
2013	15	717	82	639	1453

2014	7	1339	154	1014	2514
Total	630	6219	2304	6843	15996
%	3.9	38.9	14.4	42.8	100

Fuente: (EMOV – EP, 2014).

Concluyendo que, tal y como se observa en la tabla 2.68. y 2.69. los años 2011 y 2014 poseen el mayor número de vehículos livianos impulsados a gasolina y la mayor cantidad de vehículos pesados impulsados a diésel respectivamente, por lo que, dichos años son útiles para la recopilación de información acerca del vehículo más representativo del parque automotor.

Bajo el criterio de modelo más vendido anualmente y debido a que existe una gran cantidad de variables que influyen en la selección del vehículo tipo más representativo, se optó por recopilar información a través de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) de los años 2011 y 2014 a nivel nacional.

Según la información proporcionada por la “AEADE” el vehículo tipo más representativo del parque automotor de la ciudad de Cuenca es el Chevrolet modelo Aveo Activo sedán 1.6 del año 2011, ya que, fue el más vendido con un total de 11 168 unidades. Por otro lado, el modelo de vehículo pesado correspondiente a (camiones livianos, medianos y pesados, volquetas, tráileres, etc.) más vendido en el año 2014 es el camión Chevrolet modelo NLR con un total de ventas de 1 458 unidades. Finalmente, el vehículo tipo más representativo para los buses analizando que existe circulación en el área urbana de buses urbanos, intercantonales e interprovinciales y gracias la información proporcionada por el consorcio de transporte urbano se determinó que es el Hino modelo FGIJPUZ del año 2003. Las características mecánicas e información más detallada acerca de estos vehículos se encuentran en las fichas técnicas en el apartado de anexos.

2.4. Construcción y Calibración del modelo de micro-simulación en Aimsun 8.1

Para el apartado de la construcción de la red de micro-simulación en Aimsun, se tomó como datos de entrada la información primaria y la información secundaria levantada para el presente trabajo de investigación. A continuación, se detalle los pasos para llevar a cabo la construcción de la red vial.

2.4.1. Creación de la red

La creación de la red se lo realizó tomando como modelo base y referencia la topografía precisión del eje vial proporcionada por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Cuenca (GAD). De esta manera, se crean los arcos para que coincida con la geometría del eje, con las intersecciones y con los redondeles. La micro-simulación llevada a cabo en el software, toma en cuenta parámetros como el comportamiento de cada vehículo, anchos de carril, radios de giro, semáforos, señales de pare, pasos cebra, pendientes longitudinales y comportamientos de cada individuo que particularizan a la red.

A continuación, se aprecia en las siguientes figuras el trazado de la red de las intersecciones más representativas del viario en el software de micro-simulación en versión expert.

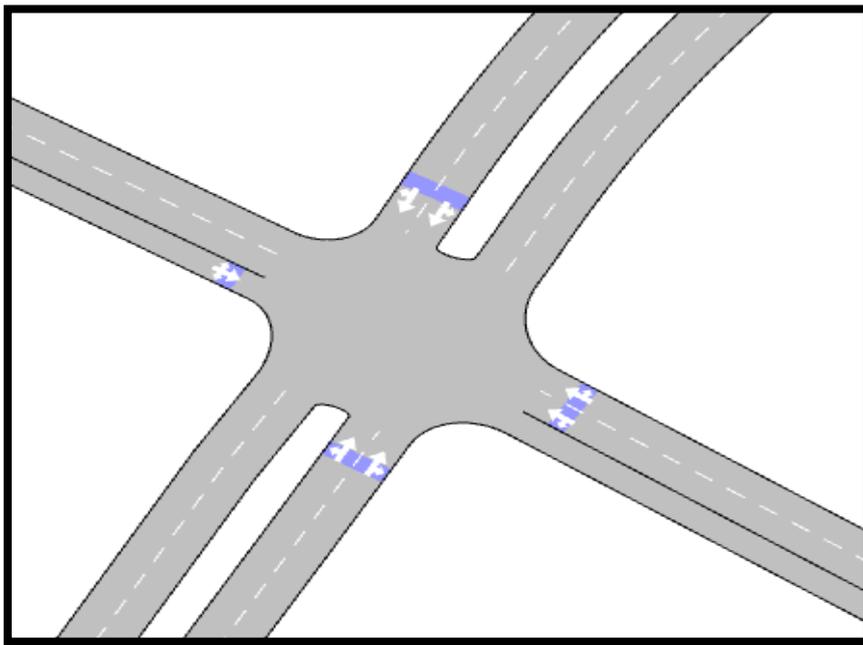


Figura 2.25. Av. Paseo de los Cañaris y Av. Viracochabamba.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

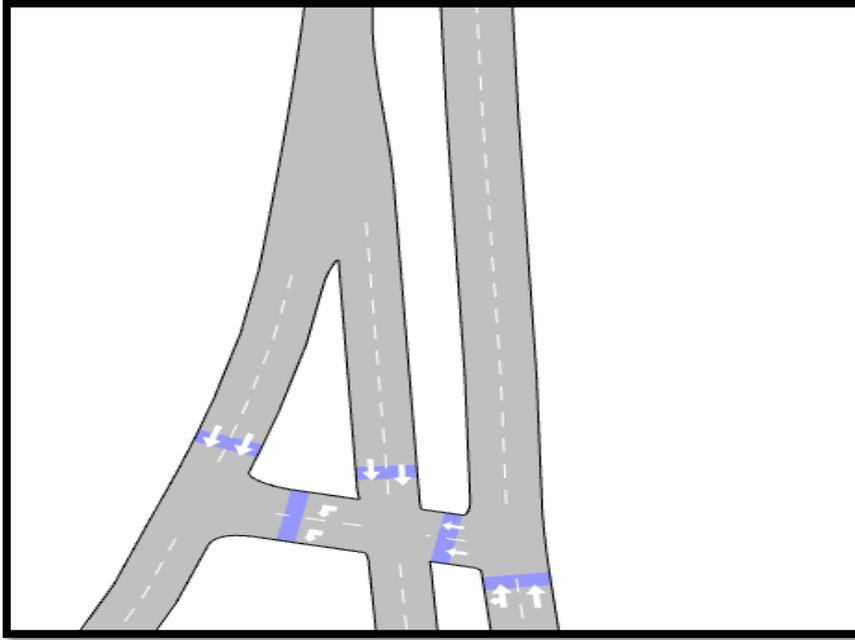


Figura 2.26. Av. Paseo de los Cañaris y Av. Max Uhle.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

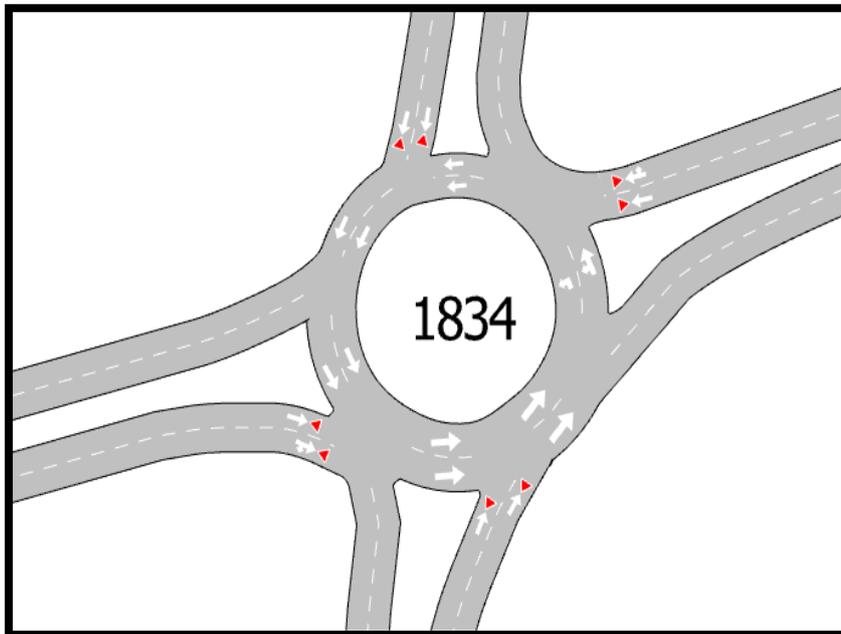


Figura 2.27. Redondel Av. Paseo de los Cañaris y González Suárez.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

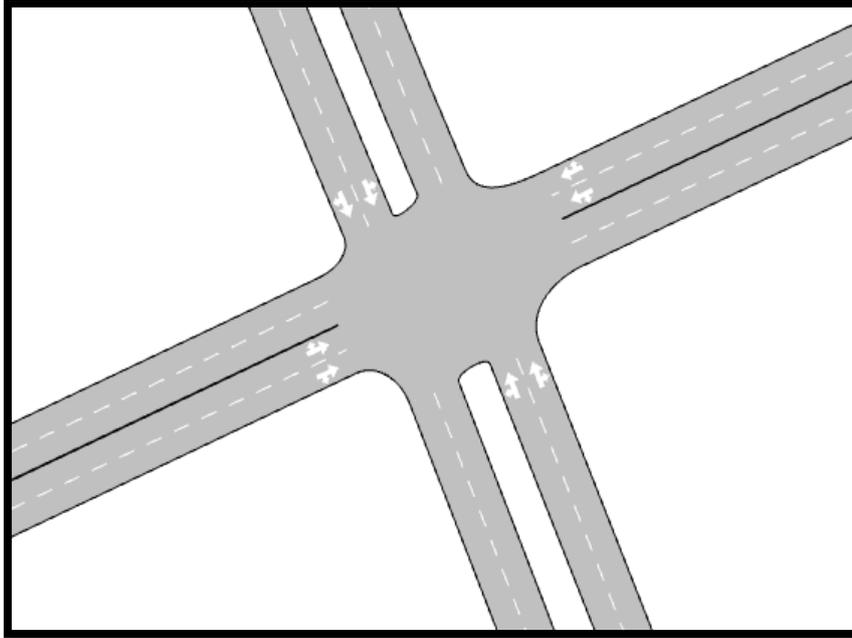


Figura 2.28. Av. Paseo de los Cañaris y Yana Urco.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

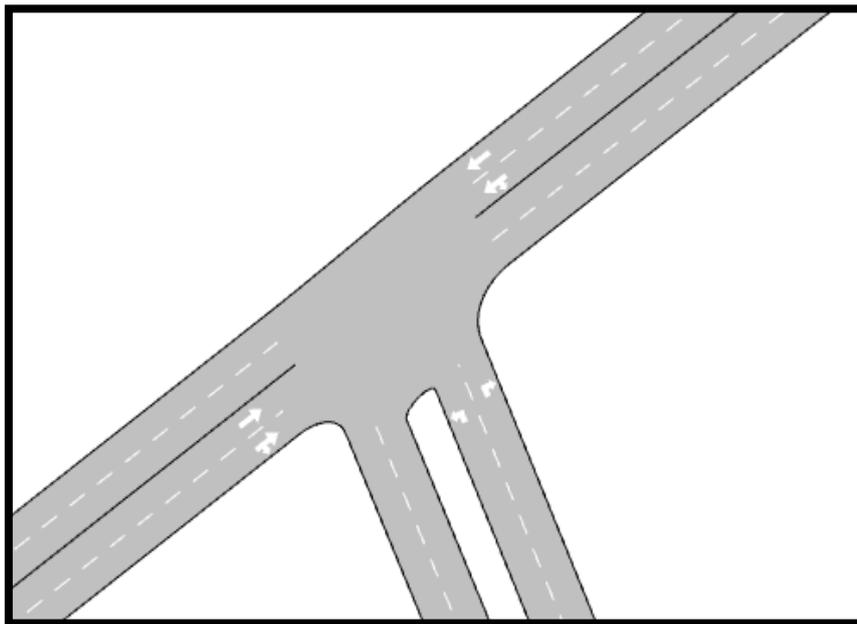


Figura 2.29. Av. Paseo de los Cañaris y Hurtado de Mendoza.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.4.2. Calibración del modelo de micro-simulación

Con la red vial ya creada y con los parámetros geométricos ya ingresados se procese a ingresar la información primaria levantada por intersecciones.

Parámetros como: aforos vehiculares clasificados, velocidades en los arcos, giros y centroides de inyección vehicular son los encargados de llevar a cabo una simulación dinámica del viario.

Con el fin de garantizar que la información primaria ingresada en el modelo de micro-simulación sea fiable y acertada se compara con un conjunto de datos reales a parte relacionados con los flujos vehiculares y velocidades de marcha en el viario.

Se analiza la calibración del modelo mediante 3 métodos detallados a continuación:

a) Gráficamente

Se muestra los resultados datos reales (flujos en hora de máxima demanda) en comparación a los resultados de los datos simulados indicando la similitud entre las dos condiciones.

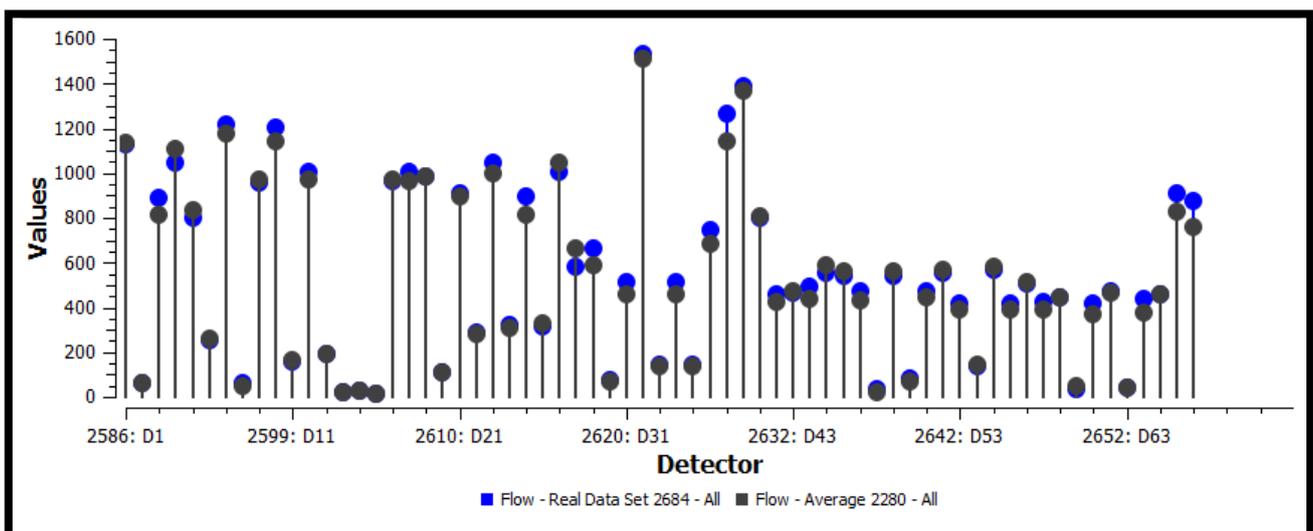


Figura 2.30. Comparativa gráfica entre datos reales y simulados del flujo.

Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

b) Regresión Lineal

Para que la regresión de tipo lineal garantice un ajuste de datos satisfactorio, el cuadrado del coeficiente de ajuste R tiene que ser superior a 0.95. Tal y como se aprecia en la figura 2.31. el cuadrado del coeficiente de ajuste es igual a 0.990, demostrando que, los datos están bien ajustados.

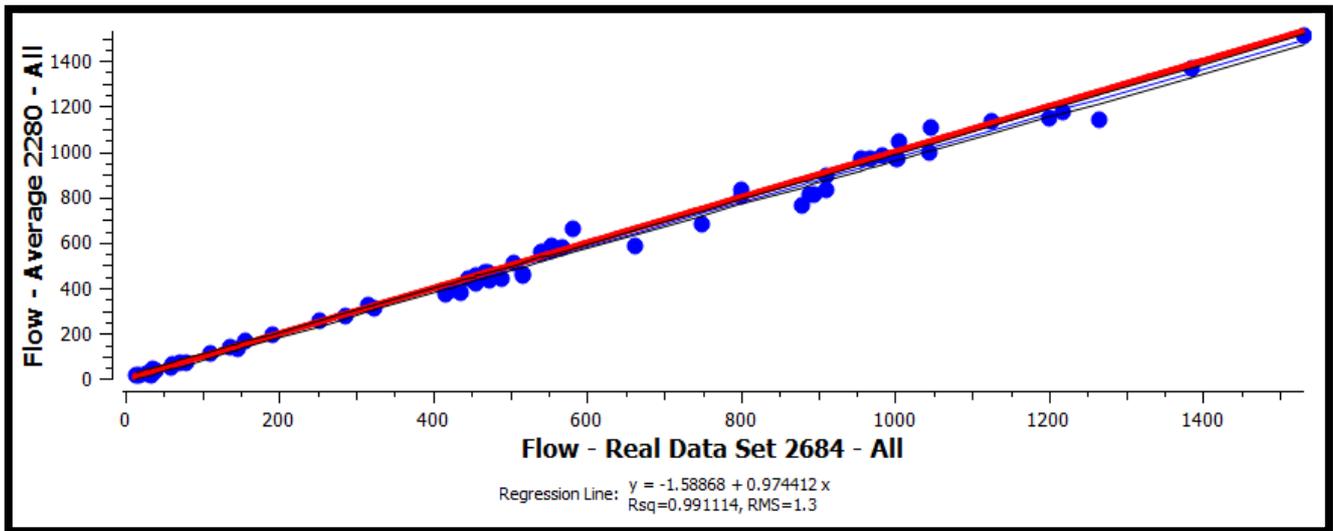


Figura 2.31. Av. Regresión lineal de datos reales y simulados del flujo.
 Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

c) Estadísticamente

Mediante el método estadístico GEH explicado en el apartado 1.16.1., se procede a comparar el conjunto de datos arrojados por la simulación con los datos reales. La herramienta de micro-simulación calcula de manera automática la diferencias absoluta y relativa para cada valor del muestreo.

La tabla 2.70. corrobora que la media del resultado del índice de la estadística GEH se encuentra dentro del rango adecuado, por lo que, se corrobora que el modelo esta correctamente calibrado y se asemeja a las condiciones operacionales del presente caso de estudio.

Tabla 2.70. Estadística GEH entre flujos simulados y flujos reales.

Objeto	Flujo - Conjunto de Datos promedio	Flujo - Promedio	Diferencia Absoluta	GEH
2656: D67	878	760,6	-117,4	4,10154
2655: D66	910	830,6	-79,4	2,69145
2654: D65	455	457,2	2,2	0,103013
2653: D64	435	379	-56	2,77582
2652: D63	39	40,4	1,4	0,222194
2651: D62	472	465,8	-6,2	0,28632
2650: D61	417	370	-47	2,36933

2649: D60	36	45,6	9,6	1,50294
2648: D59	446	441,6	-4,4	0,208862
2647: D58	426	31,6	-34,4	1,70139
2646: D57	505	513	8	0,354591
2645: D56	417	387,6	-29,4	1,46579
2644: D55	567	577,8	10,8	0,451413
2643: D54	136	142,2	6,2	0,525688
2642: D53	417	387	-30	1,49626
2641: D52	554	567	13	0,549105
2640: D51	472	443,2	-28,8	1,34632
2639: D50	79	71	-8	0,92376
2638: D49	542	559,8	17,8	0,758374
2637: D48	34	17,4	-16,6	3,27447
2636: D47	473	432,8	-40,2	1,88897
2635: D46	541	560,8	19,8	0,843585
2634: D45	553	586	33	1,38282
2633: D44	489	440,2	-48,8	2,26402
2632: D43	467	471,8	4,8	0,221549
2629: D40	456	422	-34	1,62273
2628: D39	800	804,4	4,4	0,15535
2627: D38	1385	1368,6	-16,4	0,441986
2626: D37	1265	1141,6	-123,4	3,55736
2625: D36	748	683,6	-64,4	2,40708
2624: D35	146	134,4	-11,6	0,979679
2623: D34	516	456,6	-59,4	2,69361
2622: D33	146	133,4	-12,6	1,06604
2621: D32	1531	1511	-20	0,512821
2620: D31	516	461,2	-54,8	2,47916
2619: D29	72	69,6	-2,4	0,28523
2618: D28	662	586,6	-75,4	3,01769
2617: D30	581	661,8	80,8	3,24135
2616: D27	1006	1047,2	41,2	1,28587
2615: D26	315	328,4	13,4	0,747101
2614: D25	894	812,6	-81,4	2,78659
2613: D24	324	309,2	-14,8	0,831776
2612: D23	1044	996,8	-47,2	1,4776
2611: D22	286	280,4	-5,6	0,332768
2610: D21	910	896,6	-13,4	0,44585
2609: D20	110	110,8	0,8	0,0761387
2608: D19	938	983,4	0,4	0,0127567
2607: D17	1003	966,4	-36,6	1,16635
2606: D14	967	968,2	1,2	0,0385774
2605: D18	14	14,8	0,8	0,210819

2603: D16	28	25	-3	0,582772
2602: D15	18	18,6	0,6	0,140257
2601: D13	192	193,4	1,4	0,100853
2600: D12	1002	972,6	-29,4	0,93567
2599: D11	157	166	9	0,708201
2598: D10	1201	1145,2	-55,8	1,62917
2597: D9	955	969,4	14,4	0,464226
2596: D8	59	49,2	-9,8	1,33238
2595: D7	1218	1174,8	-43,2	1,24895
2594: D6	252	256,6	4,6	0,288459
2593: D5	800	834	34	1,18951
2592: D4	1046	1104,8	58,8	1,79305
2588: D2	889	811,6	-77,4	2,65433
2587: D3	62	63,8	1,8	0,226959
2586: D1	1125	1133,6	8,6	0,255914
Media	560,677	544,742	-15,9354	1,2142

Fuente: Autores a partir de Aimsun.

Par finalizar, los resultados de los diferentes procesos analíticos de validación realizados previamente entre datos simulados y datos levantados en campo reflejan condiciones operacionales del viario ajustados a la realidad. Por lo que, se garantiza también que las emisiones vehiculares son acertadas debido a la estrecha relación que existe entre la velocidad de los vehículos y las emisiones generadas.

2.4.3. Características mecánicas de los vehículos tipo en Aimsun 8.1

La herramienta incorporada en el software Aimsun 8.1 basada en un modelo, el cual, se encuentra explicado en el apartado 1.14. para el cálculo de las emisiones ambientales, requiere de información acerca de la composición del parque automotor en la ciudad y todo lo referente a sus características mecánicas.

La siguiente tabla se muestra de manera resumida y detallada los porcentajes de cada tipo de combustible para cada grupo de vehículos según la información descrita en el apartado 2.3.2.

Tabla 2.71. *Porcentaje de combustible según los grupos de vehículos.*

Tipo de Vehículo	Gasolina	%	Diésel	%	Total
Livianos	120 878	94,64%	6 849	5,36%	127 727
Buses	0	0,00%	2 304	100,00%	2 304
Pesados	200	2,84%	6 843	97,16%	7 043
2 ruedas	10 410	100,00%	0	0,00%	10 410
Totales	131 488	89,15%	15 996	10,85%	147 484

Fuente: *Estimación de la contaminación del aire generada por el efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. 10 de agosto de la ciudad de Cuenca – Ecuador, usando la herramienta de micro simulación de tránsito Aimsun 8.1 (Moyano, 2017).*

Para el ingreso de las características del vehículo tipo, es necesario que el modelo de micro simulación este calibrado y validado. A continuación, se describe una serie de pasos para llevar a características cabo la configuración del vehículo característico en el software de micro simulación.

1. Ingresar a la opción de vehículos.
2. Seleccionar el tipo de vehículo.
3. Reemplazar características mecánicas (dimensiones, peso, potencia, tipo de combustible, etc.)

Las imágenes a continuación muestran el proceso para el ingreso de las características mecánicas del vehículo tipo descritas anteriormente. En el apartado de anexos se encuentra a ficha técnica para mayor detalle.

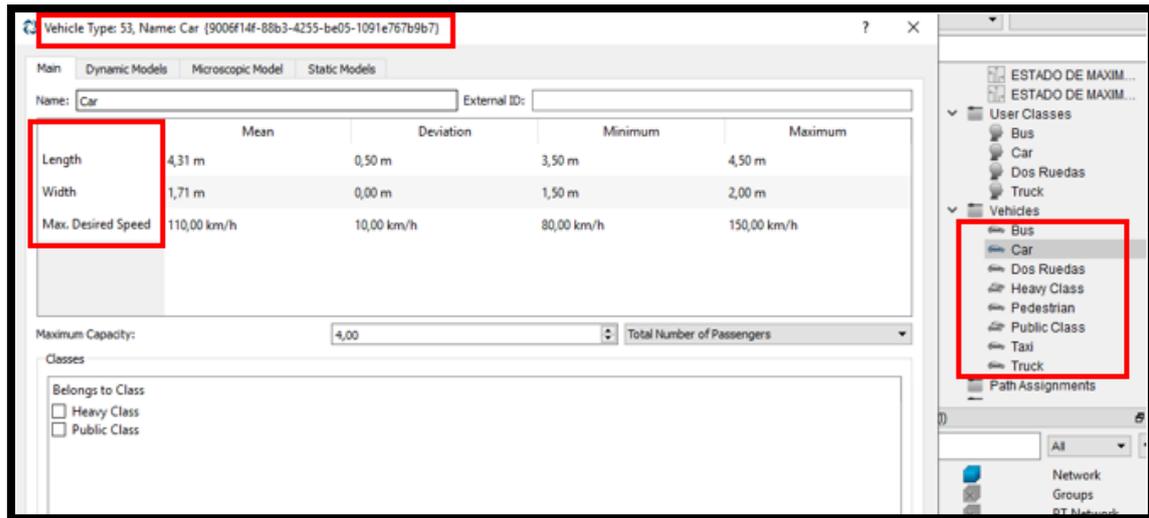


Figura 2.32. Características de dimensiones del vehículo tipo.

Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

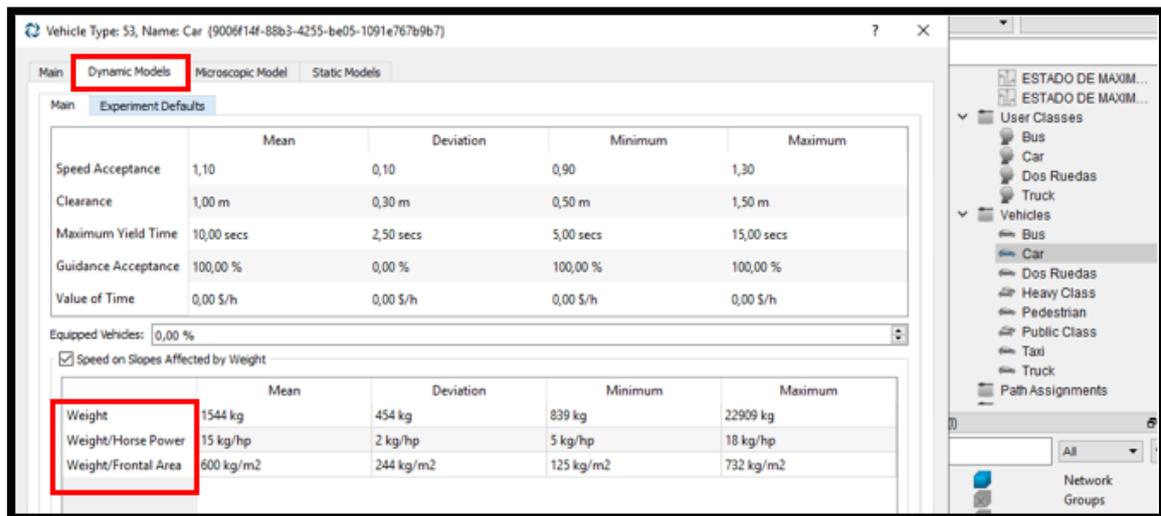


Figura 2.33. Características de peso del vehículo tipo.

Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

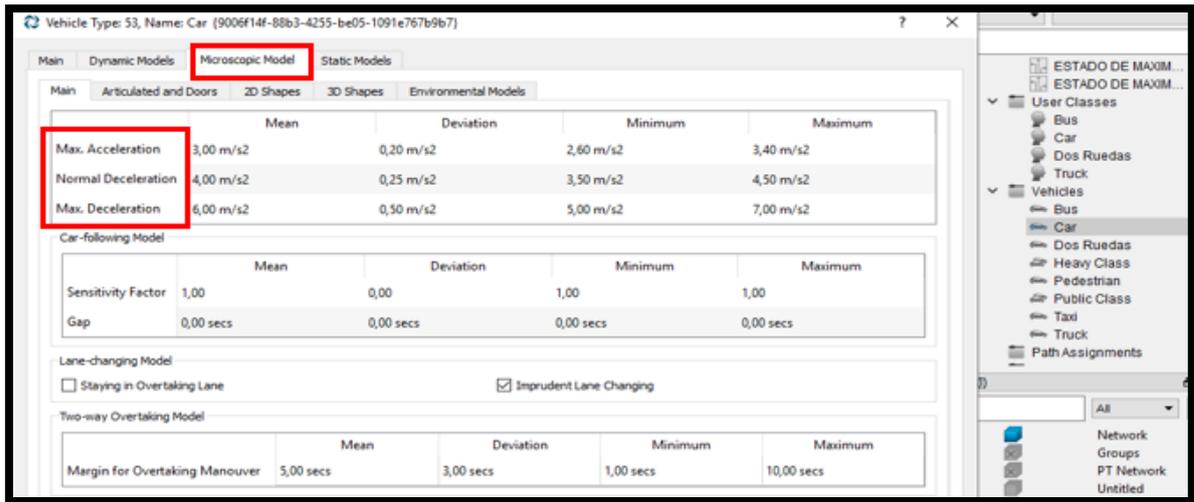
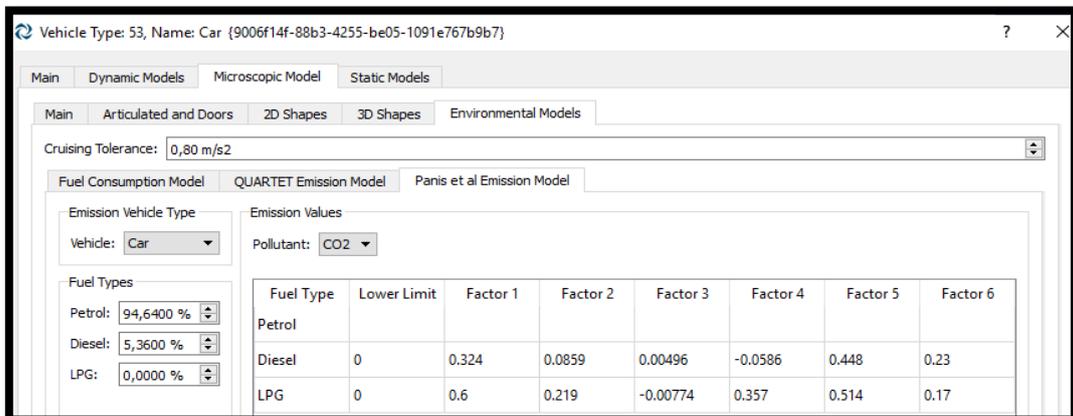
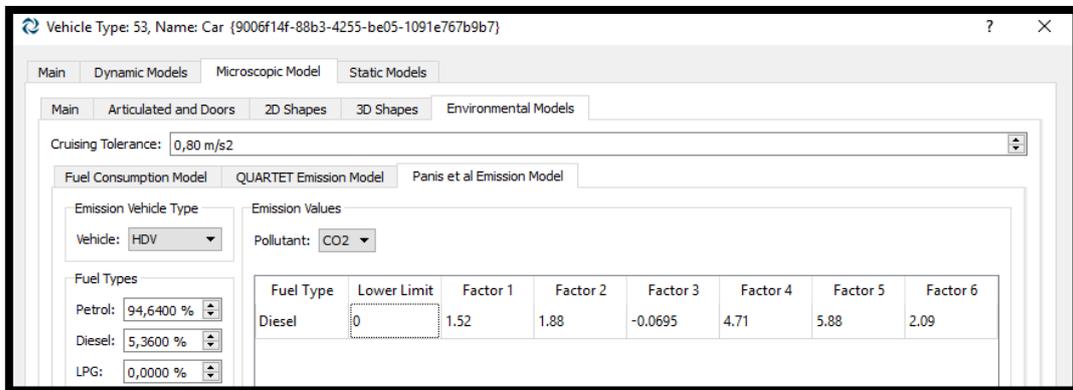


Figura 2.34. Av. Características mecánicas vehículo tipo.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5. Parámetros operacionales de las intersecciones de estudio

Según lo establecido en la tabla 2.58. se ingresa los tipos de vehículos disponibles para las micro simulaciones y el porcentaje de combustible que usan, tal y como, se detalla en la figura 2.35.



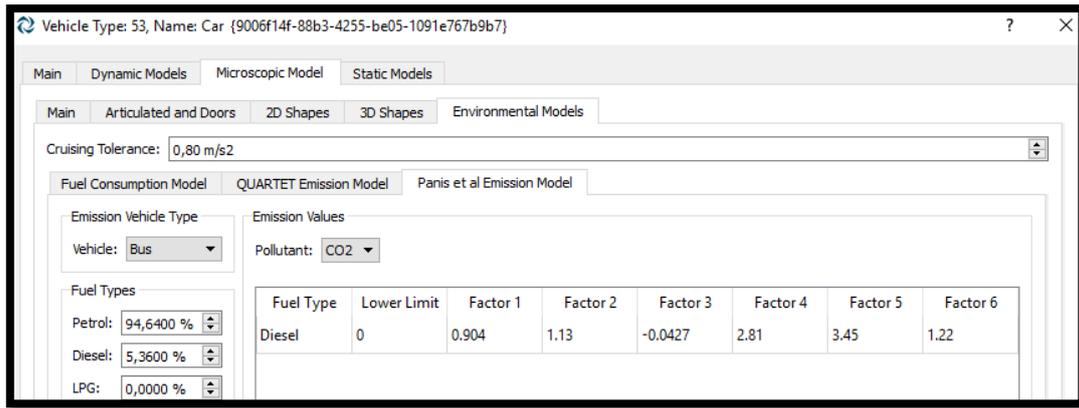


Figura 2.35. Tipo de combustible para cada grupo de vehículo.

Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

Se muestra a continuación los resultados obtenidos en cada intersección analizada a partir del modelo de micro simulación. Los parámetros operacionales más destacados del viario son:

- Nivel de servicio
- Velocidad simulada
- Flujo simulado
- Demoras simuladas
- Emisiones de CO₂, NO_x, VOC, y MP

Para una representación gráfica más sencilla y adecuada, se optó por utilizar códigos de colores, los cuales, muestren los rangos de cada uno de los parámetros operacionales antes mencionados para una mejor noción sobre el estado de las intersecciones.

Cada parámetro operacional del viario con su respectivo rango obedece a distintas normativas detalladas a continuación. Los niveles de servicio y las demoras bajo los criterios del HCM 2000. La velocidad en cada acceso según la Ley Orgánica de Transporte Terrestre y Seguridad Vial y finalmente, para el caso de las emisiones, se utilizó un criterio de porcentajes, 25%, 50%, 75% y 100% del total de la emisión.

2.5.1. Intersección 1: Av. Paseo de los Cañaris y Pachacamac

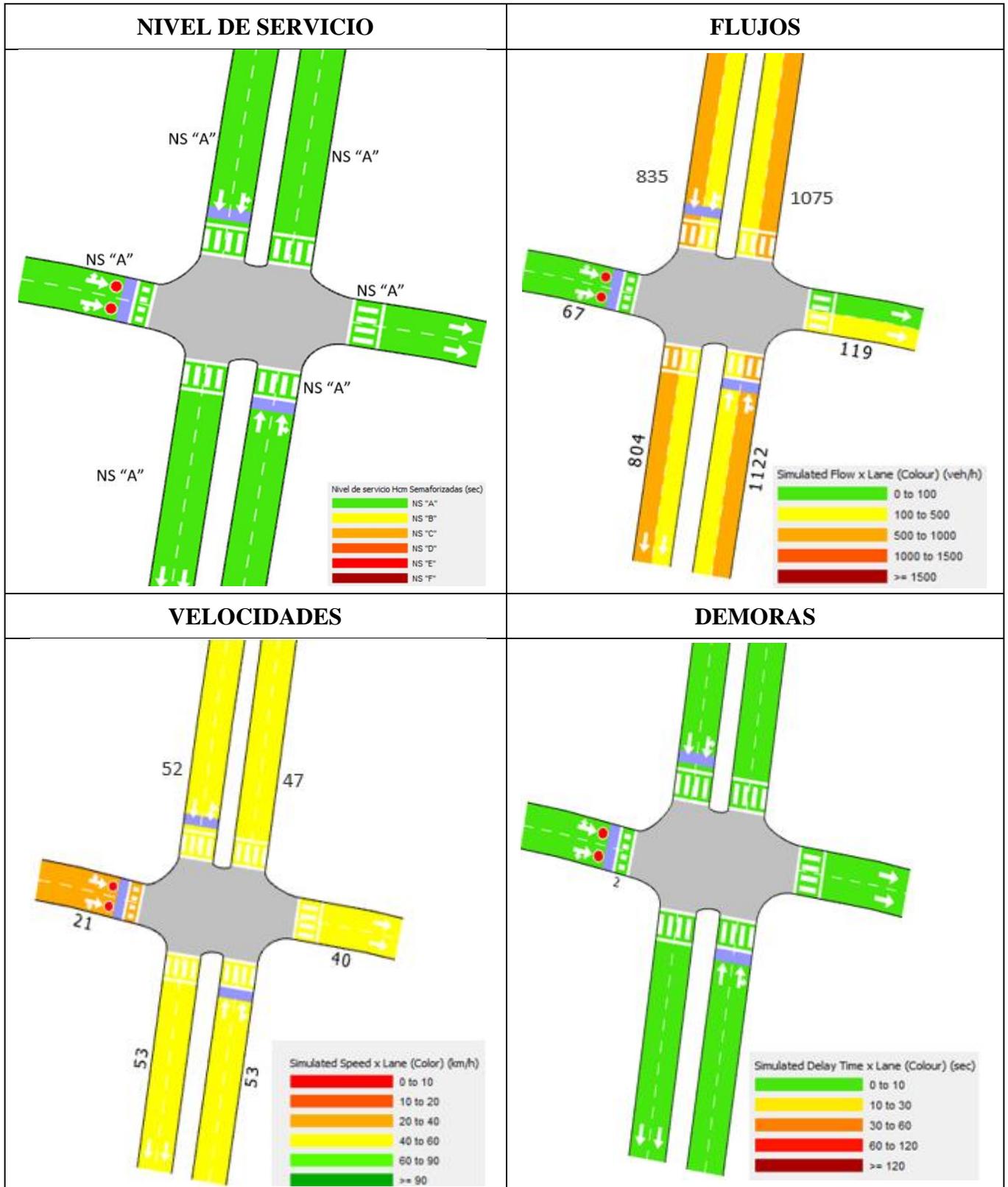


Figura 2.36. Parámetros operacionales intersección 1.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

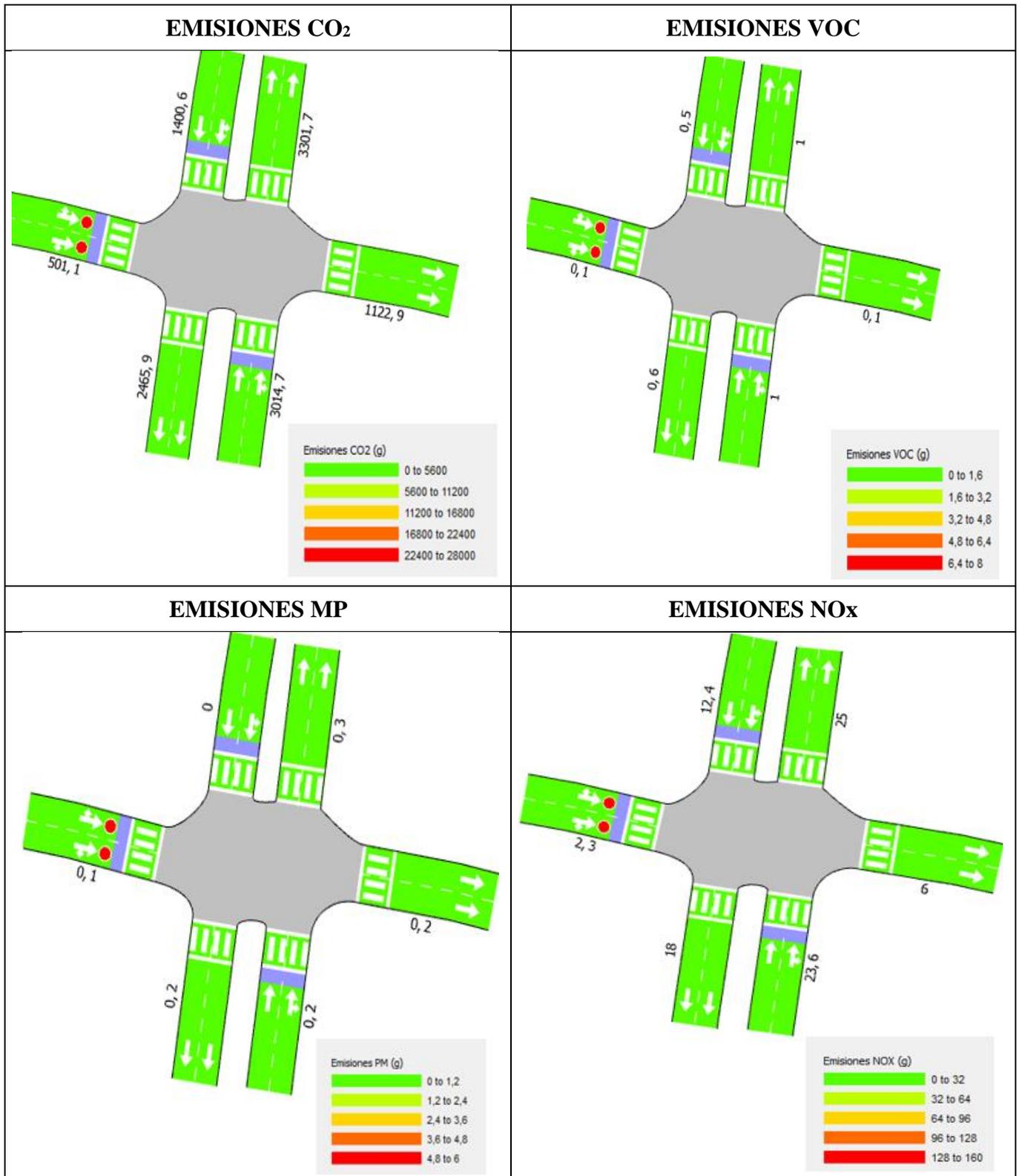


Figura 2.37. Emisiones contaminantes intersección 1.
 Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.2. Intersección 2: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Duma

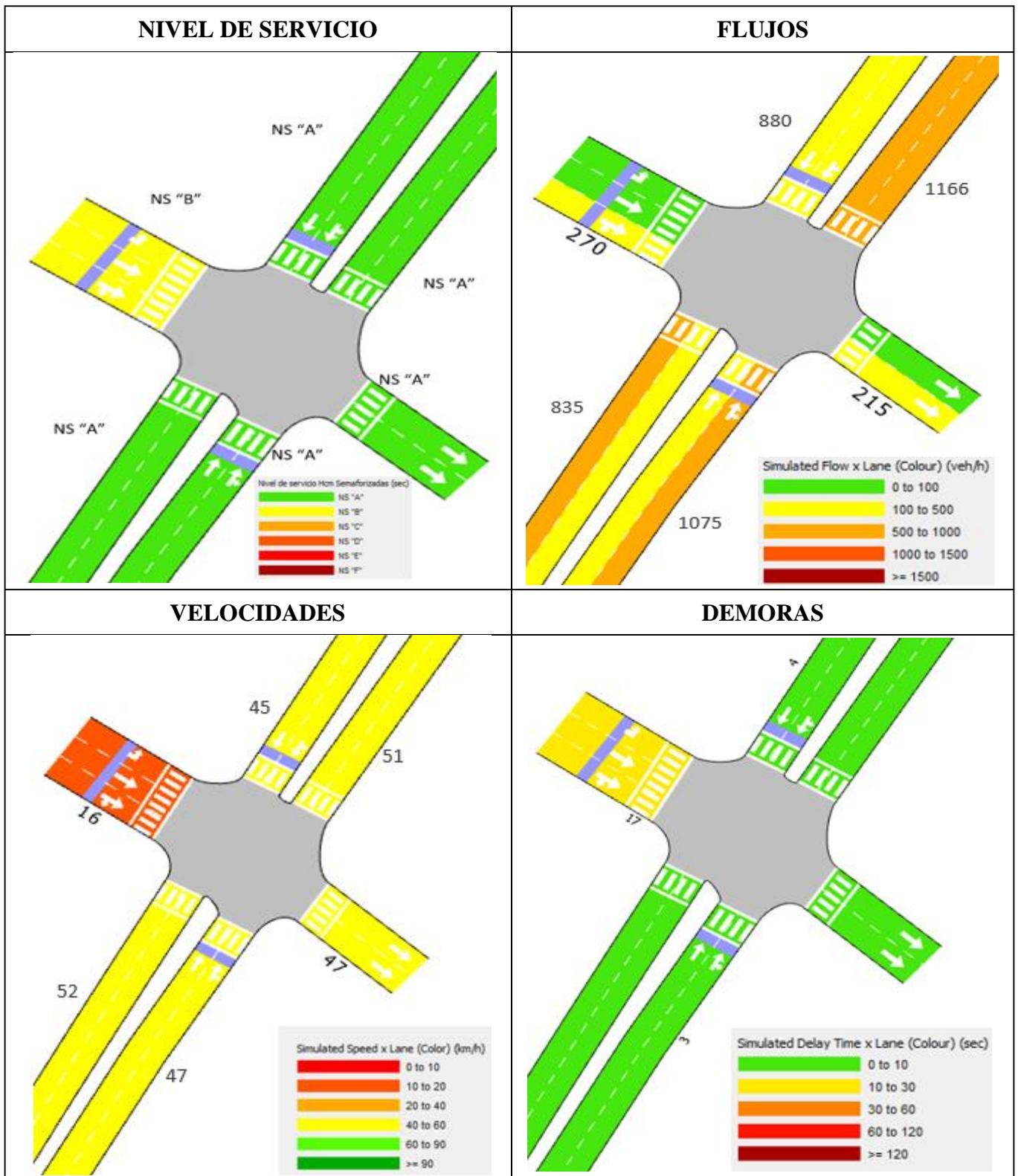


Figura 2.38. Parámetros operacionales intersección 2.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

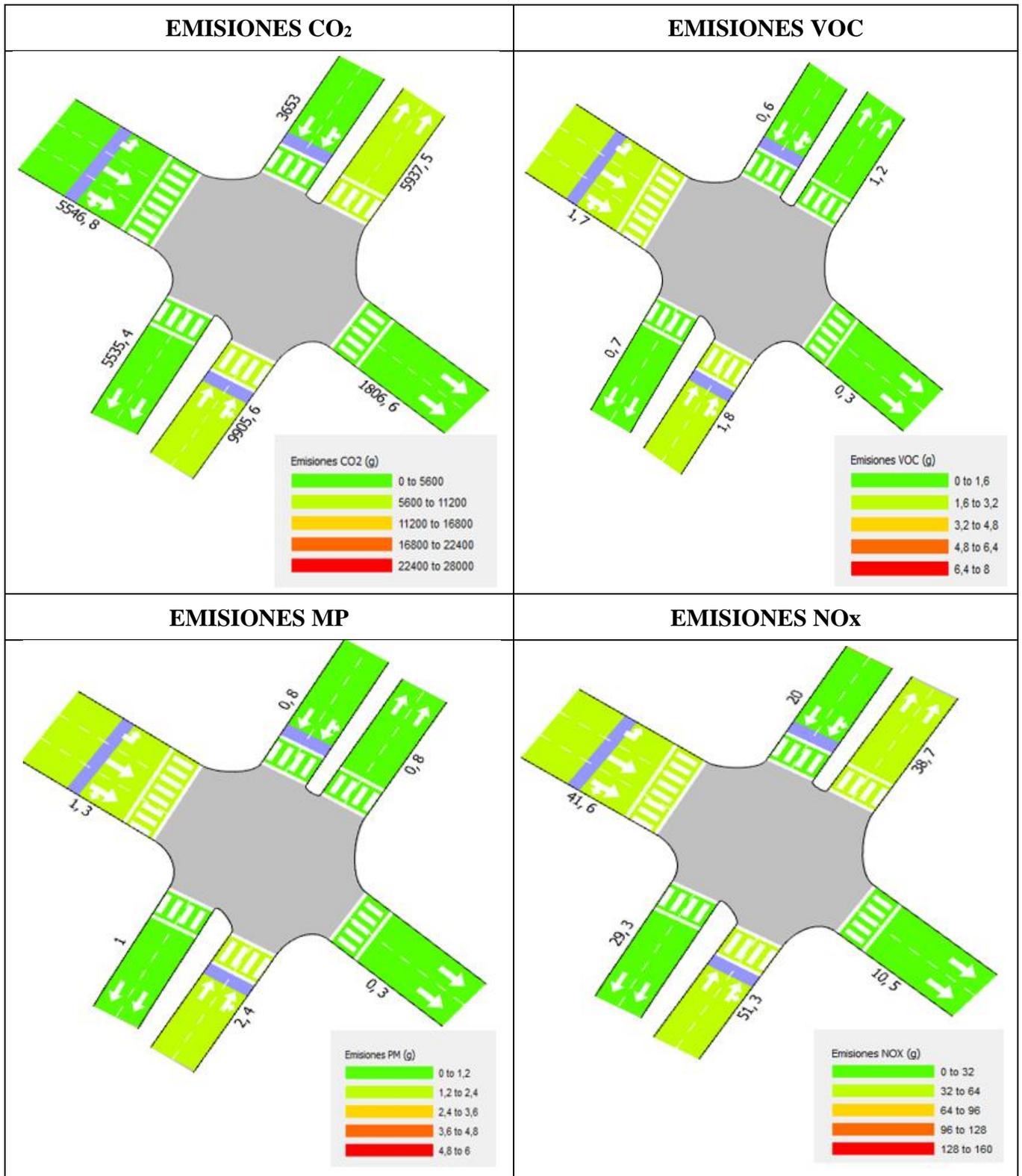


Figura 2.39. Emisiones contaminantes intersección 2.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.3. Intersección 3: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chaparra

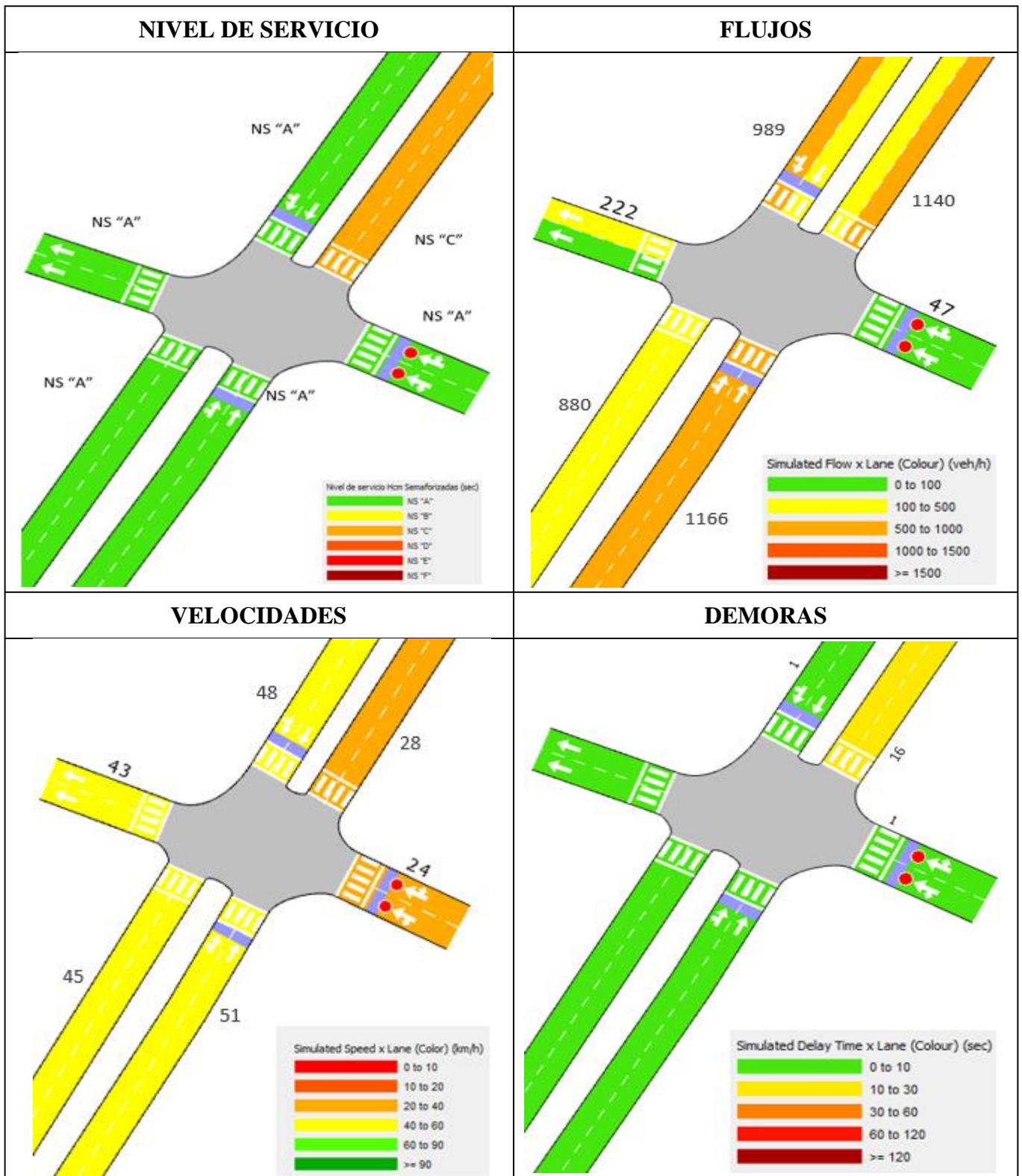


Figura 2.40. Parámetros operacionales intersección 3.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

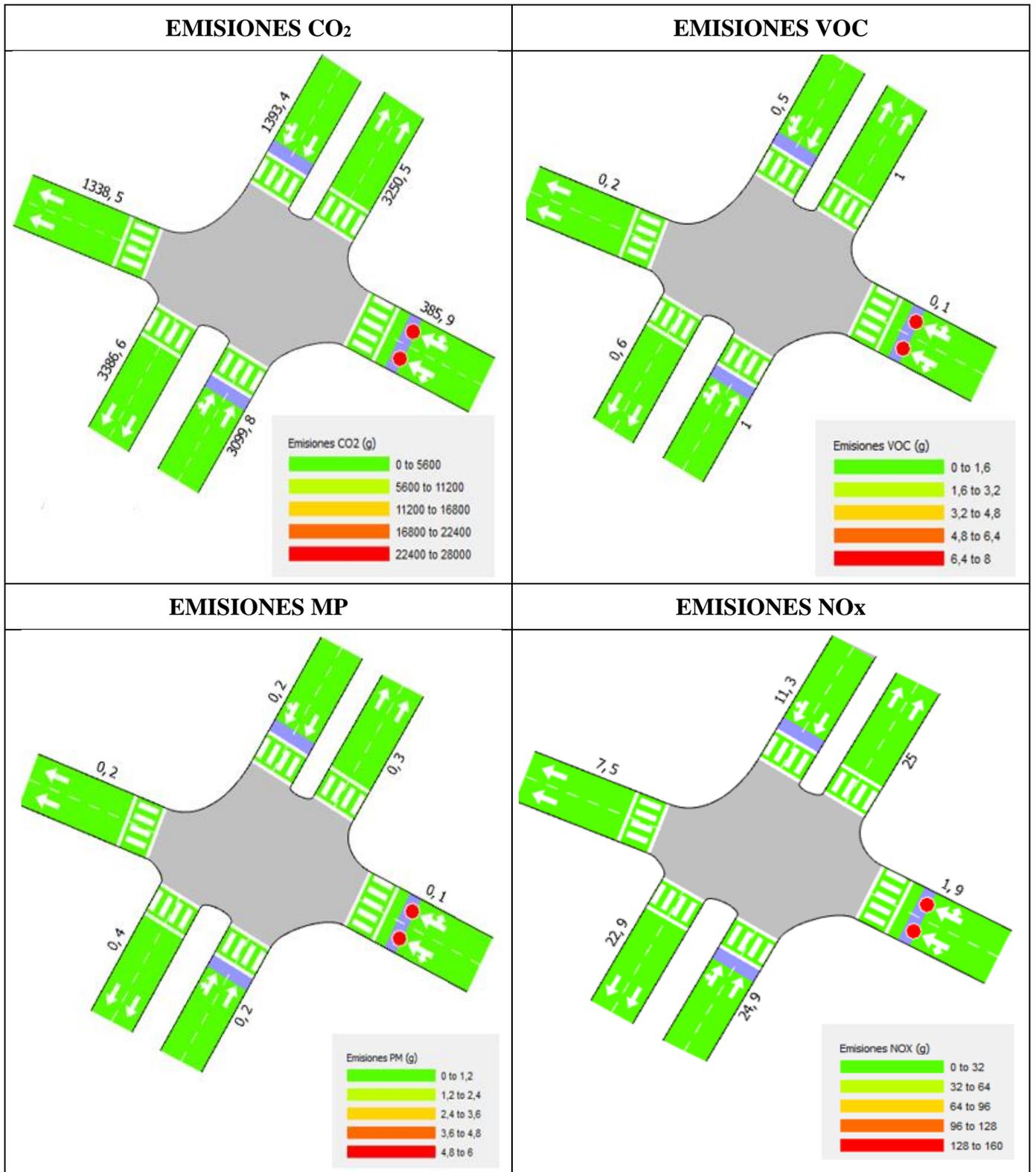


Figura 2.41. Emisiones contaminantes intersección 3.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.4. Intersección 4: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Viracochabamba

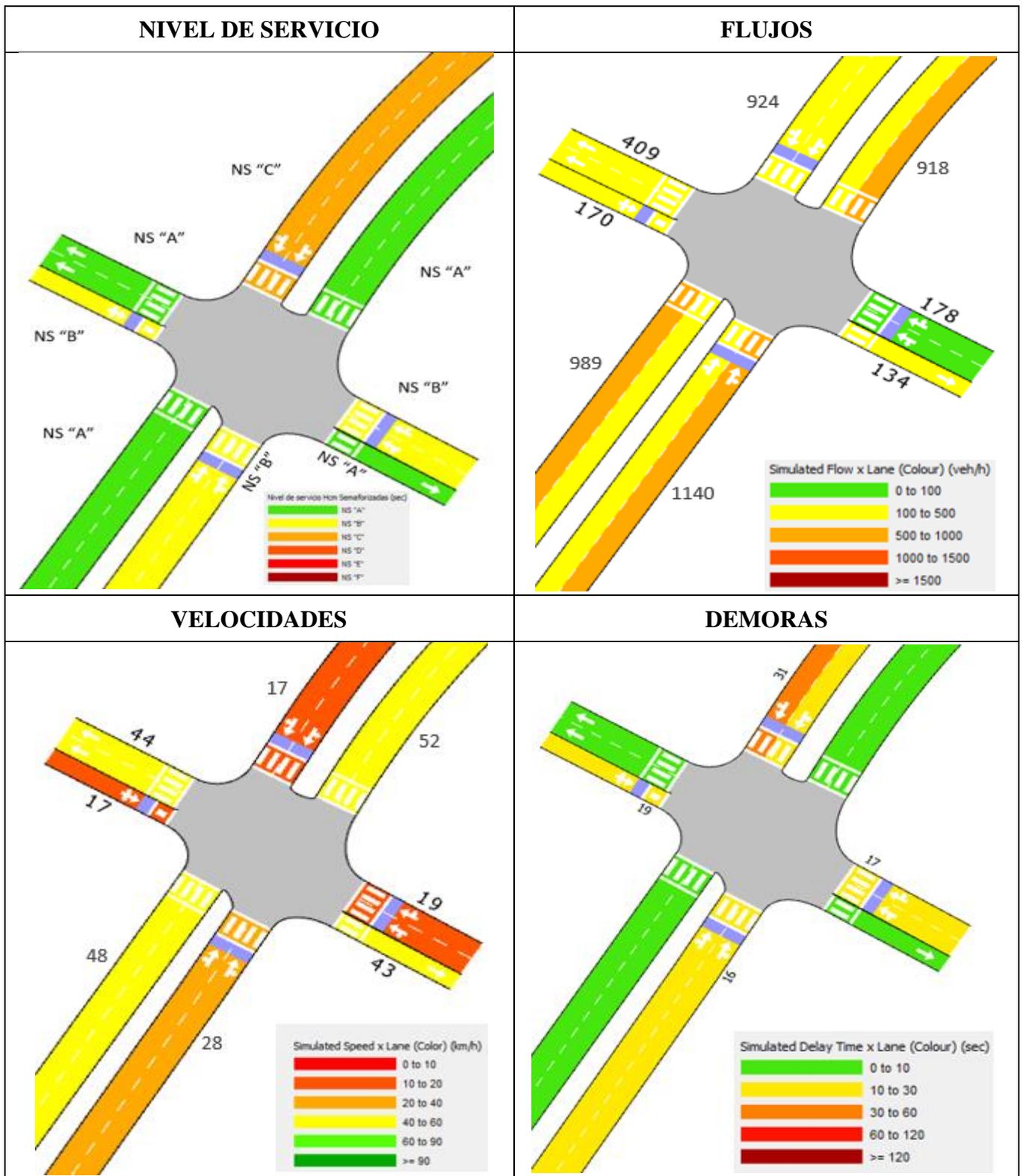


Figura 2.42. Parámetros operacionales intersección 4.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

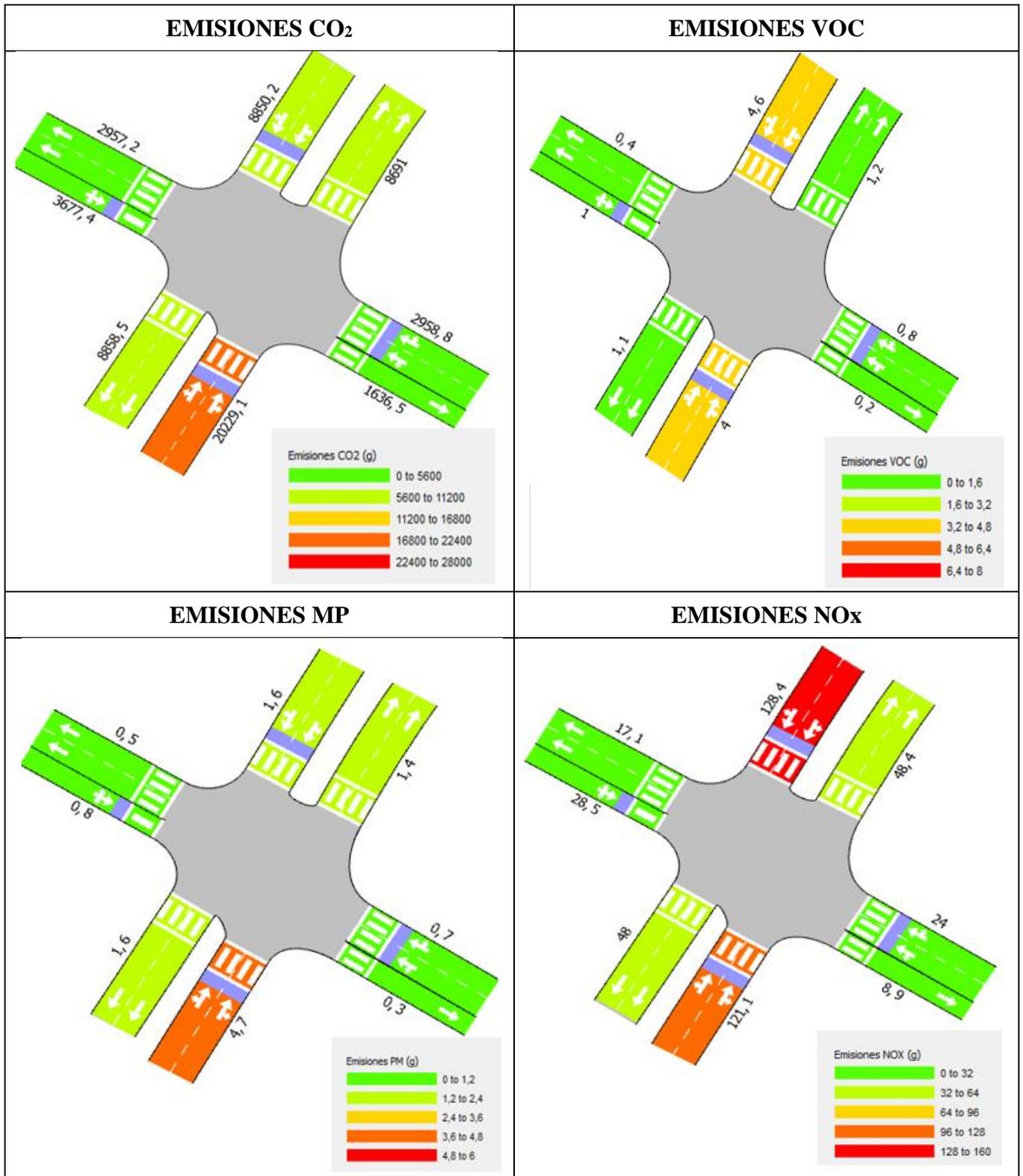


Figura 2.43. Emisiones contaminantes intersección 4.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.5. Intersección 5: Av. Paseo de los Cañaris y El Observador

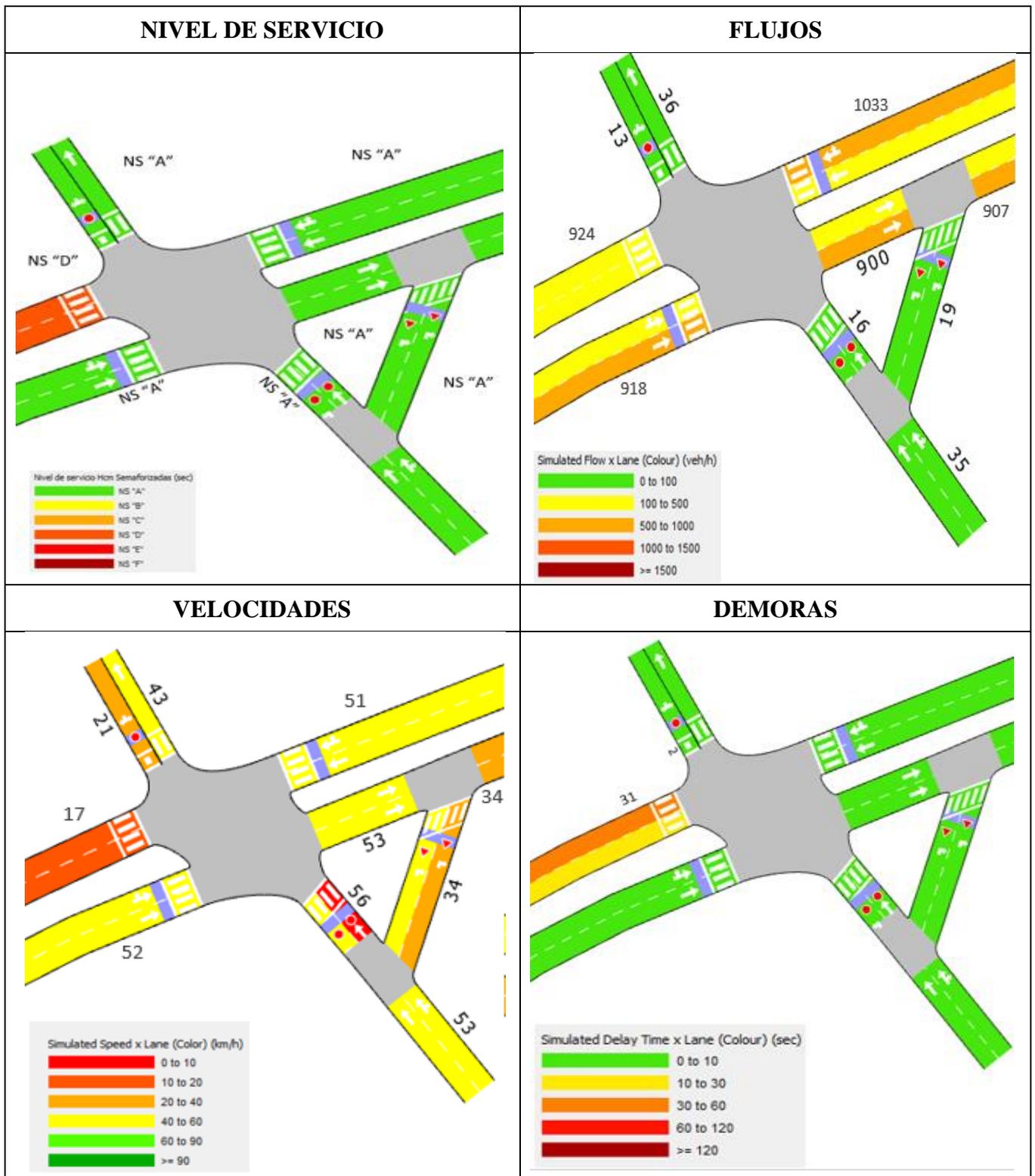


Figura 2.44. Parámetros operacionales intersección 5.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

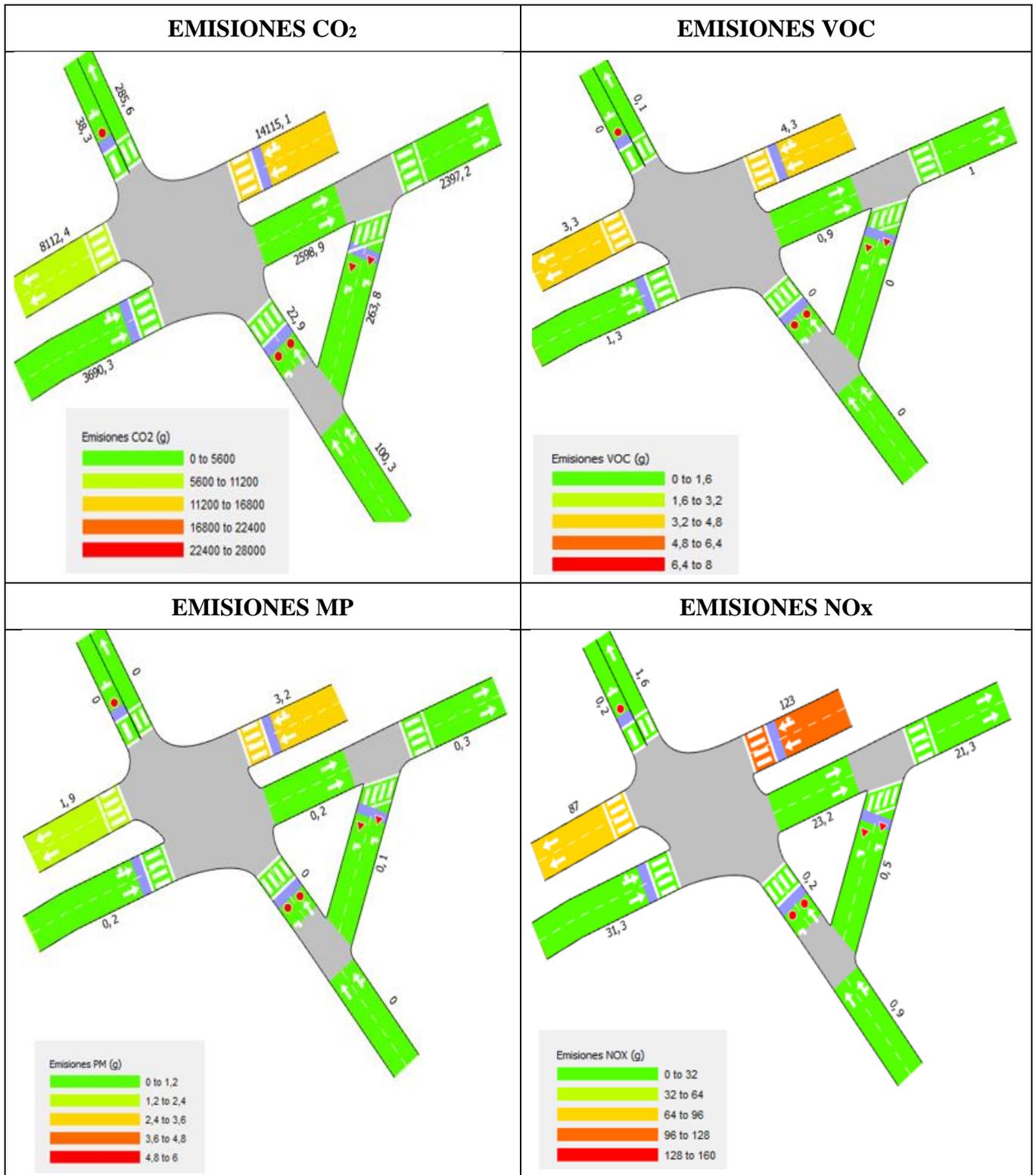


Figura 2.45. Emisiones contaminantes intersección 5.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.6. Intersección 6: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chamba y J. Carrera Andrade

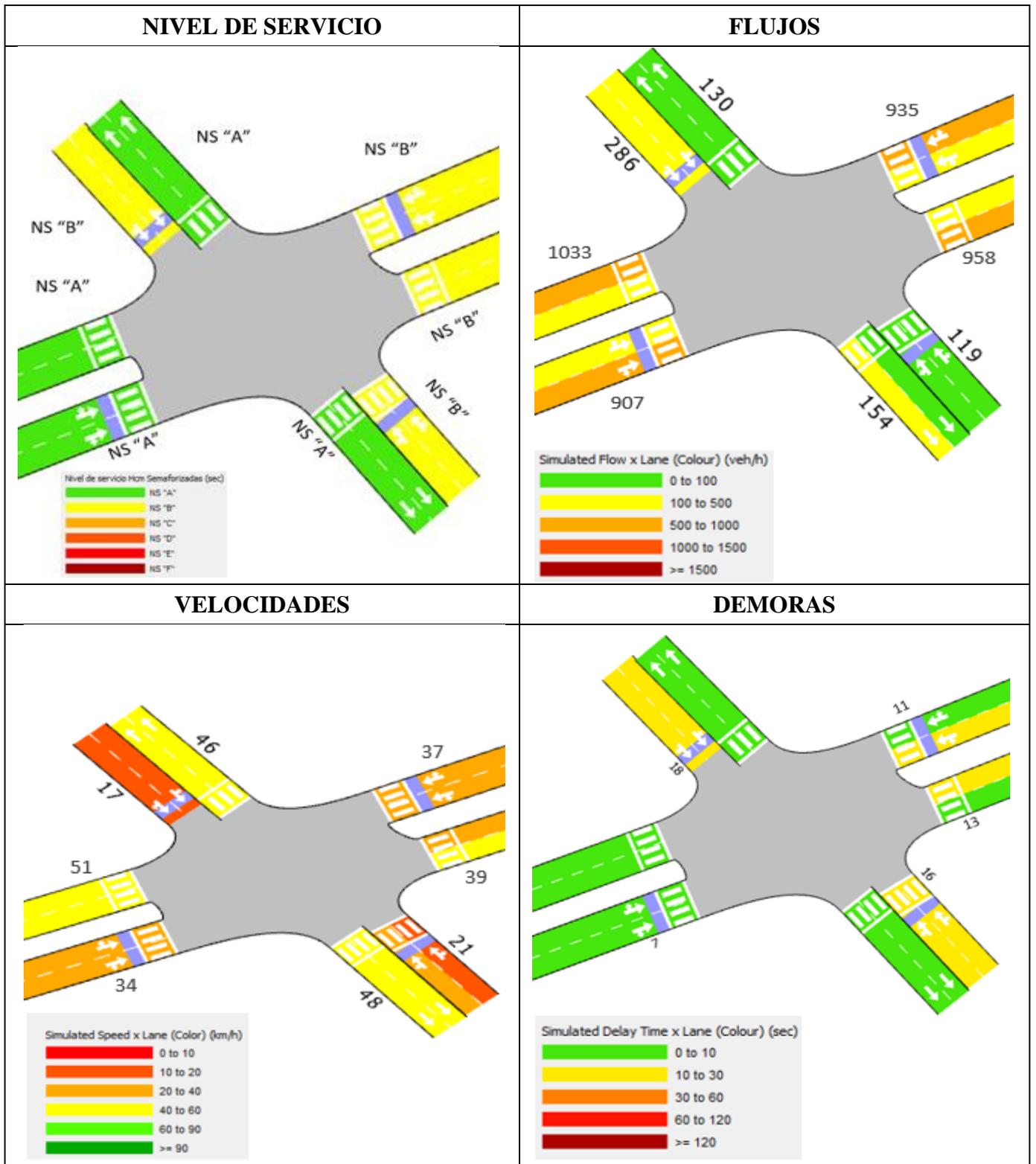


Figura 2.46. Parámetros operacionales intersección 6.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

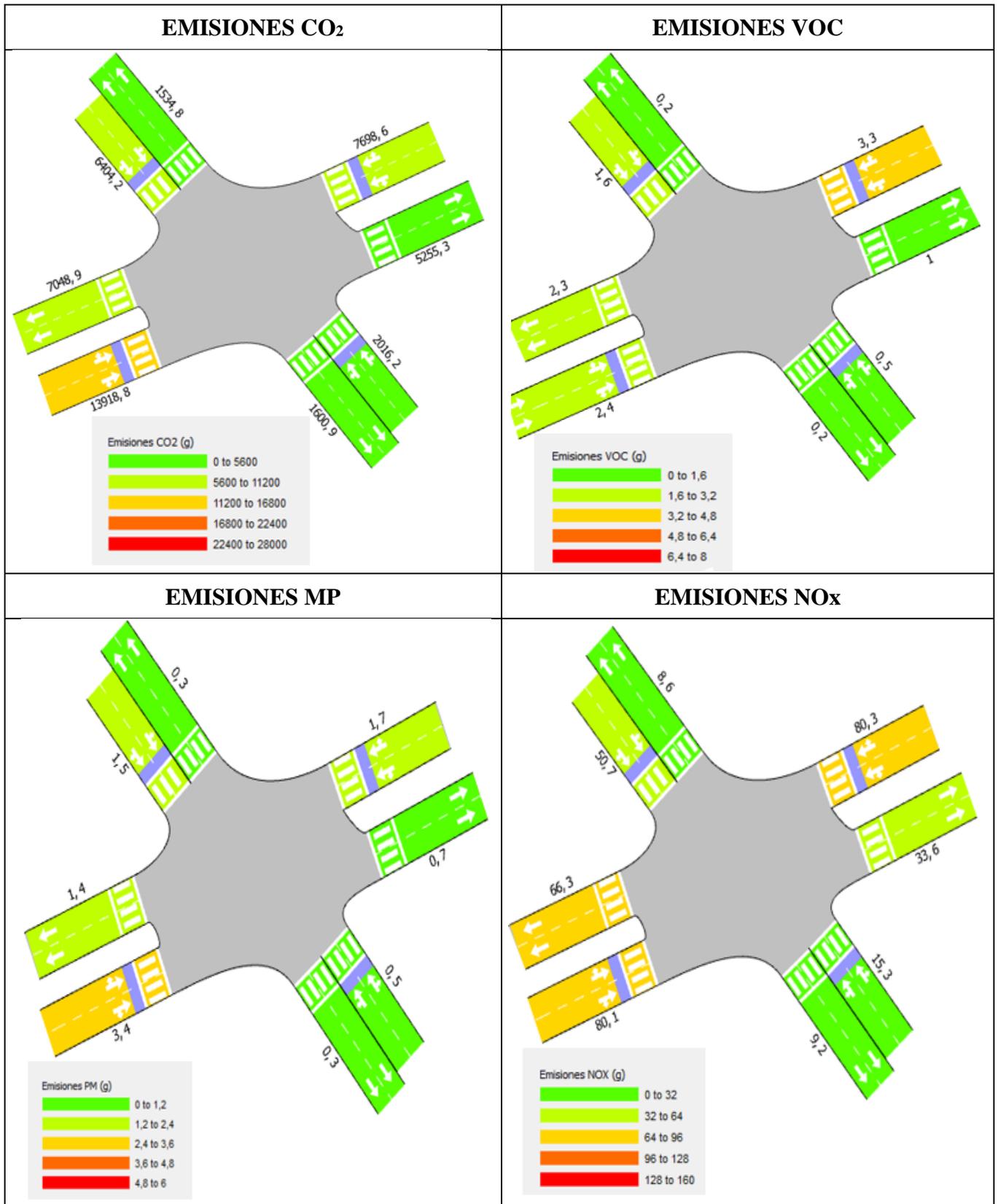


Figura 2.47. Emisiones contaminantes intersección 6.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.7. Intersección 7: Av. Paseo de los Cañaris y Camilo Ponce y Juan José Flores

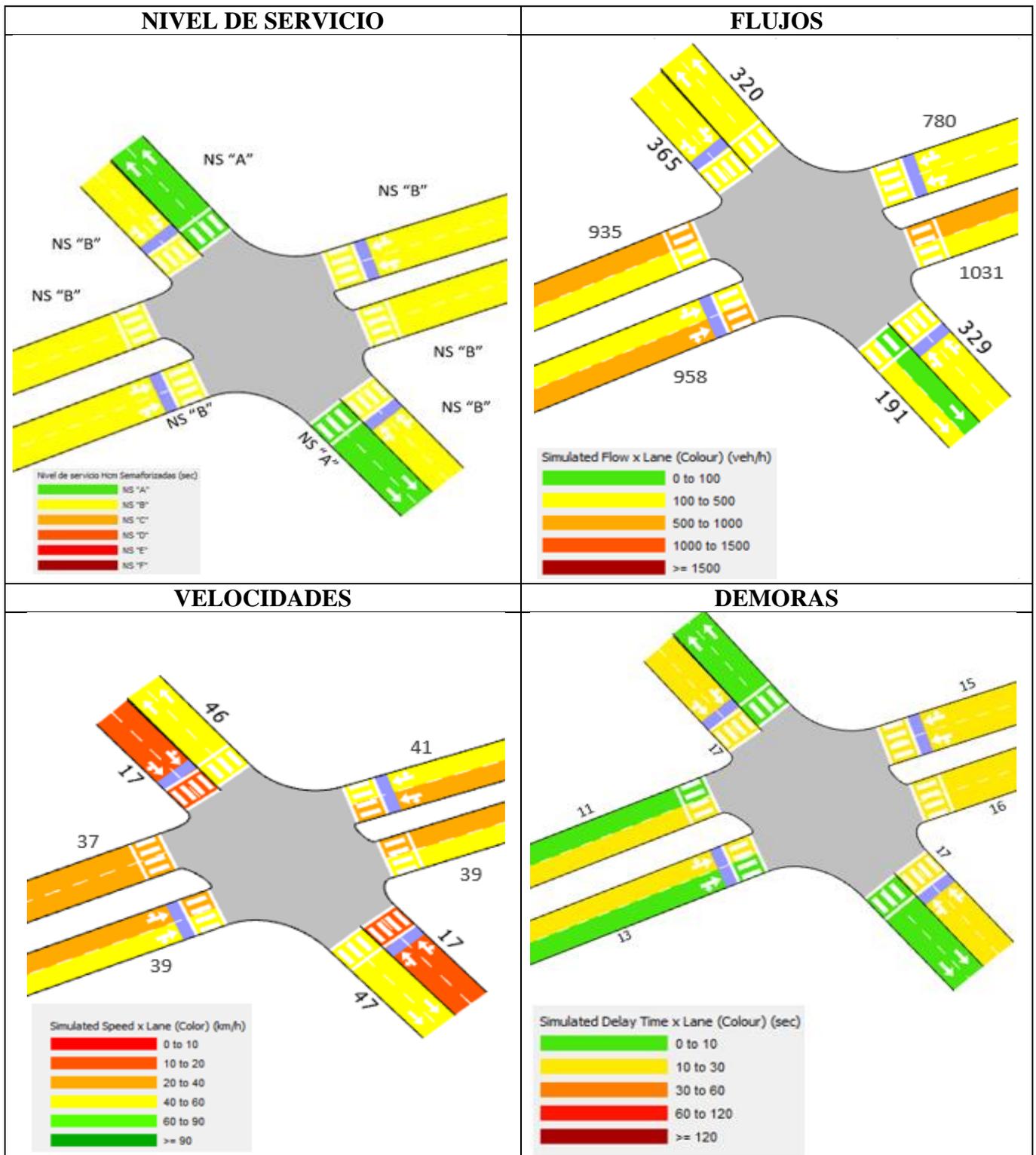


Figura 2.48. Parámetros operacionales intersección 7.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

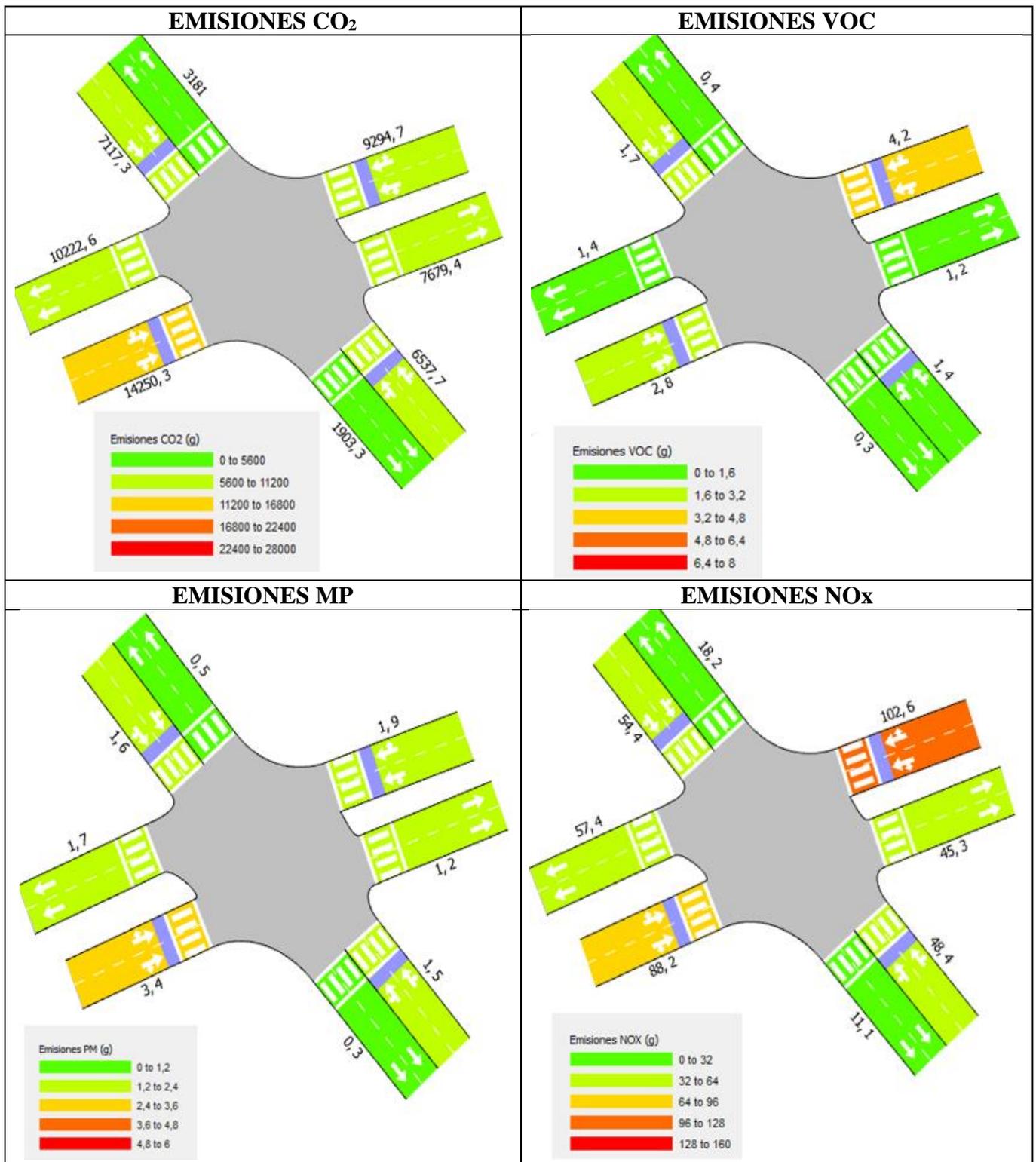
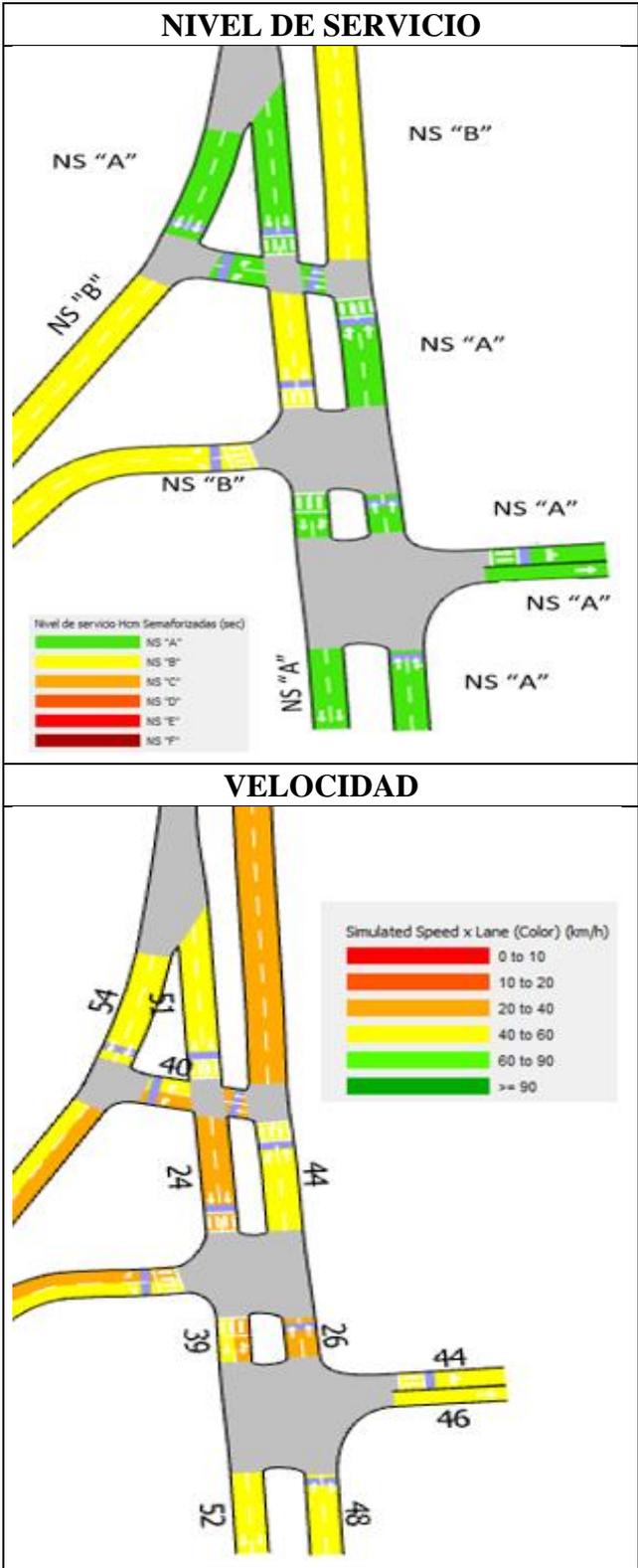


Figura 2.49. Emisiones contaminantes intersección 7.
 Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.8. Intersección 8: Av. Paseo de los Cañaris y Max Uhle



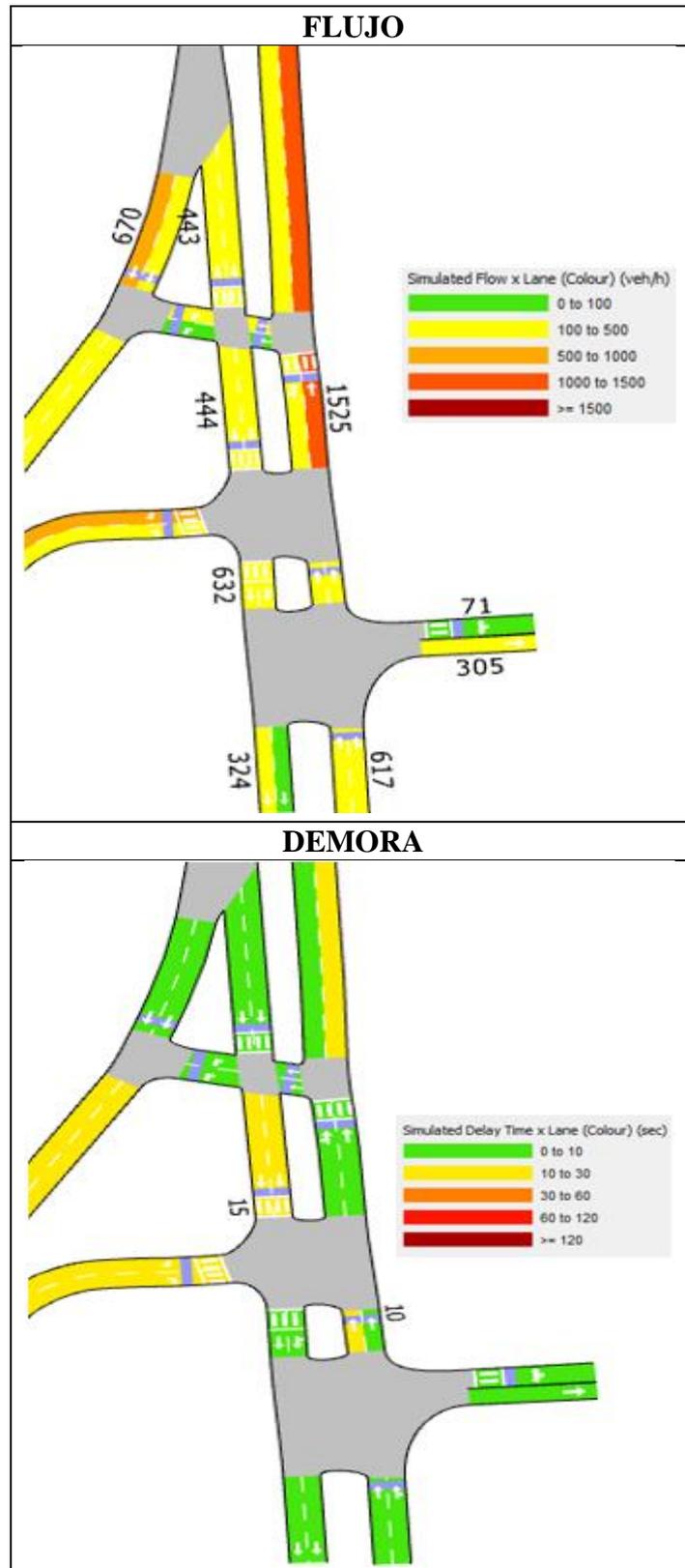
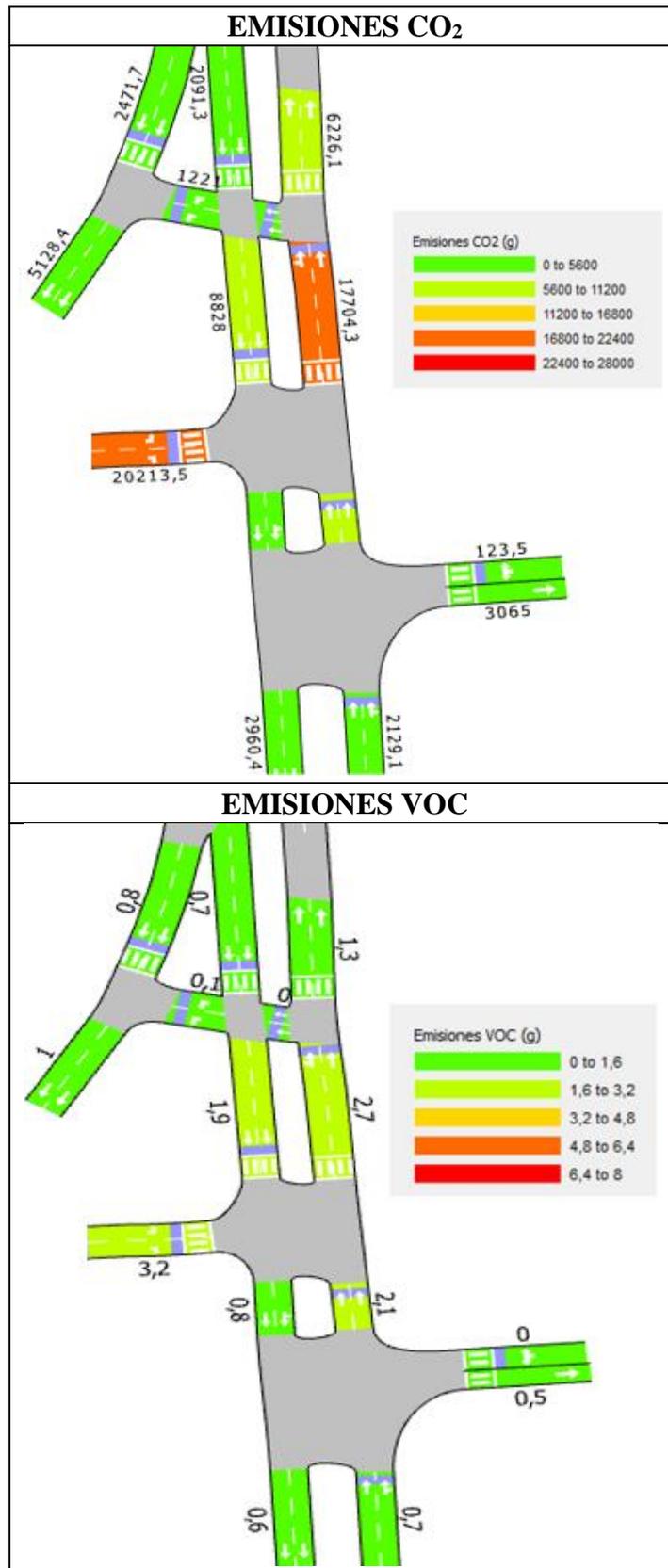


Figura 2.50. *Parámetros operacionales intersección 8.*
 Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.



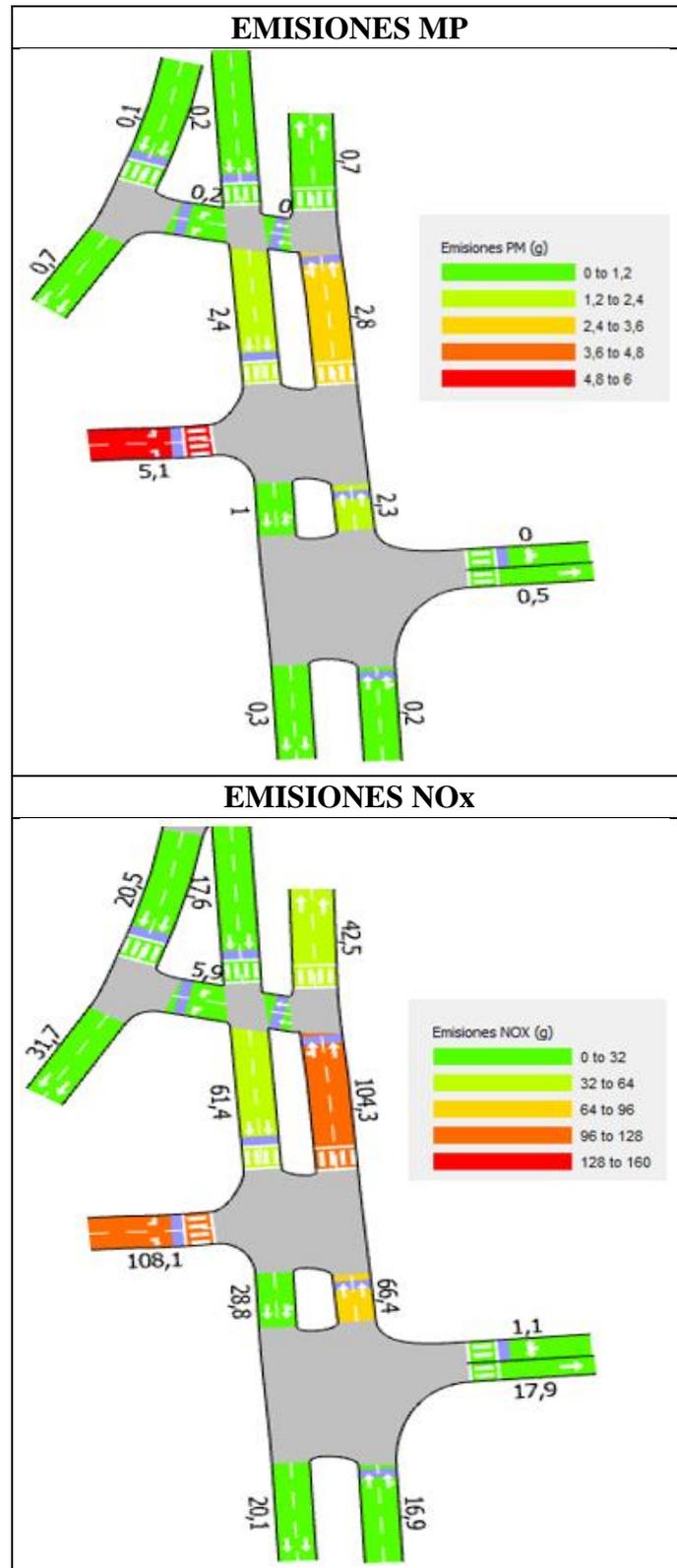


Figura 2.51. Emisiones contaminantes intersección 8.
 Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.9. Intersección 9: Av. Paseo de los Cañaris y redondel Gonzáles Suárez

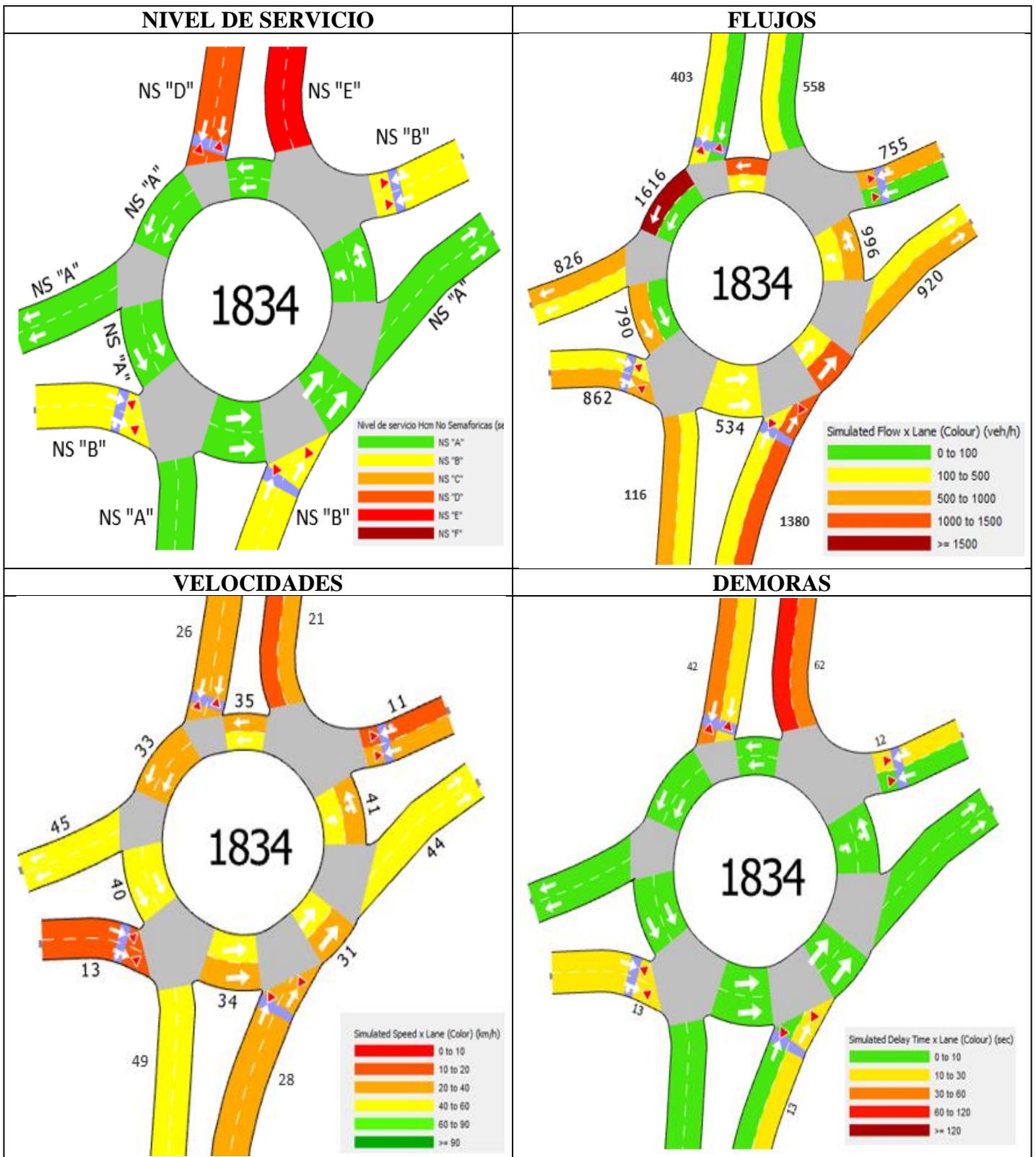


Figura 2.52. Parámetros operacionales intersección 9.

Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

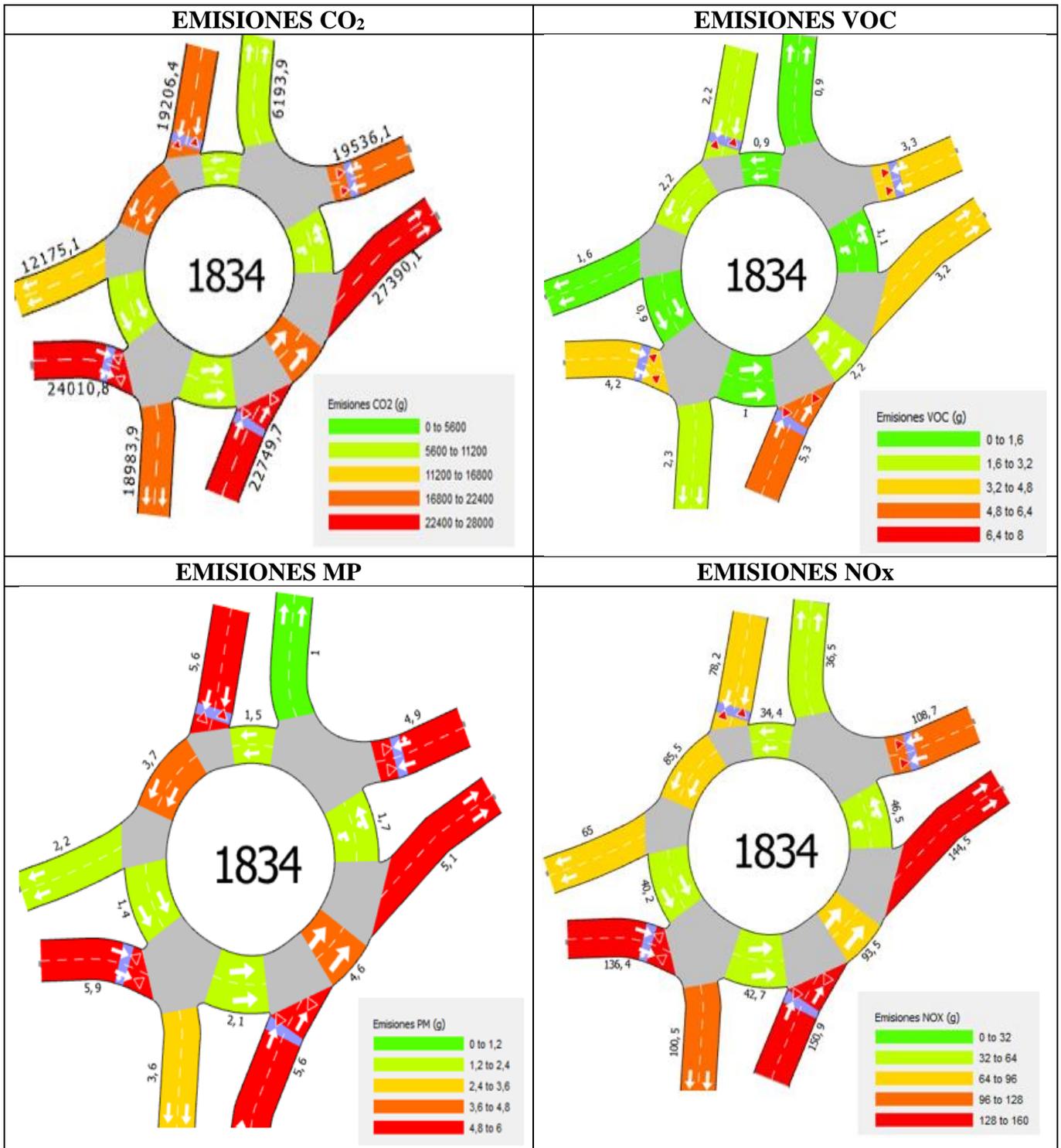


Figura 2.53. Emisiones contaminantes intersección 9.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.10. Intersección 10: Av. Paseo de los Cañaris y Yana Urco

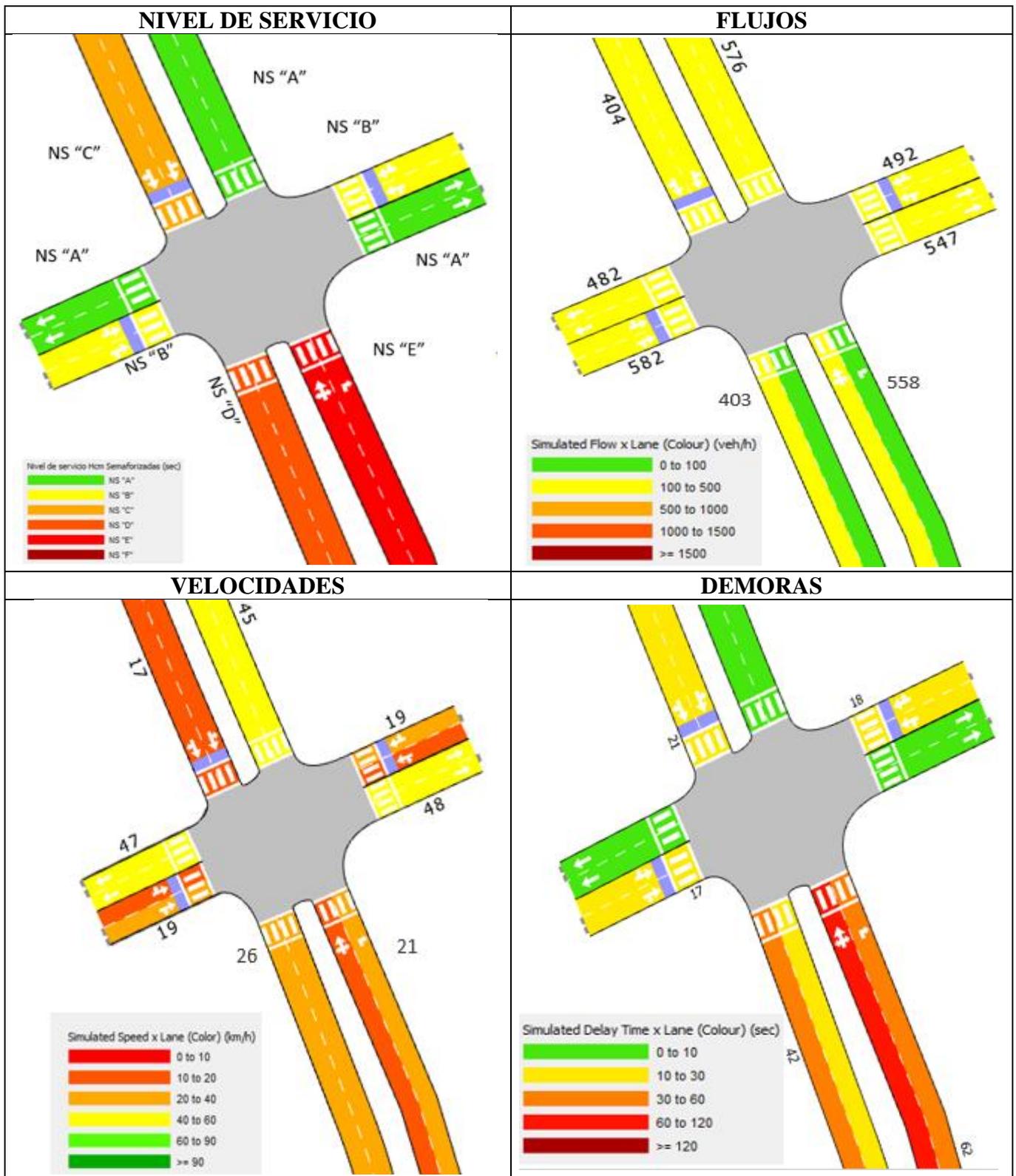


Figura 2.54. Parámetros operacionales intersección 10.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

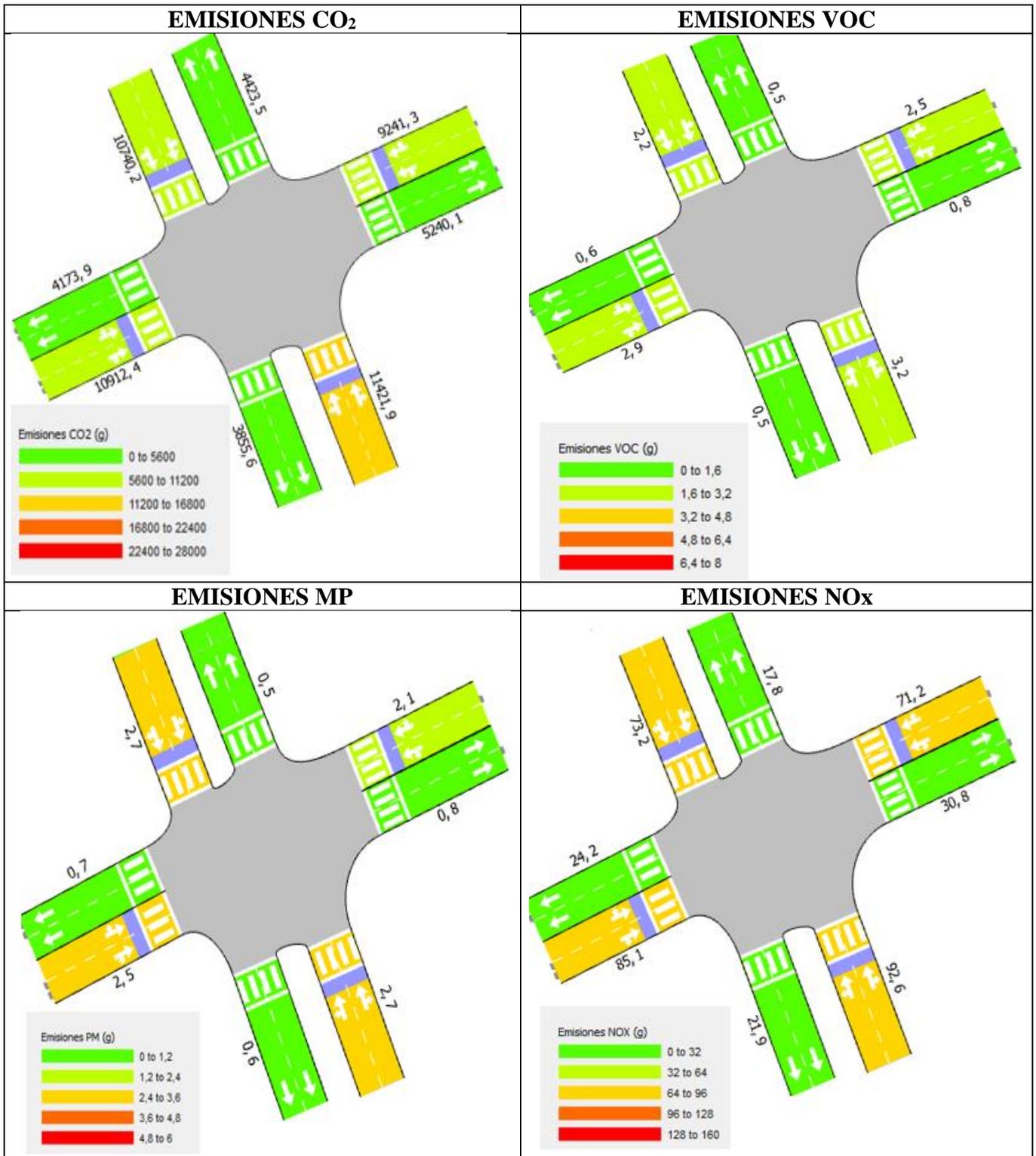


Figura 2.55. Emisiones contaminantes intersección 10.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.11. Intersección 11: Av. Paseo de los Cañaris y Rumi Urco

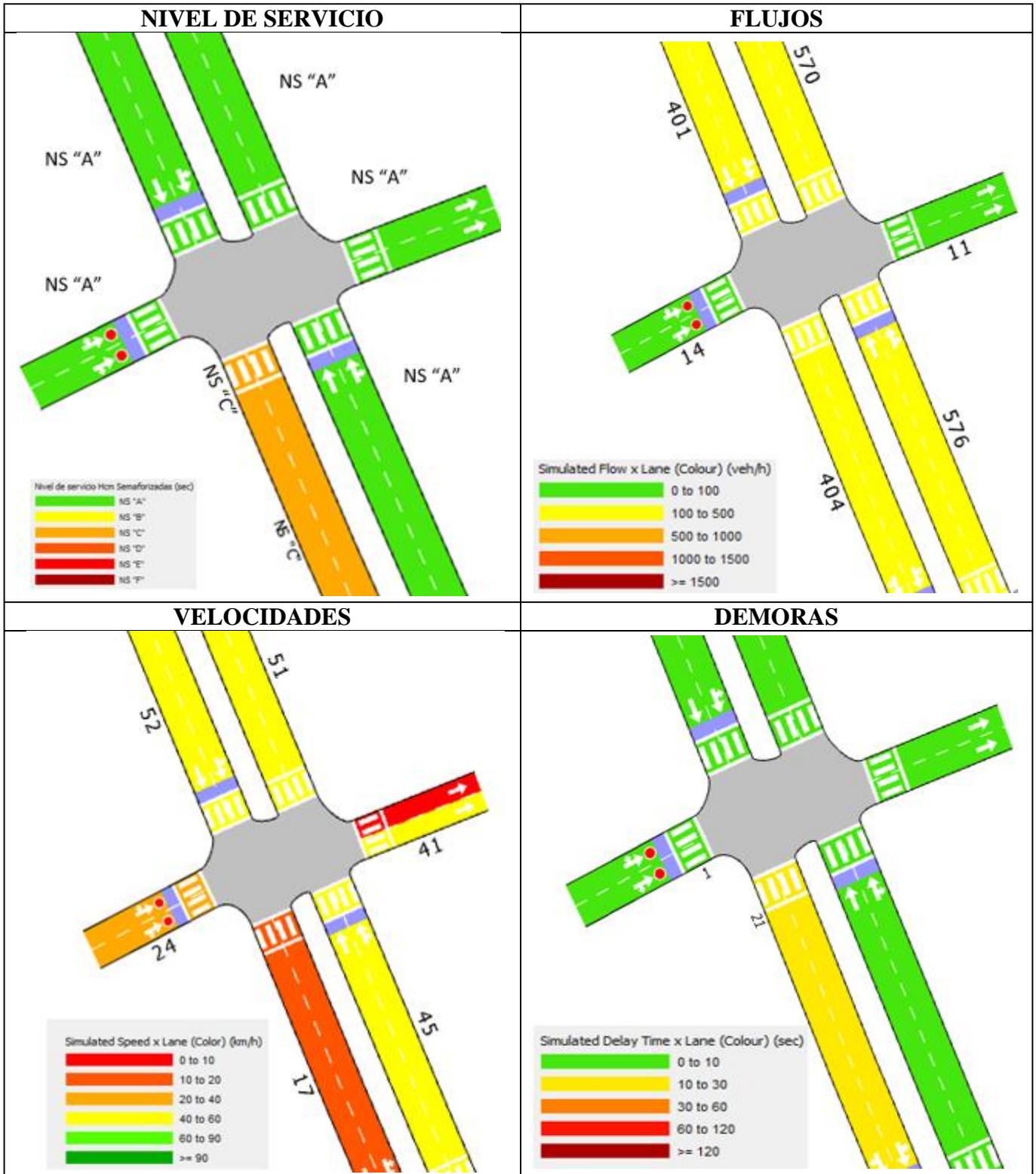


Figura 2.56. Parámetros operacionales intersección 11.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

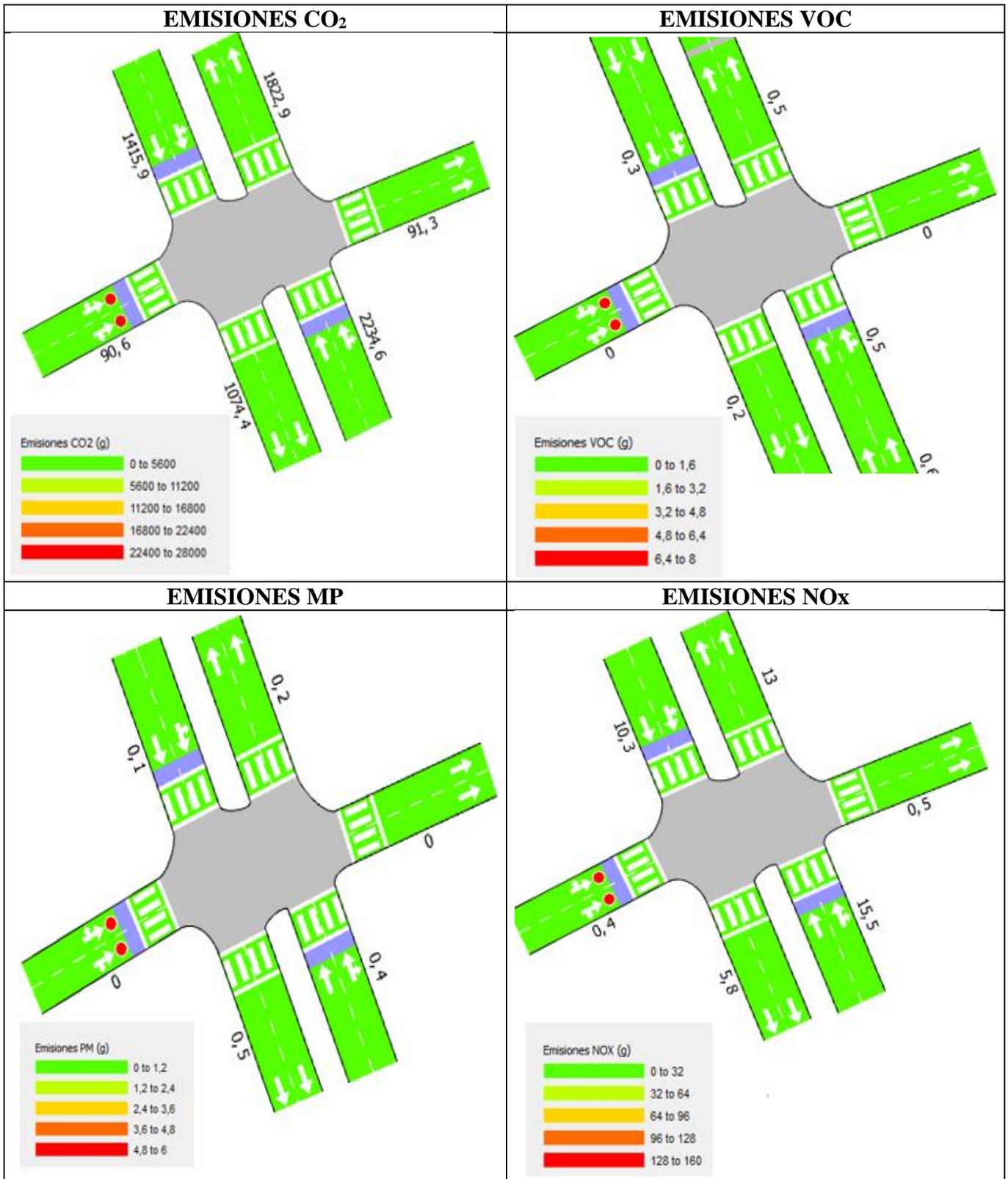


Figura 2.57. Emisiones contaminantes intersección 11.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.12. Intersección 12: Av. Paseo de los Cañaris y Allcuquiro

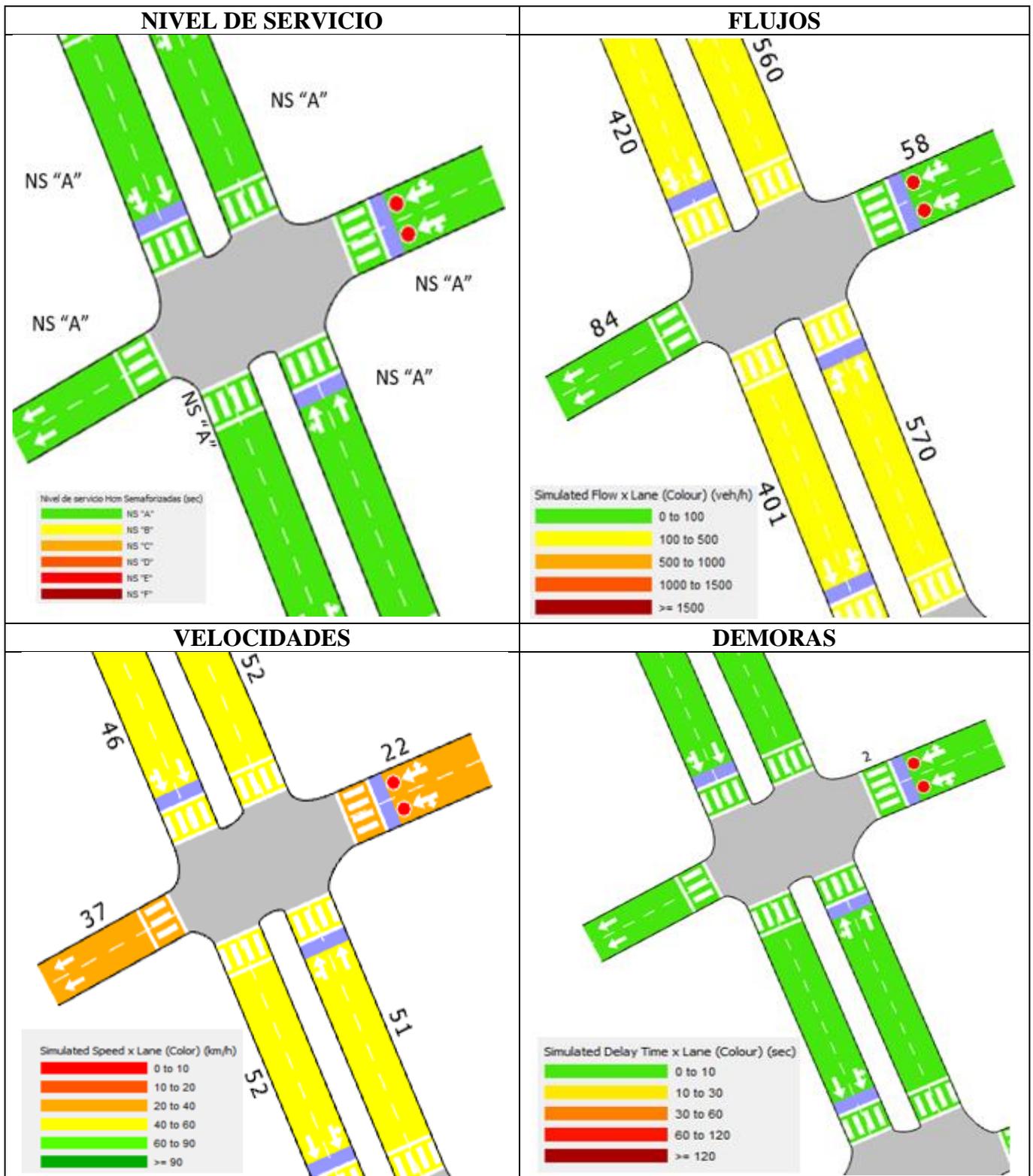


Figura 2.58. Parámetros operacionales intersección 12.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

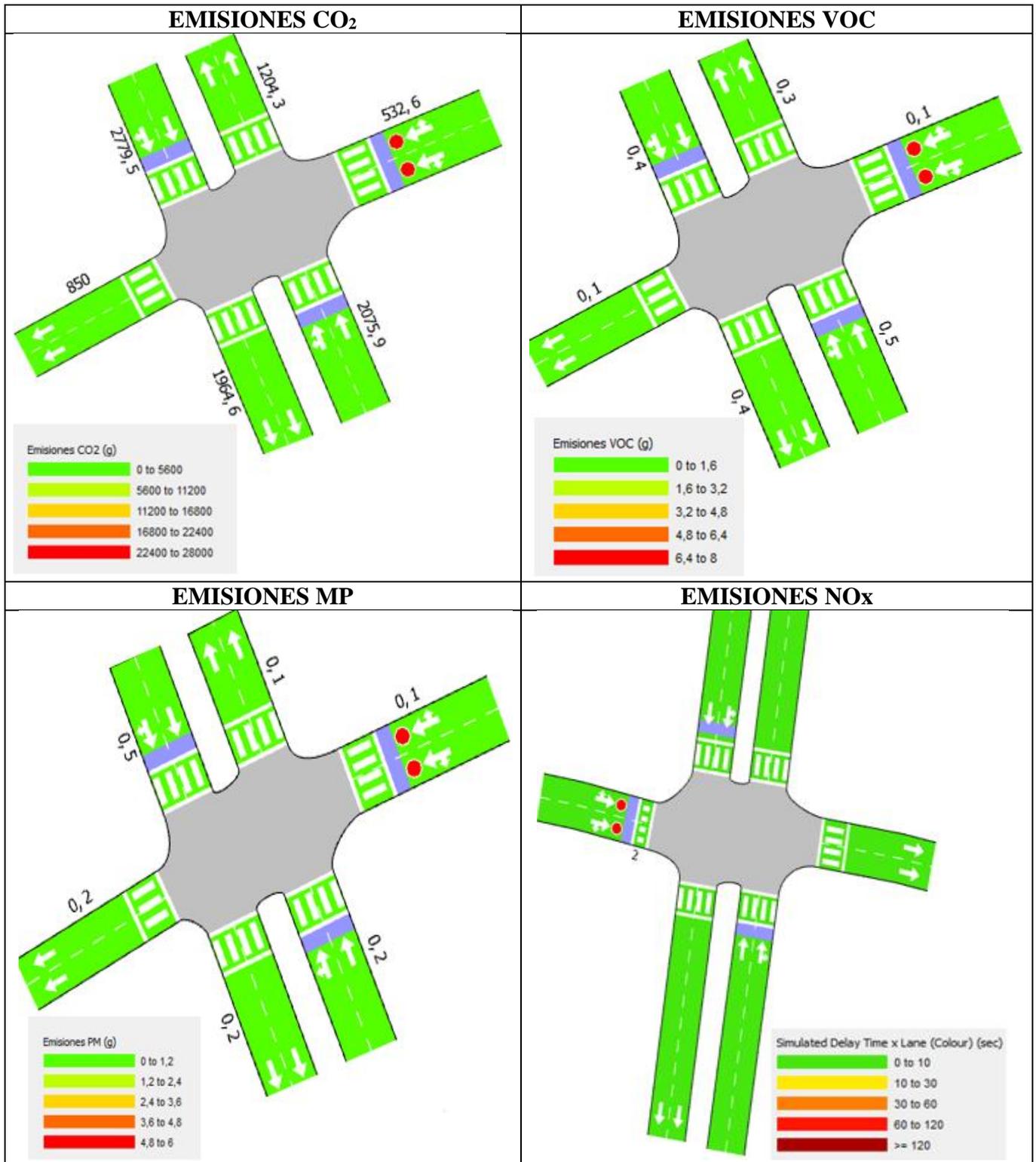


Figura 2.59. Emisiones contaminantes intersección 12.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.13. Intersección 13: Av. Paseo de los Cañaris y Ayapungo

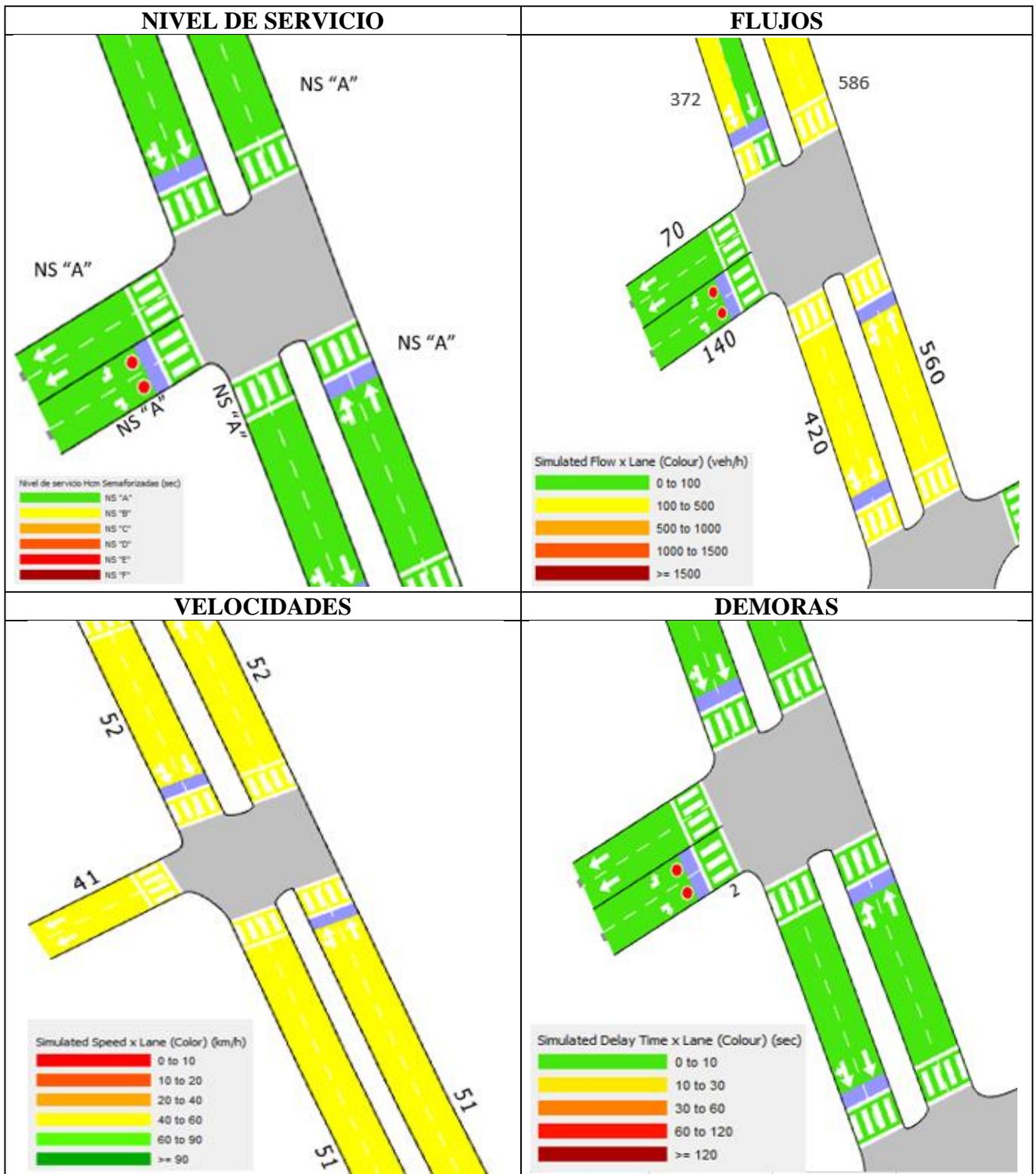


Figura 2.60. Parámetros operacionales intersección 13.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

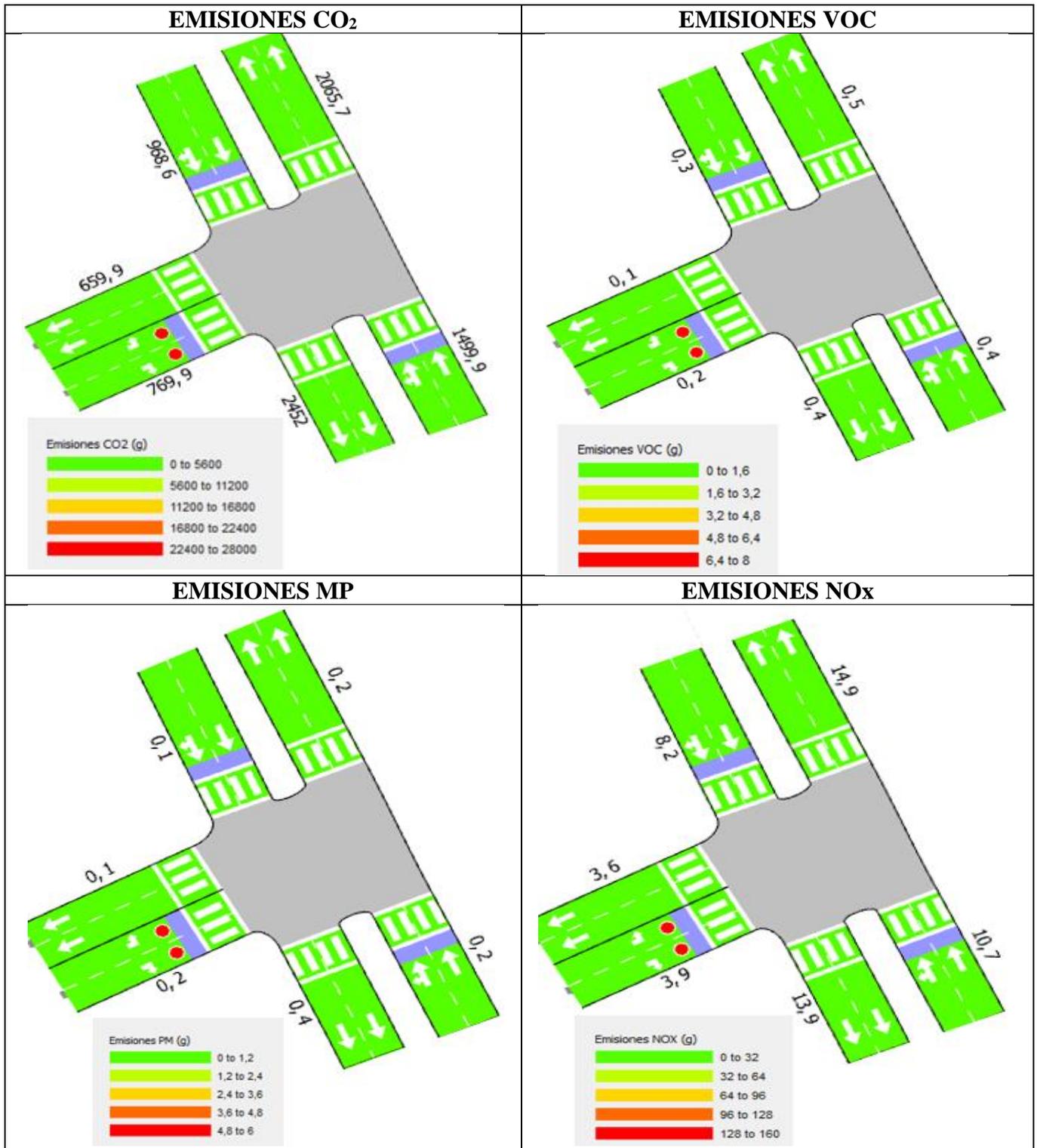


Figura 2.61. Emisiones contaminantes intersección 13.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.14. Intersección 14: Av. Paseo de los Cañaris y Cojitambo

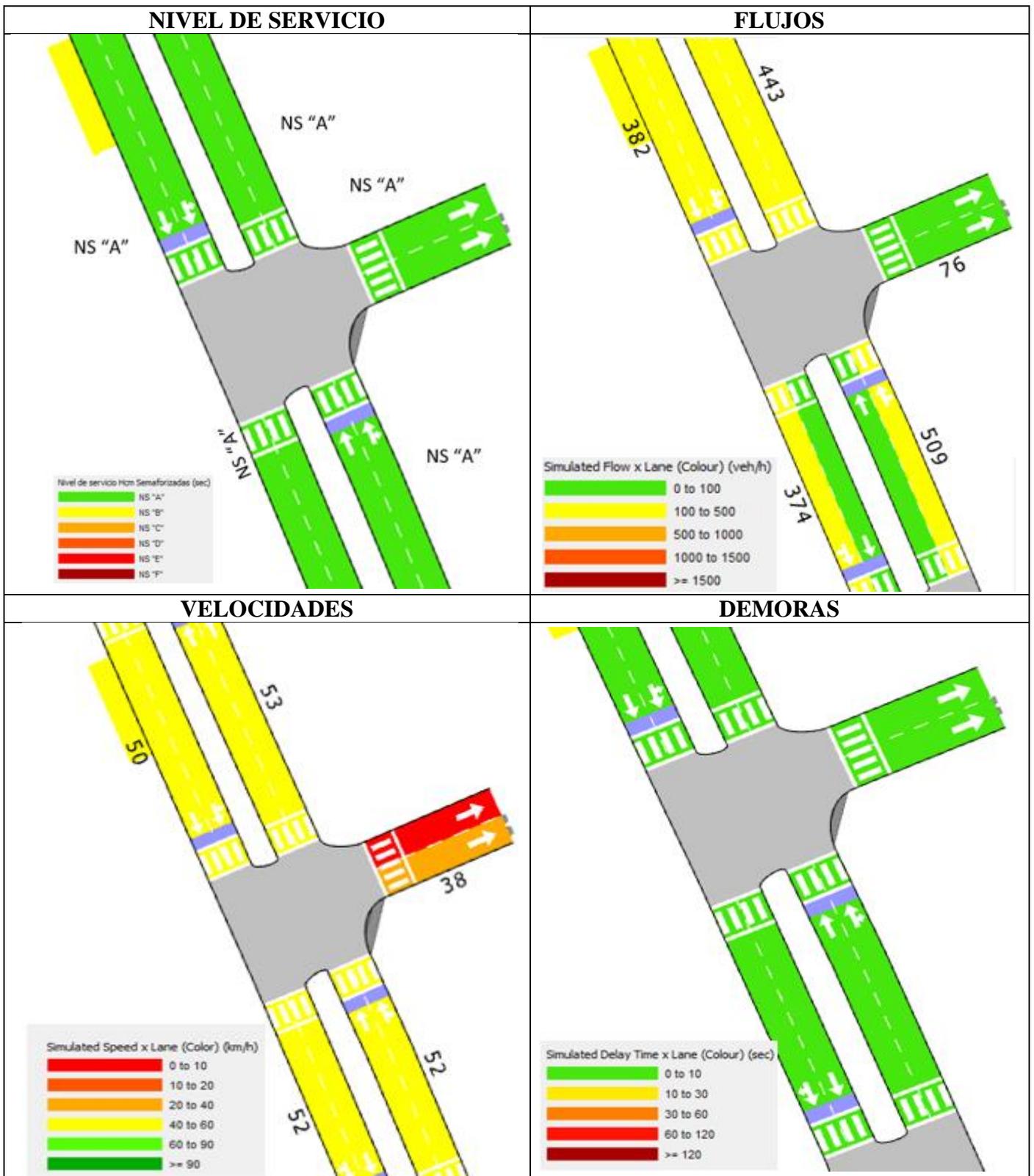


Figura 2.62. Parámetros operacionales intersección 14.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

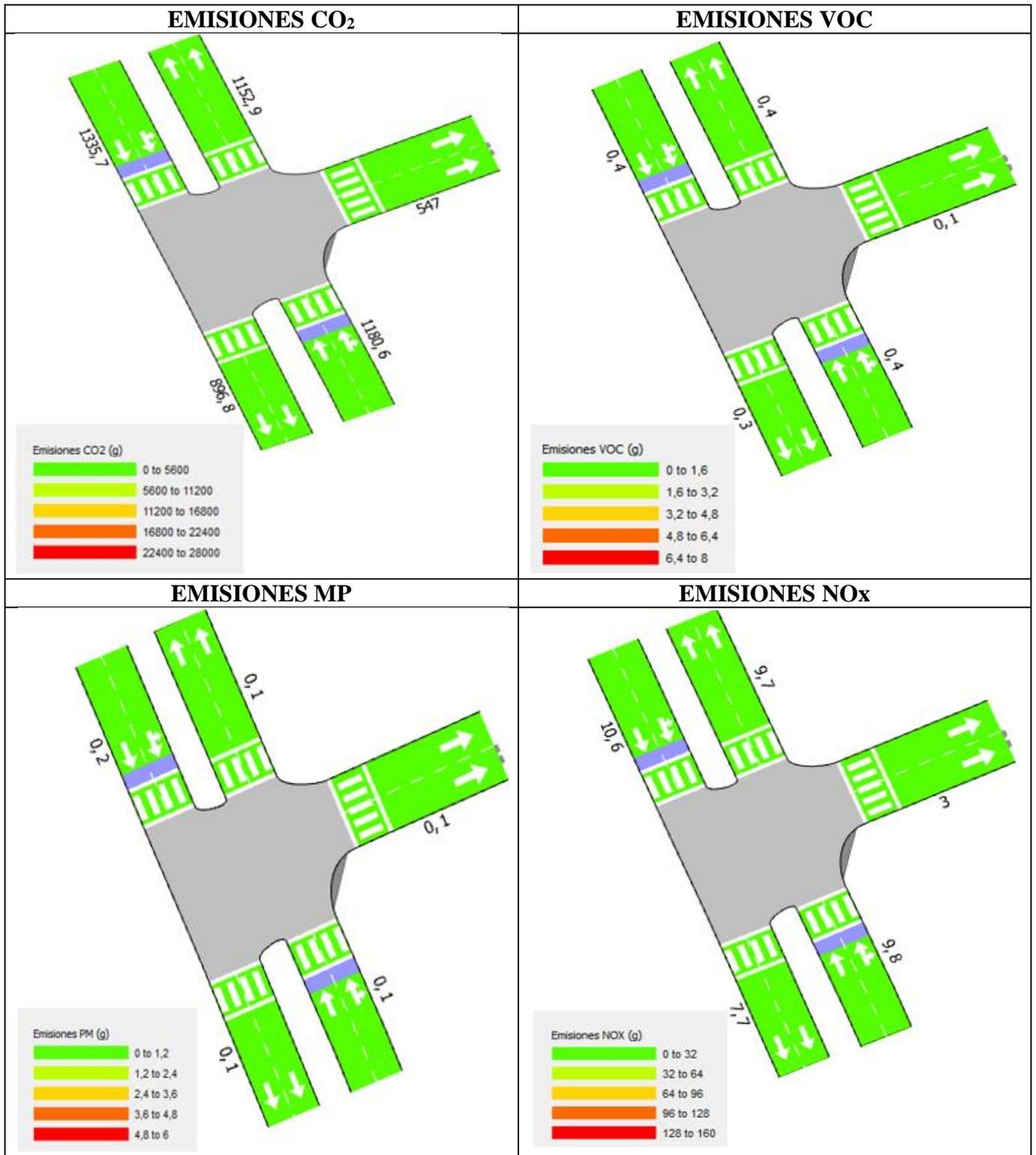


Figura 2.63. Emisiones contaminantes intersección 14.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.15. Intersección 15: Av. Paseo de los Cañaris y Guagua Zhumi

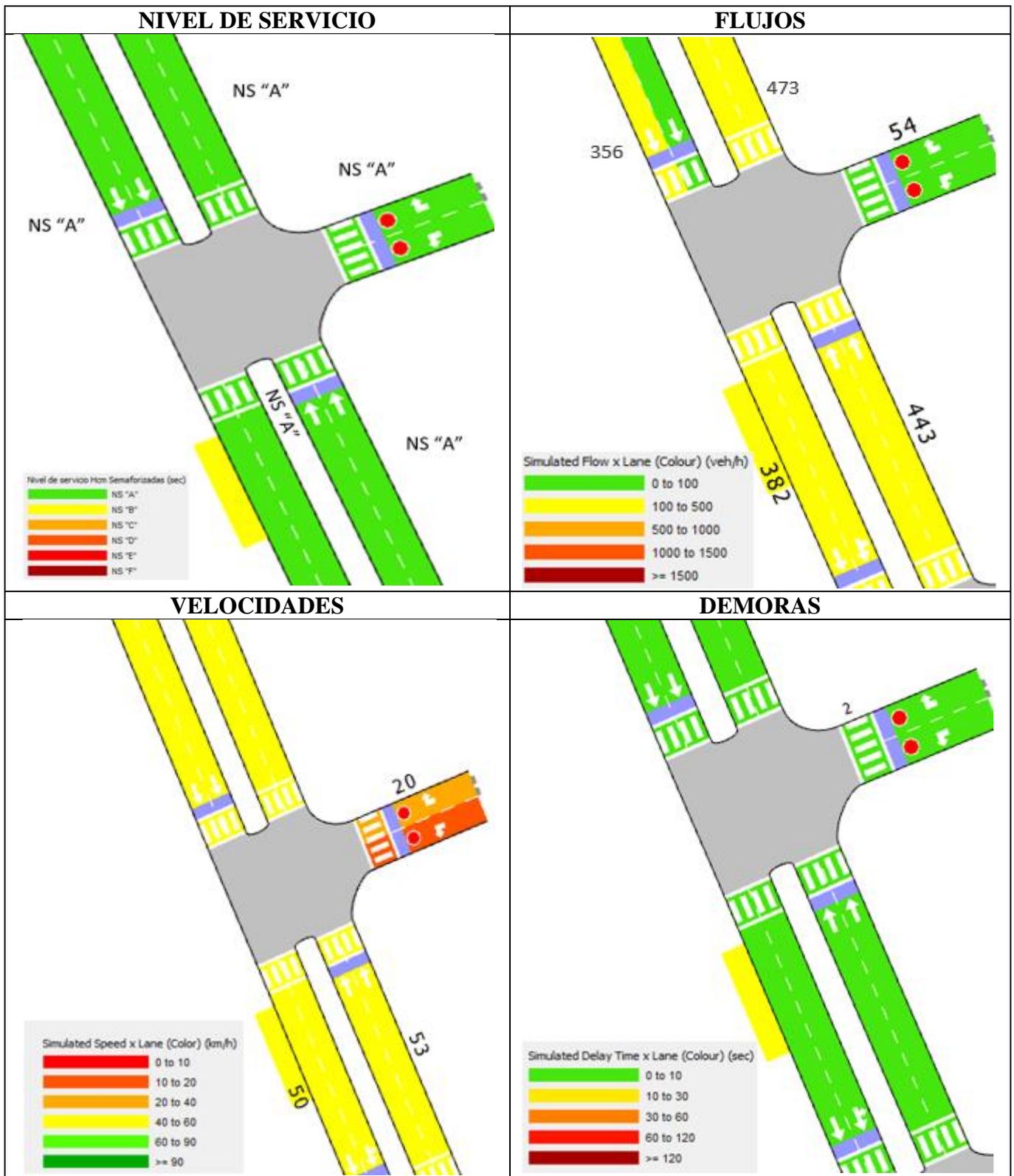


Figura 2.64. Parámetros operacionales intersección 15.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

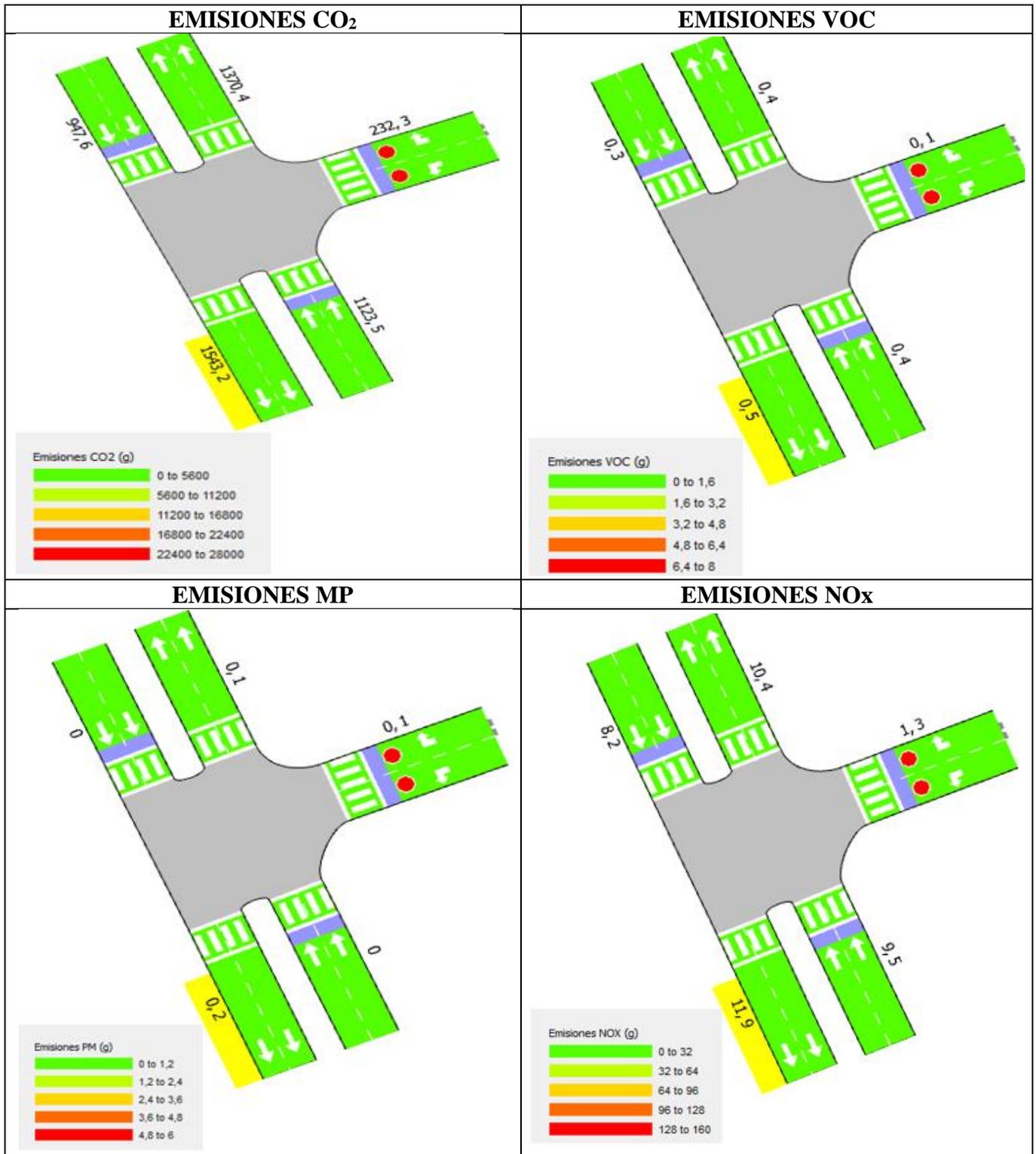


Figura 2.65. Emisiones contaminantes intersección 15.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.16. Intersección 16: Av. Paseo de los Cañaris y Altar Urco

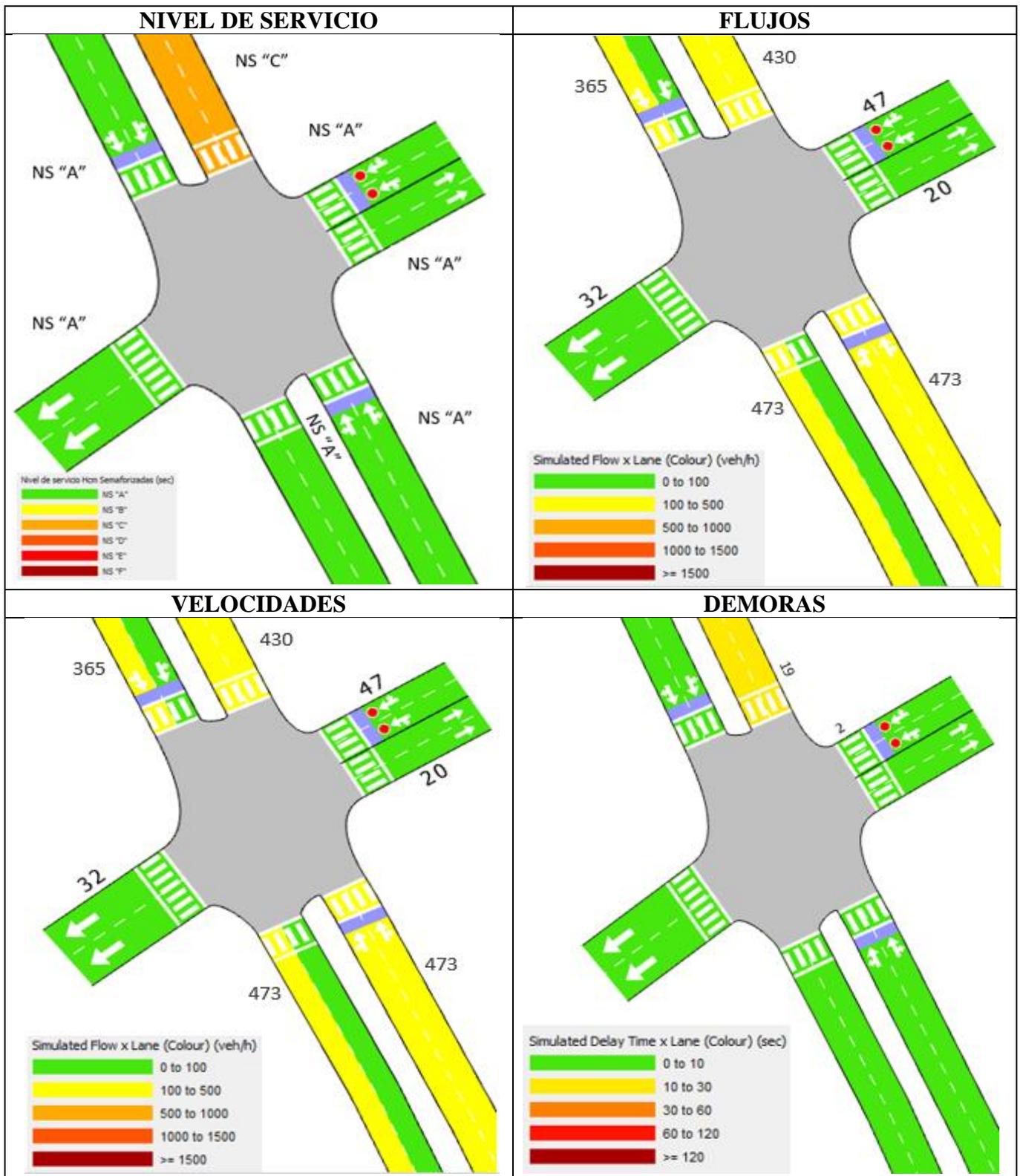


Figura 2.66. Parámetros operacionales intersección 16.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

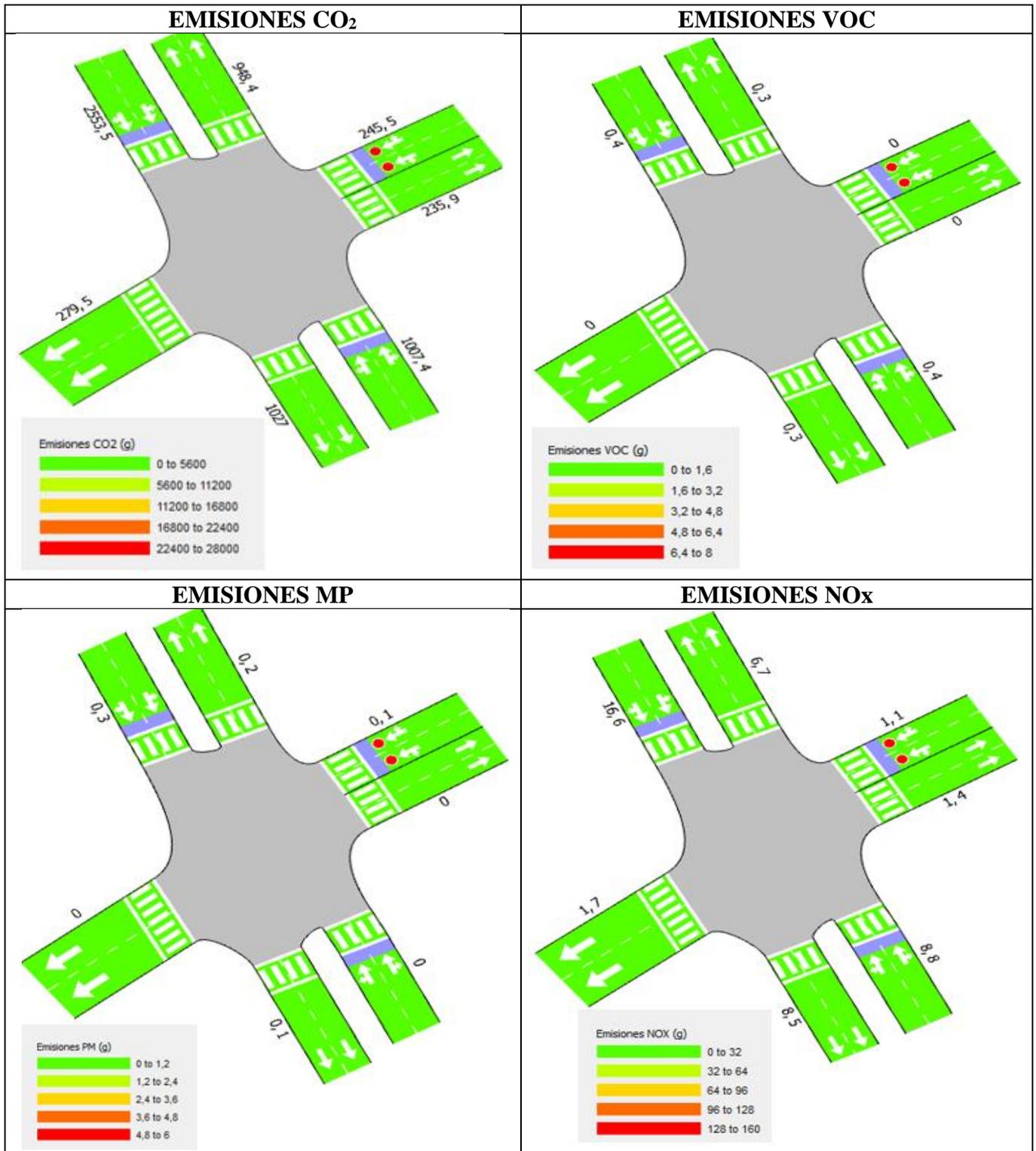


Figura 2.67. Emisiones contaminantes intersección 16.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.17. Intersección 17: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Hurtado de Mendoza

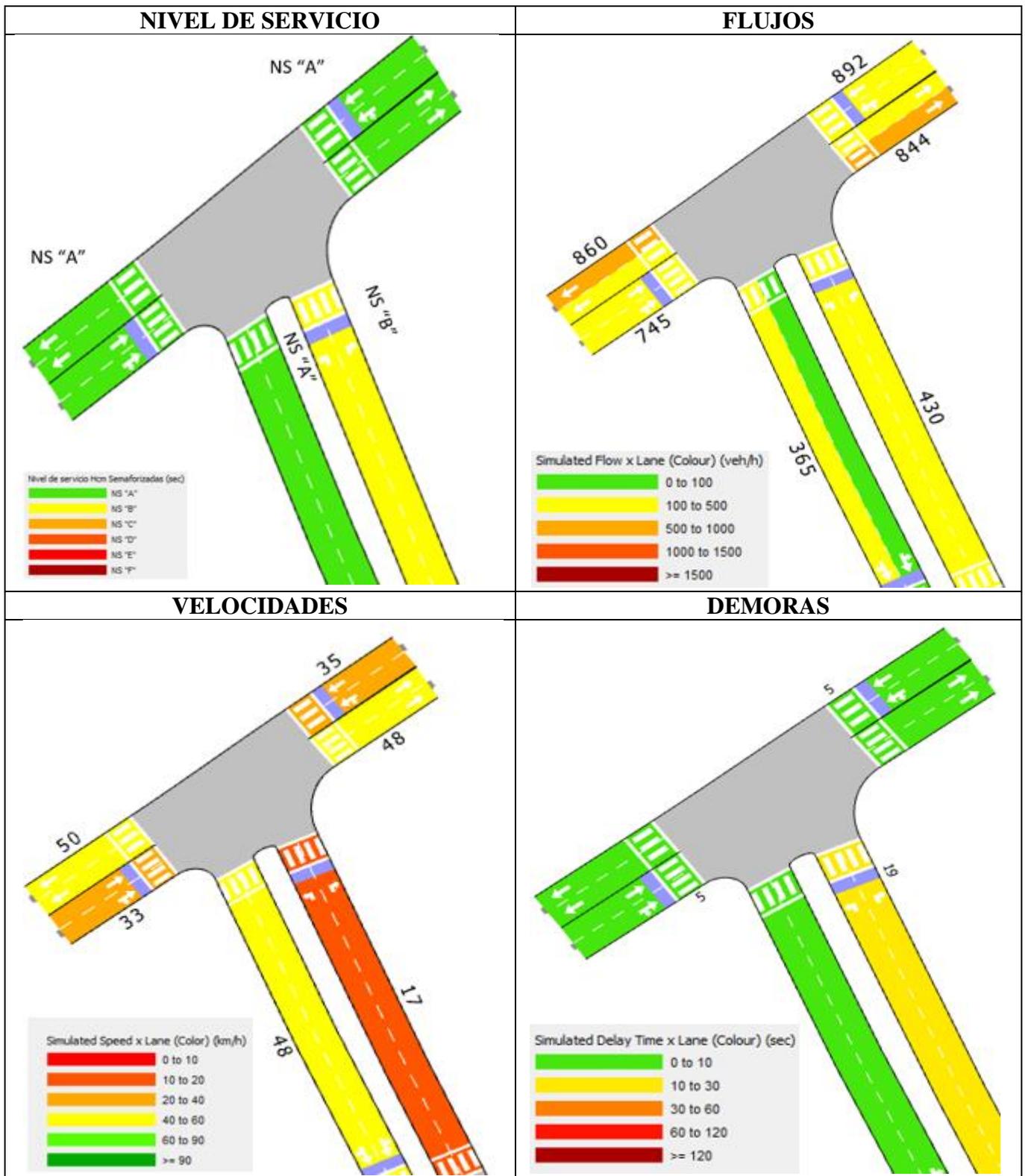


Figura 2.68. Parámetros operacionales intersección 17.
Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

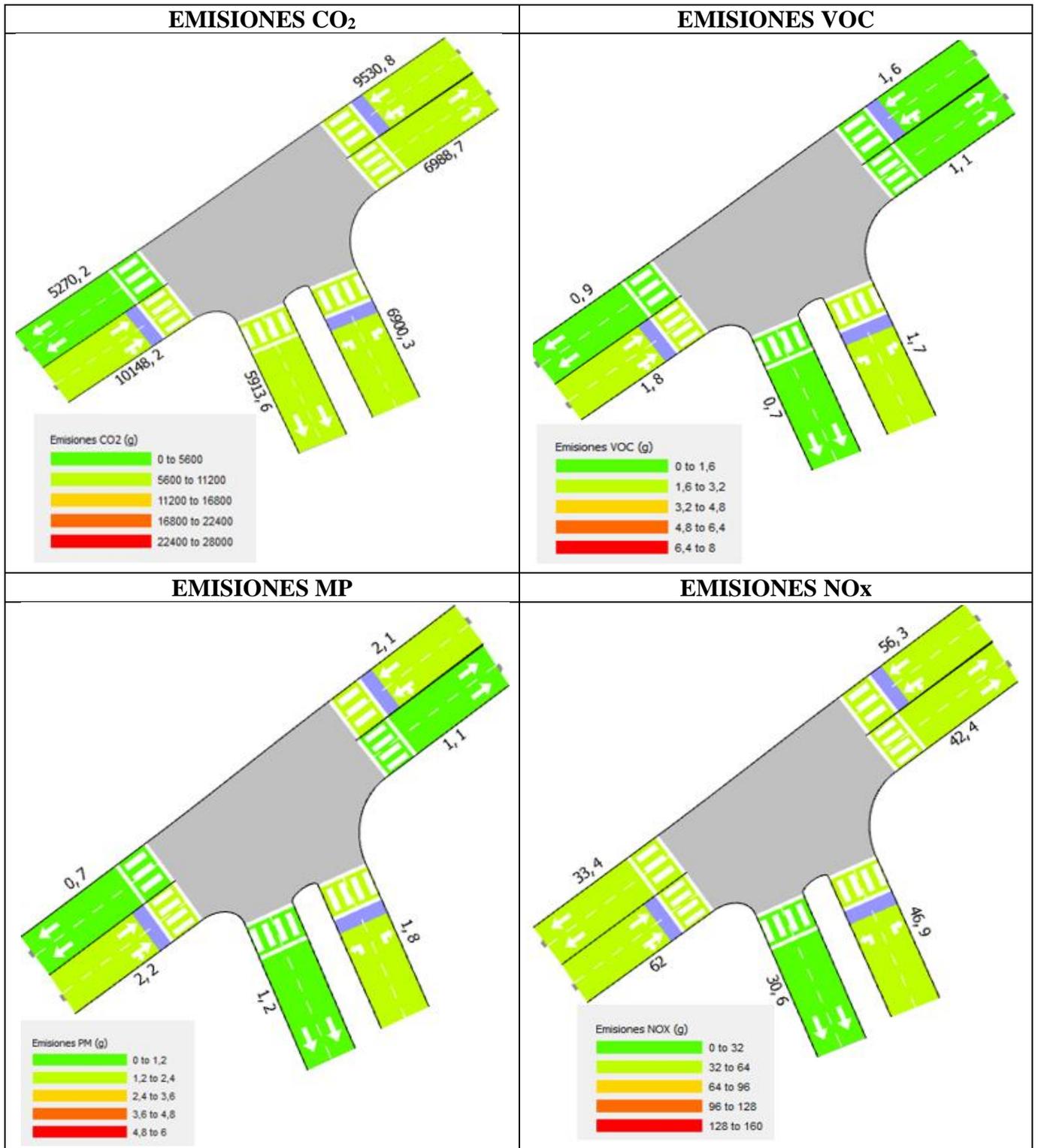


Figura 2.69. Emisiones contaminantes intersección 17.
 Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.5.18. Resultados de la modelación de la red vial completa

Para tener una mejor perspectiva y poder evaluar a todas las intersecciones y a la red vía en sí de manera global, se muestra la siguiente tabla (2.72.) con los principales parámetros de ingeniería de tránsito y transporte.

Tabla 2.72. Resultados obtenidos a partir de la modelación de la red vial.

Serie Temporal	Valor	Desviación Estándar	Unidades
Demora tiempo - Todos	115,01	1,91	seg/km
Demora tiempo - Carro	113,38	1,89	seg/km
Demora tiempo - Camión	145,5	2,93	seg/km
Demora tiempo - Bus	162,59	7,73	seg/km
Demora tiempo - Dos Ruedas	118,99	3,5	seg/km
Densidad - Todos	9,7	0,19	veh/km
Densidad - Carro	8,49	0,14	veh/km
Densidad - Camión	0,3	0,03	veh/km
Densidad - Bus	0,04	0	veh/km
Densidad - Dos Ruedas	0,87	0,05	veh/km
Flujo - Todos	8261,4	66,67	veh/h
Flujo - Carro	7312,8	47,01	veh/h
Flujo - Camión	202	11,02	veh/h
Flujo - Bus	63,4	0,55	veh/h
Flujo - Dos Ruedas	683,2	34,45	veh/h
Consumo de Combustible - Todos	0	0	l
Consumo de Combustible - Carro	0	0	l
Consumo de Combustible - Camión	0	0	l
Consumo de Combustible - Bus	0	0	l
Consumo de Combustible - Dos Ruedas	0	0	l
Velocidad Armónica - Todos	19,71	0	km/h
Velocidad Armónica - Carro	19,97	0	km/h
Velocidad Armónica - Camión	16,69	0	km/h
Velocidad Armónica - Bus	14,54	0	km/h
Velocidad Armónica - Dos Ruedas	18,7	0	km/h
Emisiones IEM- CO2 - Todos	12963250,38	N/A	g
Emisiones IEM- CO2 - Carro	12476296,54	N/A	g
Emisiones IEM- CO2 - Camión	22571,42	N/A	g
Emisiones IEM- CO2 - Bus	0	N/A	g
Emisiones IEM- CO2 - Dos Ruedas	143141,33	N/A	g
Emisiones IEM- CO2 - Interurbano - Todos	1360071,17	N/A	g/km
Emisiones IEM- CO2 - Interurbano - Carro	1308981,21	N/A	g/km
Emisiones IEM- CO2 - Interurbano - Camión	2368,14	N/A	g/km
Emisiones IEM- CO2 - Interurbano - Bus	0	N/A	g/km
Emisiones IEM- CO2 - Interurbano - Dos Ruedas	15018,02	N/A	g/km
Emisiones IEM- NOx - Todos	81468,02	N/A	g
Emisiones IEM- NOx - Carro	78798,75	N/A	g

Emisiones IEM- NOx - Camión	175,53	N/A	g
Emisiones IEM- NOx - Bus	0	N/A	g
Emisiones IEM- NOx - Dos Ruedas	203,32	N/A	g
Emisiones IEM- NOx - Interurbano - Todos	8547,42	N/A	g/km
Emisiones IEM- NOx - Interurbano - Carro	8267,36	N/A	g/km
Emisiones IEM- NOx - Interurbano - Camión	18,42	N/A	g/km
Emisiones IEM- NOx - Interurbano - Bus	0	N/A	g/km
Emisiones IEM- NOx - Interurbano - Dos Ruedas	21,33	N/A	g/km
Emisiones IEM- PM - Todos	2251,25	N/A	g
Emisiones IEM- PM - Carro	2157,37	N/A	g
Emisiones IEM- PM - Camión	6,75	N/A	g
Emisiones IEM- PM - Bus	0	N/A	g
Emisiones IEM- PM - Dos Ruedas	36,74	N/A	g
Emisiones IEM- PM - Interurbano - Todos	236,2	N/A	g/km
Emisiones IEM- PM - Interurbano - Carro	226,35	N/A	g/km
Emisiones IEM- PM - Interurbano - Camión	0,71	N/A	g/km
Emisiones IEM- PM - Interurbano - Bus	0	N/A	g/km
Emisiones IEM- PM - Interurbano - Dos Ruedas	3,85	N/A	g/km
Emisiones IEM- VOC - Todos	2602,59	N/A	g
Emisiones IEM- VOC - Carro	2312,17	N/A	g
Emisiones IEM- VOC - Camión	13,09	N/A	g
Emisiones IEM- VOC - Bus	0	N/A	g
Emisiones IEM- VOC - Dos Ruedas	203,94	N/A	g
Emisiones IEM- VOC - Interurbano - Todos	273,06	N/A	g/km
Emisiones IEM- VOC - Interurbano - Carro	242,59	N/A	g/km
Emisiones IEM- VOC - Interurbano - Camión	1,37	N/A	g/km
Emisiones IEM- VOC - Interurbano - Bus	0	N/A	g/km
Emisiones IEM- VOC - Interurbano - Dos Ruedas	21,4	N/A	g/km
Recuento de Entrada - Todos	8271,6	N/A	veh
Recuento de Entrada - Carro	7325,8	N/A	veh
Recuento de Entrada - Camión	201,8	N/A	veh
Recuento de Entrada - Bus	59,8	N/A	veh
Recuento de Entrada - Dos Ruedas	684,2	N/A	veh
Flujo de Ingreso - Todos	8271,6	61,59	veh/h
Flujo de Ingreso - Carro	7325,8	52,63	veh/h
Flujo de Ingreso - Camión	201,8	9,47	veh/h
Flujo de Ingreso - Bus	59,8	0,84	veh/h
Flujo de Ingreso - Dos Ruedas	684,2	33,34	veh/h
Cola Máxima Virtual - Todos	379	50,56	veh
Cola Máxima Virtual - Carro	323	42,27	veh
Cola Máxima Virtual - Camión	16,6	2,7	veh
Cola Máxima Virtual - Bus	5,8	1,1	veh
Cola Máxima Virtual - Dos Ruedas	40,6	9,71	veh
Cola Principal - Todos	68,55	2,76	veh
Cola Principal - Carro	60,06	2,27	veh
Cola Principal - Camión	2,18	0,28	veh
Cola Principal - Bus	0,25	0,01	veh
Cola Principal - Dos Ruedas	6,06	0,29	veh

Cola Virtual Principal - Todos	208,08	35,99	veh
Cola Virtual Principal - Carro	178,34	31,41	veh
Cola Virtual Principal - Camión	7,5	1,44	veh
Cola Virtual Principal - Bus	2,1	0,36	veh
Cola Virtual Principal - Dos Ruedas	20,16	3,96	veh
Giros Perdidos - Todos	16,2	4,76	
Giros Perdidos - Carro	15,4	3,97	
Giros Perdidos - Camión	0,4	0,55	
Giros Perdidos - Bus	0	0	
Giros Perdidos - Dos Ruedas	0,4	0,55	
Cambios de Carril - Todos	537,2	13,28	#/km
Cambios de Carril - Carro	477,66	9,54	#/km
Cambios de Carril - Camión	11,99	1,52	#/km
Cambios de Carril - Bus	1,9	0,12	#/km
Cambios de Carril - Dos Ruedas	45,65	3,95	#/km
Número de Paradas - Todos	0,23	0	#/veh/km
Número de Paradas - Carro	0,23	0	#/veh/km
Número de Paradas - Camión	0,25	0,01	#/veh/km
Número de Paradas - Bus	0,3	0,02	#/veh/km
Número de Paradas - Dos Ruedas	0,23	0,01	#/veh/km
Velocidad - Todos	28,96	0,25	km/h
Velocidad - Carro	29,4	0,24	km/h
Velocidad - Camión	23,6	0,57	km/h
Velocidad - Bus	21,98	0,41	km/h
Velocidad - Dos Ruedas	26,53	0,34	km/h
Tiempo de Espera - Todos	94,16	1,71	seg/km
Tiempo de Espera - Carro	92,62	1,68	seg/km
Tiempo de Espera - Camión	116,19	2,23	seg/km
Tiempo de Espera - Bus	126,37	8,82	seg/km
Tiempo de Espera - Dos Ruedas	101,12	3,62	seg/km
Total, de Cambios de Carril - Todos	10788,6	266,64	
Total, de Cambios de Carril - Carro	9592,8	191,51	
Total, de Cambios de Carril - Camión	240,8	30,61	
Total, de Cambios de Carril - Bus	38,2	2,39	
Total, de Cambios de Carril - Dos Ruedas	916,8	79,33	
Número de Paradas Totales - Todos	38623,27	606,89	
Número de Paradas Totales - Carro	34068,92	378,9	
Número de Paradas Totales - Camión	1007,17	50,19	
Número de Paradas Totales - Bus	376,03	33,25	
Número de Paradas Totales - Dos Ruedas	3171,14	228,47	
Tiempo de Viaje Total - Todos	194,11	4,27	h
Tiempo de Viaje Total - Carro	169,85	3,15	h
Tiempo de Viaje Total - Camión	6,03	0,6	h
Tiempo de Viaje Total - Bus	0,77	0,01	h
Tiempo de Viaje Total - Dos Ruedas	17,45	0,97	h
Distancia Total Recorrida - Todos	5393,45	77,36	km
Distancia Total Recorrida - Carro	4765,28	56,09	km
Distancia Total Recorrida - Camión	145,57	11,92	km

Distancia Total Recorrida - Bus	12,95	0,05	km
Distancia Total Recorrida - Dos Ruedas	469,66	26,41	km
Tiempo de Viaje - Todos	182,66	1,92	seg/km
Tiempo de Viaje - Carro	180,26	1,91	seg/km
Tiempo de Viaje - Camión	215,73	2,89	seg/km
Tiempo de Viaje - Bus	247,59	7,06	seg/km
Tiempo de Viaje - Dos Ruedas	192,5	3,48	seg/km
Vehículos Perdidos Adentro- Todos	0	0	veh
Vehículos Perdidos Adentro- Carro	0	0	veh
Vehículos Perdidos Adentro- Camión	0	0	veh
Vehículos Perdidos Adentro- Bus	0	0	veh
Vehículos Perdidos Adentro- Dos Ruedas	0	0	veh
Vehículos Perdidos- Todos	0	0	veh
Vehículos Perdidos- Carro	0	0	veh
Vehículos Perdidos- Camión	0	0	veh
Vehículos Perdidos- Bus	0	0	veh
Vehículos Perdidos- Dos Ruedas	0	0	veh
Vehículos en espera de Entrada	369,4	51,41	veh
Vehículos en espera de Entrada- Carro	316	43,04	veh
Vehículos en espera de Entrada- Camión	12,2	2,68	veh
Vehículos en espera de Entrada- Bus	3,8	0,45	veh
Vehículos en espera de Entrada- Dos Ruedas	37,4	8,73	veh
Espera por tiempo de Cola Virtual - Todos	68,04	9,8	seg
Espera por tiempo de Cola Virtual - Carro	65,76	9,89	seg
Espera por tiempo de Cola Virtual - Camión	99,34	19,34	seg
Espera por tiempo de Cola Virtual - Bus	91,78	11,95	seg
Espera por tiempo de Cola Virtual - Dos Ruedas	80,93	9,49	seg

Fuente: Autores a partir de Aimsun 8.1.

2.6. Emisiones contaminantes del aire en las intersecciones de estudio

A partir de la modelación realizada en la herramienta informática de micro simulación de tránsito, se calculan las emisiones generadas con el módulo de emisiones instantáneas. Cabe recalcar que, se tomó en cuenta una longitud de acceso previa de 20 metros. Los valores desplegados a continuación corresponden a cada acceso por intersección de toda la red vial.

Los valores de cada contaminante por acceso presentados a continuación, serán útiles para establecer un método de cálculo, el cual, permitirá obtener las emisiones globales de las intersecciones estudiadas.

Tabla 2.73. Resultados promedio por acceso de cada intersección.

Intersección 1: Av. Paseo de los Cañaris y Pachacamac							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	1133,67	53,04	0,07	19630,75	142,22	5,72	1,85
Av. P. Cañaris N - S	811,50	52,00	0,82	12147,01	104,53	4,06	0,53
Pachacamac O - E	63,83	20,64	2,50	3926,84	15,76	0,55	1,08
Total	2009	126	3	35705	263	10	3

Intersección 2: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Duma							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	1104,33	47,21	3,26	54141,56	297,78	10,61	12,70
Av. P. Cañaris N - S	835,67	44,05	4,16	46038,87	255,23	7,21	10,55
Cacique Duma O - E	258,50	13,79	18,98	31285,96	233,57	8,49	7,24
Total	2199	105	26	131466	787	26	30

Intersección 3: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chaparra							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	1174,67	51,63	0,61	28509,06	167,27	6,62	6,09
Av. P. Cañaris N - S	969,50	48,12	1,01	19149,62	119,54	4,36	4,31
Cacique Chaparra E - O	49,17	23,01	1,83	2456,11	11,80	0,40	0,65
Total	2193	123	3	50115	299	11	11

Intersección 4: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Viracochabamba							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	1144,00	26,82	16,91	112964,90	867,74	30,64	26,63
Av. P. Cañaris N - S	970,83	16,95	30,96	25332,75	373,70	14,00	4,47
Av. Viracochabamba O - E	167,67	20,01	17,83	18972,13	190,39	7,62	4,03
Av. Viracochabamba E - O	194,17	18,35	16,12	23073,99	197,18	9,16	5,04
Total	2477	82	82	180344	1629	61	40

Intersección 5: Av. Paseo de los Cañaris y El Observador							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris O - E	968,17	51,41	0,50	14369,89	114,86	4,66	1,10
Av. P. Cañaris E - O	966,50	50,90	0,46	9927,15	78,71	3,98	0,94
El Observador SE - NO	43,50	52,57	0,06	560,35	4,98	0,23	0,05
Princesa T NO - SE	14,67	21,11	2,13	671,46	2,56	0,12	0,19
Total	1992,83	175,98	3,15	25528,85	201,11	8,99	2,28

Intersección 6: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chamba y J. Carrera Andrade							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris O - E	983,67	34,02	7,64	88062,19	472,68	13,63	20,47
Av. P. Cañaris E - O	896,50	39,89	8,67	36084,93	297,55	12,49	8,59
J. Carrera Andrade SE - NO	111,33	17,17	0,15	1963,50	92,02	3,33	2,65

Cacique Chamba NO - SE	297,83	16,05	18,66	38529,40	276,00	9,40	9,02
Total	2289,33	107,13	35,12	164640,02	1138,25	38,85	40,73

Intersección 7: Av. Paseo de los Cañaris y Camilo Ponce y JJ. Flores							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris O - E	996,67	33,63	16,97	71260,15	415,82	12,14	15,77
Av. P. Cañaris E - O	810,50	40,01	15,46	44891,18	603,79	24,21	8,69
Camilo Ponce SE - NO	310,50	17,63	16,97	35889,02	424,06	13,48	7,39
Juan José Flores NO - SE	330,00	18,21	16,47	39127,04	420,67	13,70	8,30
Total	2447,67	109,48	65,87	191167,39	1864,34	63,53	40,15

Intersección 8: Av. Paseo de los Cañaris y Max Uhle							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris O - E	1045,17	38,35	16,89	88969,59	568,69	18,91	21,50
Av. Max Uhle S - N	1141,33	49,30	0,55	26566,70	336,80	10,57	2,75
Cesar Vallejo E - O	663,83	26,04	10,21	47522,21	418,67	13,34	10,50
Av. P. Cañaris N - S	1141,33	49,30	0,55	94576,66	597,87	14,86	18,19
Total	3991,67	162,99	28,20	257635,16	1922,03	57,68	52,94

Intersección 9: Av. Paseo de los Cañaris y redondel González Suárez							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. Max Uhle S - N	1368,67	26,04	16,19	145376,27	796,98	22,96	39,21
Av. González Suárez E - O	804,50	12,34	10,56	104825,79	637,47	19,88	25,58
Av P. Cañaris N - S	422,17	24,22	49,75	97015,67	695,18	20,16	25,87
Av. González Suárez O - E	911,33	10,69	13,92	108522,99	836,59	27,69	25,54
Total	3506,67	73,29	90,41	455740,72	2966,22	90,69	116,20

Intersección 10: Av. Paseo de los Cañaris y Yana Urco							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	528,83	27,15	40,19	65883,38	535,31	18,49	16,43
Av. P. Cañaris N - S	439,83	15,27	24,67	15,31	529,99	15,31	19,84
Yana Urco E - O	471,67	19,30	17,97	58447,64	452,50	15,38	13,31
Yana Urco O - E	585,83	21,03	16,28	66004,62	517,33	18,34	14,76
Total	2026,17	82,75	99,12	190350,95	2035,13	67,52	64,34

Intersección 11: Av. Paseo de los Cañaris y Rumi Urco							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	560,67	45,67	0,53	10712,62	69,13	2,82	1,92
Av. P. Cañaris N - S	433,00	51,65	0,11	13499,30	92,84	2,80	1,52

Rumi Urco O - E	9,17	38,14	0,46	52524,97	258,86	6,07	11,21
Total	1002,83	135,45	1,11	76736,89	420,83	11,69	14,65

Intersección 12: Av. Paseo de los Cañaris y Allcuquiro							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	559,83	50,82	0,14	9451,94	57,89	2,58	1,94
Av. P. Cañaris N - S	443,33	46,35	0,32	18179,06	89,97	2,53	3,90
Allcuquiro E - O	71,17	22,77	1,75	2980,67	13,46	0,56	0,79
Total	1074,33	119,94	2,21	30611,67	161,32	5,67	6,63

Intersección 13: Av. Paseo de los Cañaris y Ayapungo							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	567,00	51,72	0,09	11690,90	70,83	2,82	2,33
Av. P. Cañaris N - S	386,83	51,68	0,32	5490,15	43,56	1,77	0,75
Ayapungo O - E	142,17	20,66	2,20	4904,23	26,21	1,15	1,20
Total	1096,00	124,06	2,61	22085,28	140,60	5,74	4,28

Intersección 14: Av. Paseo de los Cañaris y Cojitambo							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	513,00	51,98	0,09	12565,07	105,42	4,43	0,67
Av. P. Cañaris N - S	391,33	51,88	0,15	6357,99	40,79	1,80	1,47
Total	904,33	103,85	0,24	18923,06	146,21	6,23	2,14

Intersección 15: Av. Paseo de los Cañaris y Guagua Zhumi							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	441,50	52,70	0,08	8273,13	63,26	2,36	0,73
Av. P. Cañaris N - S	370,00	54,11	0,08	5861,78	49,32	1,86	0,38
Guagua Zhumi E - O	45,50	21,43	1,88	1518,71	7,47	0,39	0,43
Total	857	128	2	15654	120	5	2

Intersección 16: Av. Paseo de los Cañaris y Altar Urco							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	466,00	52,47	0,24	5815,07	39,88	1,79	1,02
Av. P. Cañaris N - S	380,00	47,85	0,51	26838,73	158,17	4,19	4,35
Altar Urco E - O	40,50	22,80	1,73	1495,62	6,73	0,32	0,39
Total	887	123	2	34149	205	6	6

Intersección 17: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Hurtado de Mendoza							
Acceso	Flujo (veh/h)	Velocidad (km/h)	Demora (seg)	CO2 (gr)	NOx (gr)	VOC (gr)	MP (gr)
Av. P. Cañaris S - N	457,00	18,63	18,13	48661,73	330,33	10,42	11,41
Av. Hurtado de Mendoza NE - SO	829,00	33,90	5,05	68770,43	412,58	11,46	15,34
Av. Hurtado de Mendoza SO - NE	758,33	33,13	5,06	59565,33	359,65	10,15	13,38
Total	2044,33	85,66	28,24	176997,49	1102,56	32,03	40,13

Fuente: Autores a partir de Excel.

2.7. Validación de los resultados de las emisiones de Aimsun vs IVE 2.0.2.

Como antecedente, se tiene el caso de estudio número uno realizado por el ingeniero Marcelo Moyano Tobar (2017), cuyo título es *Estimación de la contaminación del aire generada por efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. 10 de Agosto de la ciudad de Cuenca - Ecuador, usando la herramienta de micro simulación de tránsito Aimsun 8.1.*

El segundo caso de estudio lo abordaron las ingenieras Gissella Chávez Araujo y Berenice Cubides Álvarez (2018), a partir del caso de estudio número uno, y se denomina *Estimación de la contaminación del aire generada por el efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. Don Bosco de la ciudad de Cuenca – Ecuador, usando la herramienta de micro simulación Aimsun 8.1.* En ambos casos, se realiza la comparación y verificación de que los contaminantes obtenidos a partir del Aimsun versus los de IVE 2.0.2 son congruentes y tienen similitud.

Por lo tanto, bajo el criterio profesional del Ing, Christian Marcelo Moyano Tobar y los aportes científicos previamente mencionados, se concluye que los contaminantes obtenidos a partir de Aimsun son válidos y útiles para el cálculo del modelo matemático general.

CAPÍTULO 3

DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LA ESTIMACION DE EMISIONES

3. Información base

Para que los valores calculados por la herramienta de micro simulación tengan homogeneidad, se optó por analizar los accesos de las intersecciones con una longitud total de 20 m. Los valores son estimados a partir de 6 períodos de tiempo cada 10 minutos según la hora de máxima demanda global de todo el viario estudiado. Se obtuvo 400 pares de datos para (CO₂: Flujo – Velocidad – Demora), 400 pares de datos para (NO_x: Flujo – Velocidad – Demora), 400 pares de datos para (MP: Flujo – Velocidad – Demora) y 400 pares de datos para (VOC: Flujo – Velocidad – Demora). El total de pares de datos obtenidos es de 1600 necesarios para la modelación matemática.

3.1. Análisis de datos

Dado que, se obtuvo una gran cantidad de pares de datos, se optó por trabajar con los promedios de cada variable dependiente e independiente analizada reduciendo considerablemente la cantidad de datos a 266.

A continuación, de la figura 3.1. hasta la figura 3.12. muestra la distribución pertinente realizada para cada par de datos en dos dimensiones, tomando siempre en cuenta que el eje de las ordenadas son los contaminantes (CO₂, NO_x, MP y VOC) y el de las abscisas las variables independientes (flujo, velocidad y demora)

3.1.1. Flujo, Velocidad y Demora vs CO₂

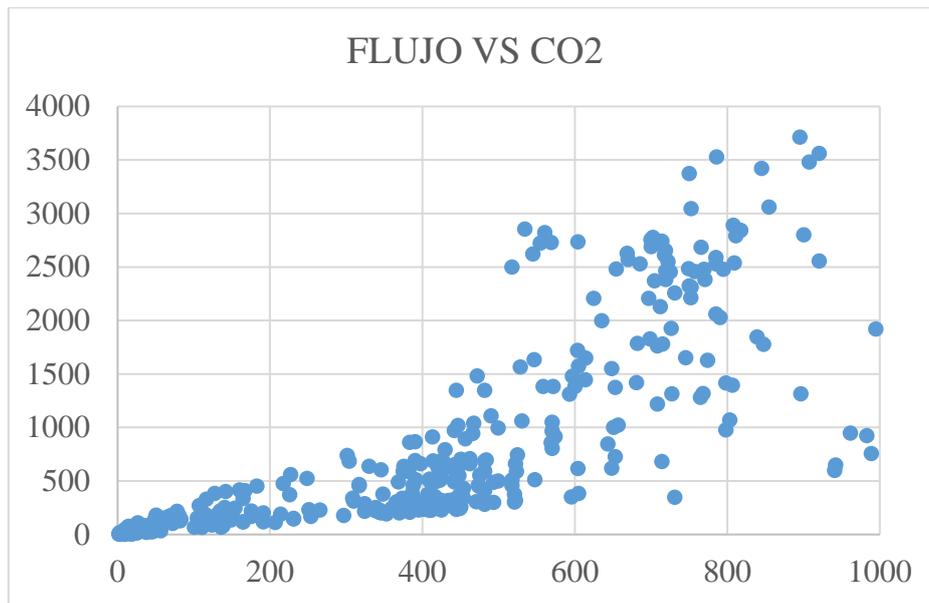


Figura 3.1. *Relación entre flujo y CO₂.*
Fuente: Autores a partir de Excel.

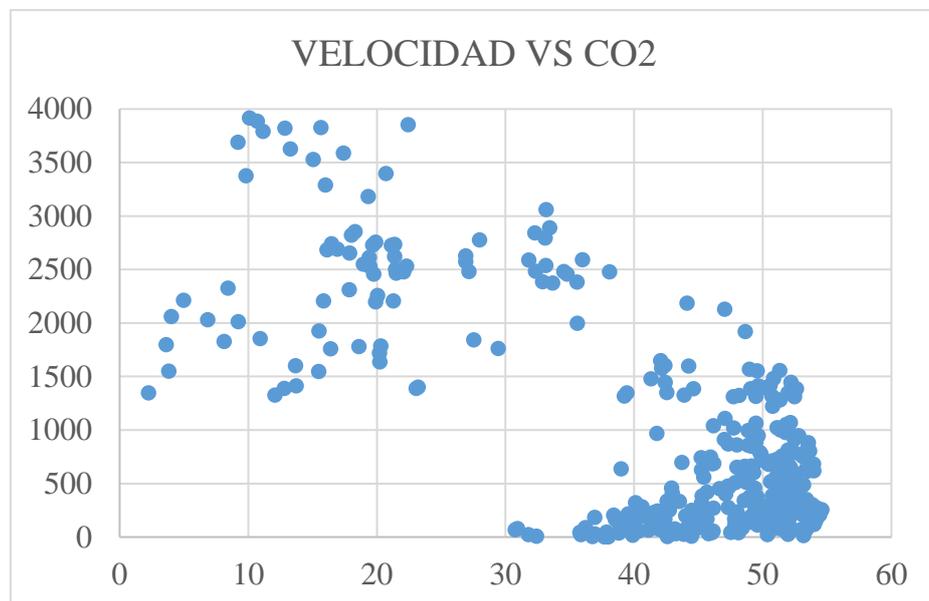


Figura 3.2. *Relación entre velocidad y CO₂.*
Fuente: Autores a partir de Excel.

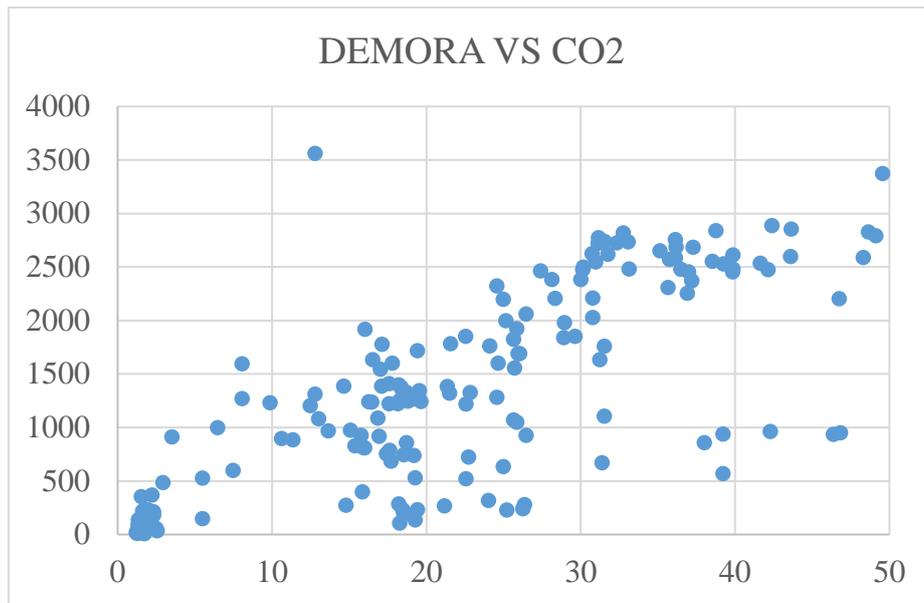


Figura 3.3. *Relación entre demora y CO₂.*

Fuente: Autores a partir de Excel.

3.1.2. Flujo, Velocidad y Demora vs VOC

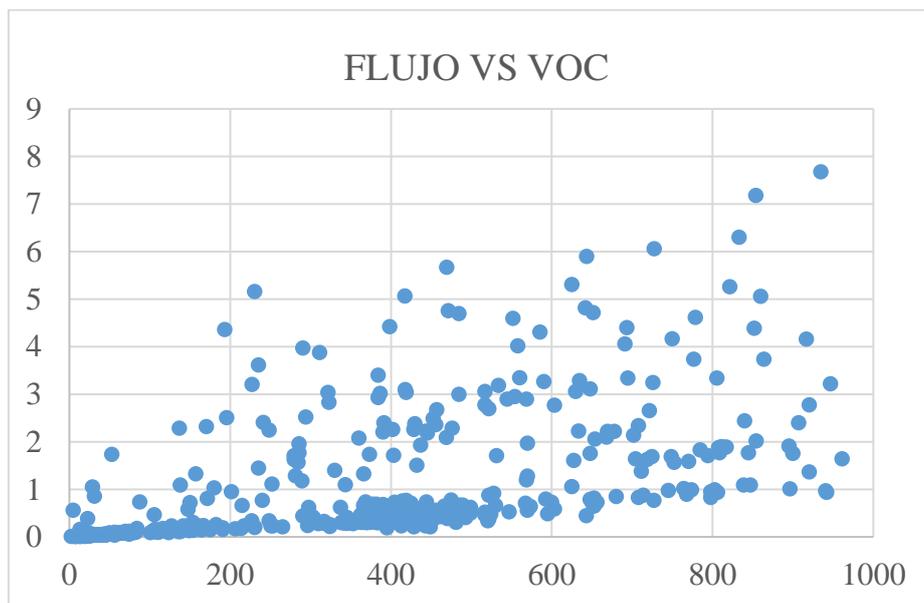


Figura 3.4. *Relación entre flujo y VOC.*

Fuente: Autores a partir de Excel.

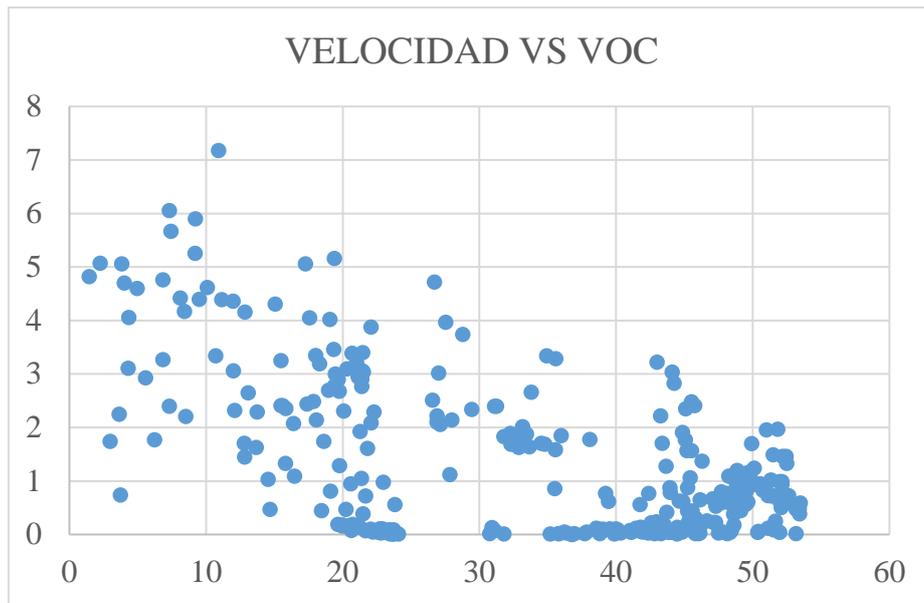


Figura 3.5. Relación entre velocidad y VOC.

Fuente: Autores a partir de Excel.

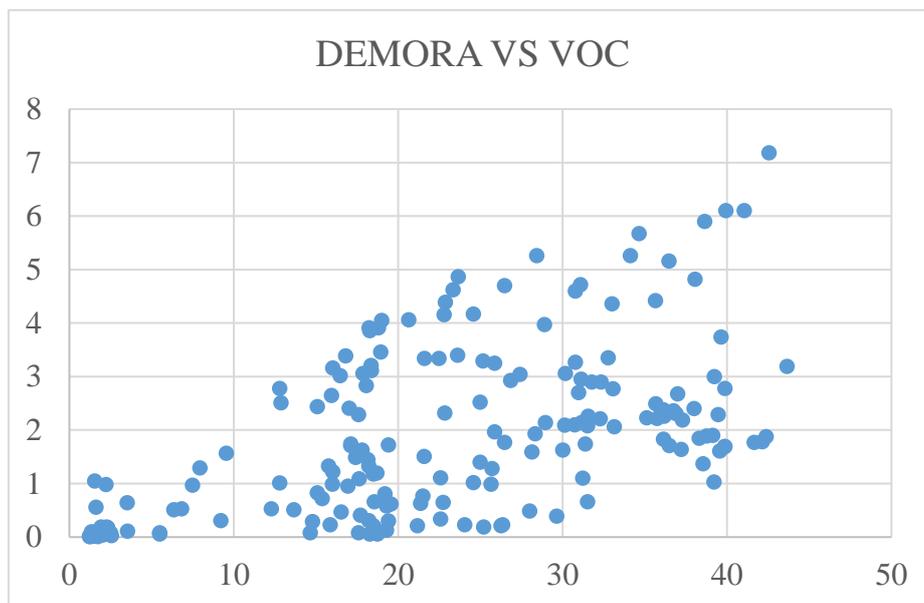


Figura 3.6. Relación entre demora y VOC.

Fuente: Autores a partir de Excel.

3.1.3. Flujo, Velocidad y Demora vs NOx

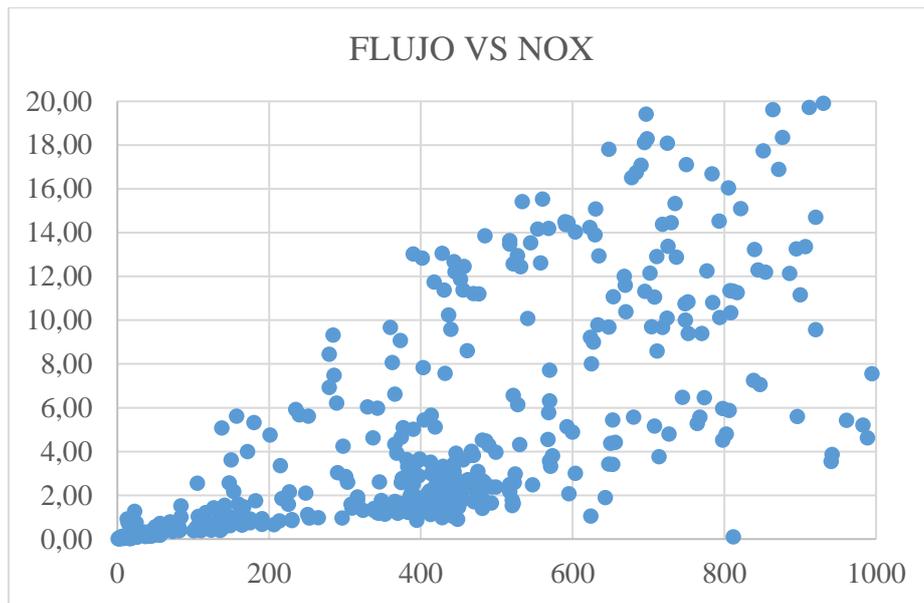


Figura 3.7. Relación entre flujo y NOX.
Fuente: Autores a partir de Excel.

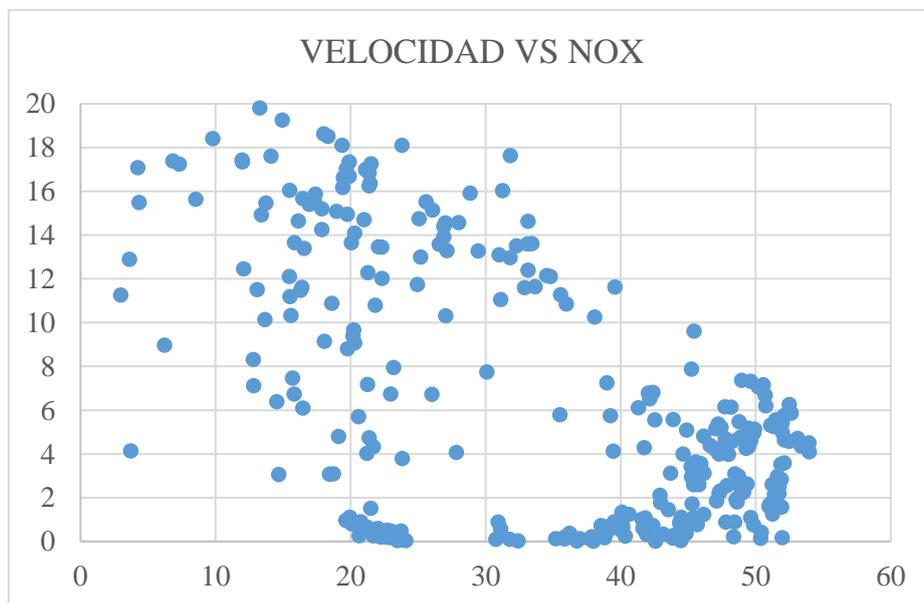


Figura 3.8. Relación entre velocidad y NOX.
Fuente: Autores a partir de Excel.

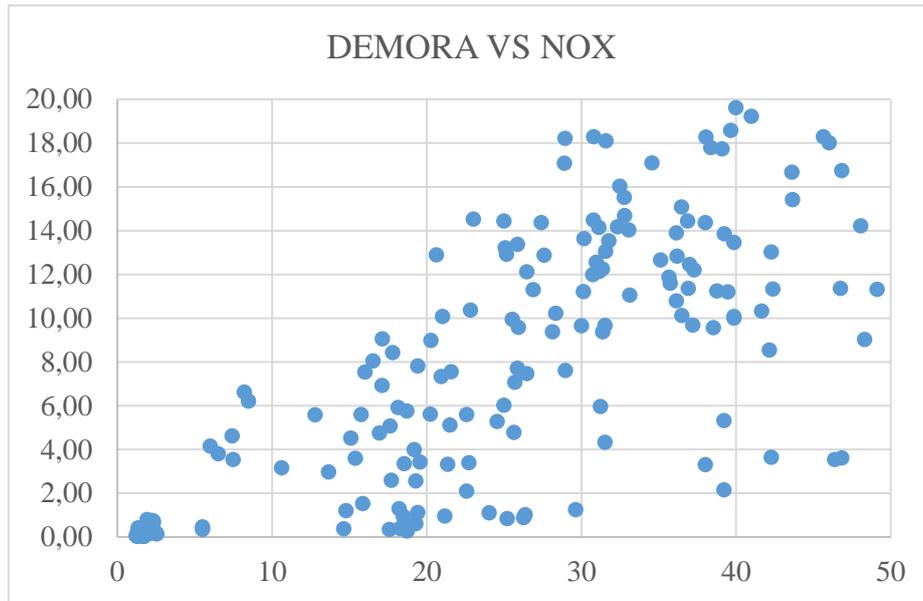


Figura 3.9. *Relación entre demora y NOX.*

Fuente: Autores a partir de Excel.

3.1.4. Flujo, Velocidad y Demora vs MP

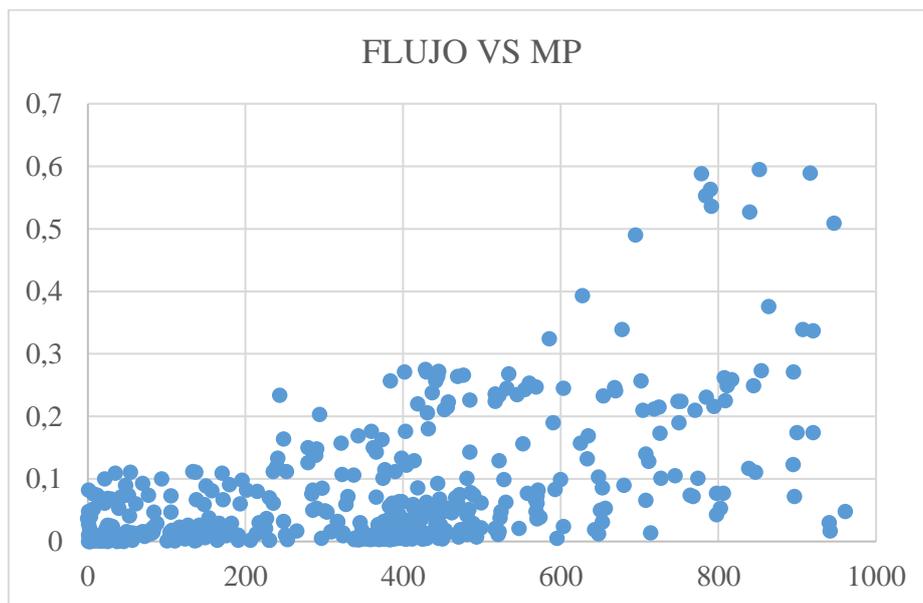


Figura 3.10. *Relación entre flujo y MP.*

Fuente: Autores a partir de Excel.

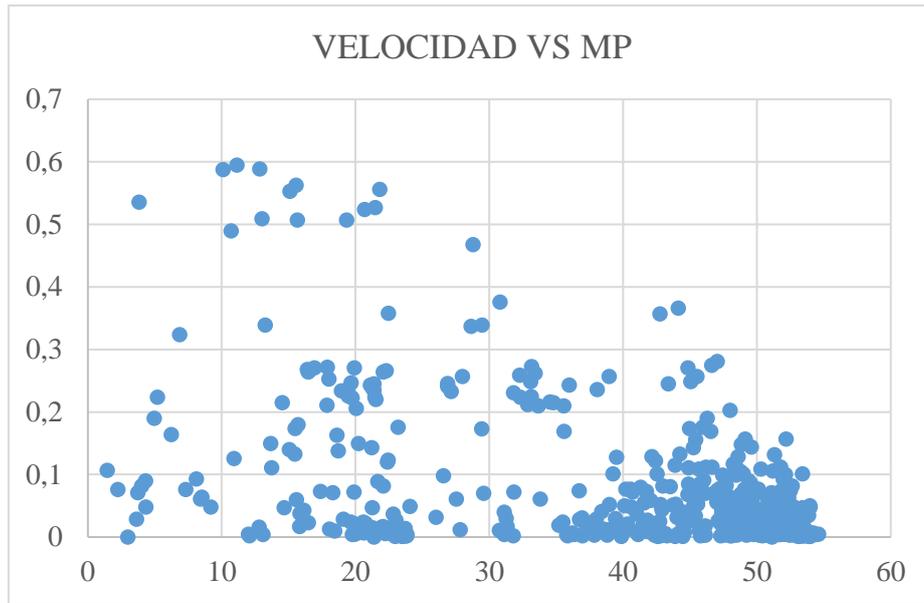


Figura 3.11. *Relación entre velocidad y MP.*

Fuente: Autores a partir de Excel.

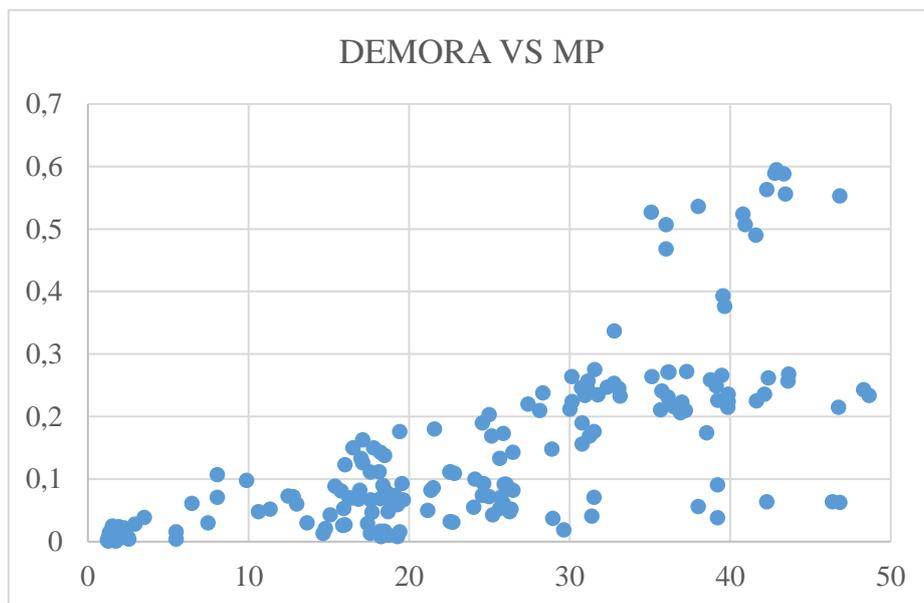


Figura 3.12. *Relación entre demora y MP.*

Fuente: Autores a partir de Excel.

Como se observa en los gráficos previamente obtenidos, el comportamiento de los contaminantes es similar y proporcional para las variables independientes de flujo y demora. En cuanto a la velocidad, el comportamiento es distinto, ya que, los valores más altos de contaminantes se dan en velocidades bajas y, a medida que la velocidad se incrementa los contaminantes disminuyen. Cabe recalcar que para nuestro caso de estudio y por las características geométricas de nuestra vía, la media de velocidades se encuentra en un rango de 40 km/h a 50 km/h. Estudios previos realizados en un viario de jerarquía colectora, tal es el caso de, la tesis elaborada por el Ing. Christian Marcelo Moyano Tobar y precursor de la línea de investigación, el cual, desempeña su investigación en la Av. 10 de Agosto y por las ingenieras Berenice Cubides y Gisella Chavez en la Av. Don Bosco. Revelan de igual manera que, los valores más elevados de contaminantes se dan en velocidades bajas, sin embargo, las características geométricas y los parámetros operacionales del viario difieren de nuestro caso de estudio. A pesar de que las condiciones no son las mismas es importante destacar que para las variables demora y velocidad el comportamiento de los contaminantes es análogo.

3.2. Determinación del modelo matemático

Se propuso inicialmente como método de cálculo de los coeficientes la regresión lineal multivariable y la regresión lineal multivariable polinomial, sin embargo, los resultados obtenidos nos muestran que ambos análisis son válidos, pero, que por motivos geométricos y operacionales el primer análisis se ajusta mejor y cumple con los estándares estadísticos mencionados en el apartado 1.17 para nuestro caso de estudio en particular.

El método de la regresión lineal multivariable consiste en correlacionar de manera lineal dos o más variables para la obtención de coeficientes y mediante los criterios estadísticos verificar si brindan el nivel de confianza esperado. Por otro lado, el método de regresión lineal multivariable polinomial obtiene coeficientes para cada variable independiente permite la interacción entre variables modelando a la variable dependiente como un polinomio de grado n , brindando una posible mejor correlación de datos y describiendo un comportamiento que se asemeje a una función curva.

Se obtuvo un total de 4 ecuaciones a partir de la herramienta estadística informática Minitab 18, las cuales, describen de manera ajustada el fenómeno de la contaminación del aire consecuencia del tráfico vehicular.

La siguiente tabla muestra los rangos de flujo, velocidad y demora para los cuales las ecuaciones son válidas:

Tabla 3.1. *Límites para la aplicación del modelo matemático.*

Flujo	Velocidad	Demora
0 – 1000 veh / h	0 – 60 km / h	0 - 50 s

Fuente: *Autores a partir de Excel.*

Se muestra a continuación los dos tipos de análisis realizados. El preliminar, el cual, permitió depurar la información y obtener los coeficientes para saber el nivel de confianza y el grado de ajuste de las primeras cuatro ecuaciones y el segundo, el preliminar, que se lo realizó como método de prueba alternativo para verificar si se tiene un mejor comportamiento con mayor nivel de confianza que describa el fenómeno de la contaminación. Cabe recalcar que el análisis definitivo se lo realiza debido a que existe antecedentes previos que demuestran que para ese caso en particular se ajusta de mejor manera, sin embargo, las condiciones del viario son distintas a las del presente trabajo de investigación, por lo que, se espera llegar a una conclusión definitiva y analizar cuál de los dos modelos describe de mejor manera el comportamiento de la contaminación para nuestro caso en particular.

3.3. Análisis preliminar (regresión lineal multivariable)

3.3.1. Análisis de regresión: CO₂ vs Flujo, Velocidad y Demora.

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	53054213	17684738	88,84	0,000
FLUJO	1	1912978	1912978	9,61	0,003
VELOCIDAD	1	8745235	8745235	43,93	0,000
DEMORA	1	12082334	12082334	60,70	0,000
Error	88	17516956	199056		
Total	91	70571169			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
446,157	75,18%	74,33%	72,72%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1115	252	4,42	0,000	
FLUJO	0,659	0,212	3,10	0,003	1,22
VELOCIDAD	-25,00	3,77	-6,63	0,000	1,32
DEMORA	40,48	5,20	7,79	0,000	1,43

Ecuación de regresión

Ecuación 27

$$\mathbf{CO_2 = 1115 + 0,659 F - 25,00 V + 48,48 D}$$

CO₂ = gr

Flujo = veh / h

Velocidad = Km / h

Demora = seg

Esta ecuación muestra la relevancia de la variable demora con respecto a las otras variables independientes, ya que, su coeficiente es mucho mayor con respecto a los otros. Este comportamiento se puede observar también en estudios anteriores tales como: la estimación de la contaminación del aire en la Av. 10 de Agosto a cargo del Ing. Christian Marcelo Moyano y en la Av. Don Bosco a cargo de las ingenieras Berenice Cubides y Gisella Chavez, las cuales, muestran la gran importancia de la variable demora en las emisiones de CO₂.

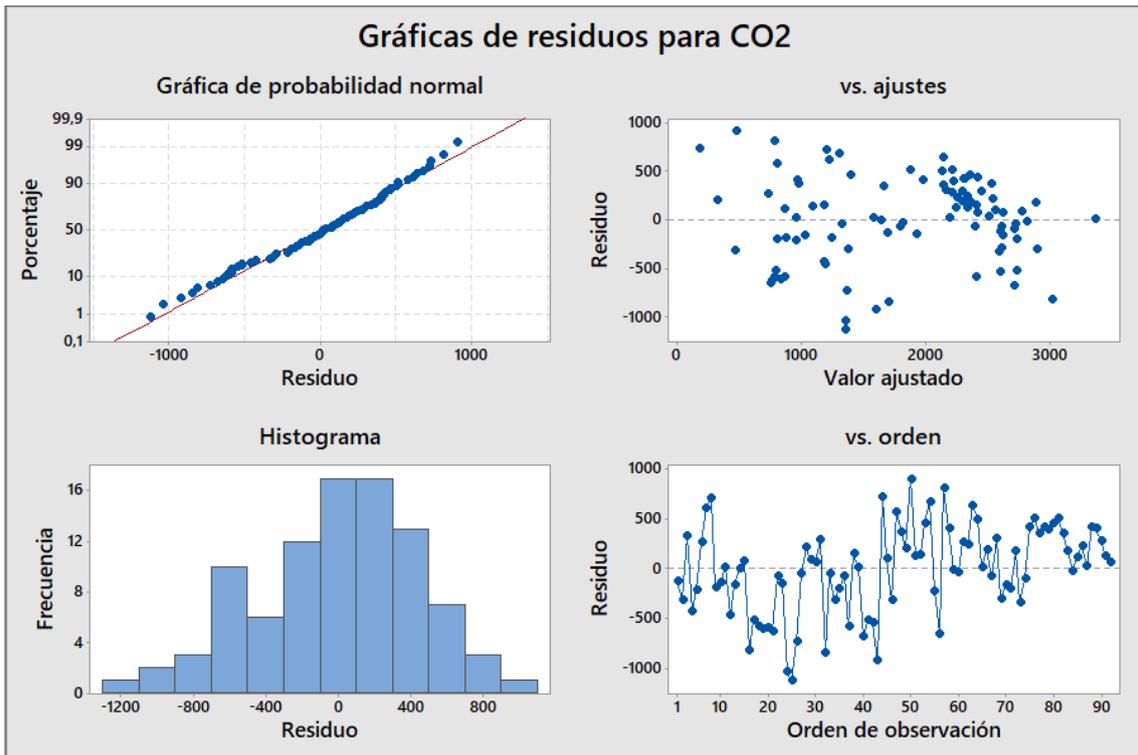


Figura 3.13. Residuos para CO₂.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

El gráfico muestra que el análisis cumple con los parámetros estadísticos de normalidad de los residuos. La gráfica de probabilidad normal presenta residuos ajustados a la línea de tendencia con errores mínimos, sin embargo, existen ciertos valores en los extremos ligeramente alejados de la media. El histograma muestra una distribución relativamente normal y simétrica de datos con desviaciones estándar apegadas a la media. La gráfica de ajuste representa la Homocedasticidad, es decir, varianza con respecto a la media y, finalmente, el gráfico de orden comprueba la aleatoriedad de los datos. Cabe recalcar que los datos obtenidos, a partir de, la herramienta de micro simulación, son muestras de viarios representativos de la ciudad de Cuenca, las cuales, servirán para la obtención de un modelo matemático general, el cual, permitirá obtener estos datos sin la ayuda de la herramienta informática Aimsun 8.1.

3.3.2. Análisis de regresión: NOx vs Flujo, Velocidad y Demora.

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	5226,7	1742,24	127,63	0,000

FLUJO	1	850,1	850,09	62,27	0,000
VELOCIDAD	1	1803,3	1803,29	132,10	0,000
DEMORA	1	1089,6	1089,62	79,82	0,000
Error	173	2361,6	13,65		
Total	176	7588,3			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3,69471	68,88%	68,34%	66,89%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	7,537	0,809	9,31	0,000	
FLUJO	0,007859	0,000996	7,89	0,000	1,33
VELOCIDAD	-0,2814	0,0245	-11,49	0,000	1,05
DEMORA	0,1886	0,0211	8,93	0,000	1,29

Ecuación de regresión

Ecuación 28

$$\mathbf{NOx = 7,537 + 0,007859 F - 0,2814 V + 0,1886 D}$$

NOx = gr

Flujo = veh / h

Velocidad = Km / h

Demora = seg

Para el caso de los óxidos nitrosos se observa mayor incidencia en cuanto a la velocidad de la circulación y la demora, las cuales, están directamente relacionadas con las esperas en los semáforos los tiempos de viajes, manteniendo una tendencia con respecto a estudios predecesores, los cuales. como se había mencionado antes se desarrollan en las avenidas 10 de Agosto y Don Bosco, en donde, las variables más influyentes son la velocidad y la demora

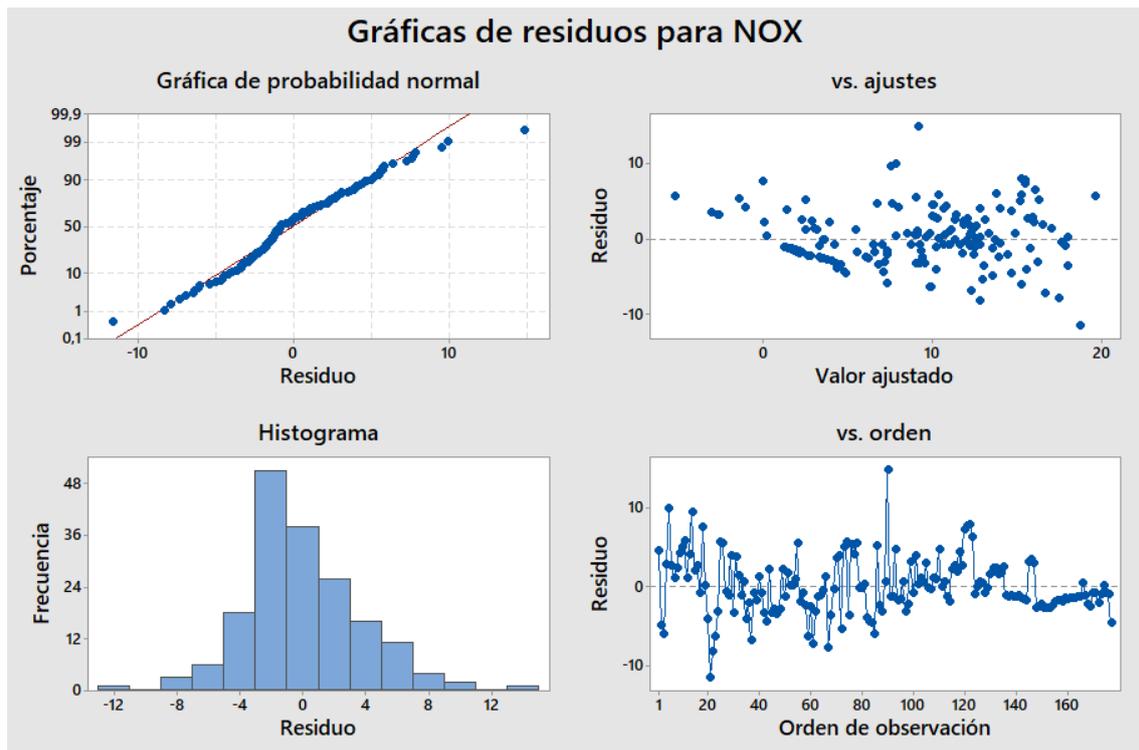


Figura 3.14. *Residuos para NOx.*
Fuente: *Autores a partir de Minitab 18.*

El gráfico muestra que el análisis cumple con los parámetros estadísticos de normalidad de los residuos. La gráfica de probabilidad normal presenta residuos ajustados a la línea de tendencia con errores mínimos, sin embargo, existen ciertos valores en los extremos ligeramente alejados de la media. El histograma muestra una distribución relativamente normal y simétrica de datos con desviaciones estándar apegadas a la media. La gráfica de ajuste representa la Homocedasticidad, es decir, varianza con respecto a la media y, finalmente, el gráfico de orden comprueba la aleatoriedad de los datos. Cabe recalcar que los datos obtenidos, a partir de, la herramienta de micro simulación, son muestras de viarios representativos de la ciudad de Cuenca, las cuales, servirán para la obtención de un modelo matemático general, el cual, permitirá obtener estos datos sin la ayuda de la herramienta informática Aimsun 8.1.

3.3.3. Análisis de regresión: VOC vs Flujo, Velocidad y Demora.

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	175,06	58,3531	59,21	0,000
FLUJO	1	30,96	30,9609	31,41	0,000

VELOCIDAD	1	67,27	67,2695	68,26	0,000
DEMORA	1	71,75	71,7455	72,80	0,000
Error	112	110,38	0,9855		
Total	115	285,44			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,992746	61,33%	60,29%	58,71%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	1,502	0,267	5,62	0,000	
FLUJO	0,001603	0,000286	5,60	0,000	1,03
VELOCIDAD	-0,06136	0,00743	-8,26	0,000	1,01
DEMORA	0,05351	0,00627	8,53	0,000	1,02

Ecuación de regresión

Ecuación 29

$$\mathbf{VOC = 1,502 + 0.001603 F - 0.06136 V + 0.05351 D}$$

VOC = gr

Flujo = veh / h

Velocidad = Km / h

Demora = seg

En el caso de los compuestos orgánicos volátiles, de igual manera se evidencia que la velocidad y las demoras, a pesar de, ser variables en función del flujo son aquellas que predominan. Cabe recalcar que, los coeficientes en los compuestos orgánicos volátiles, en el material particulado y en los óxidos son inferiores a cero debido a las concentraciones de estos contaminantes son muy inferiores a las concentraciones de CO₂ generadas por el parque automotor en la hora de máxima demanda.

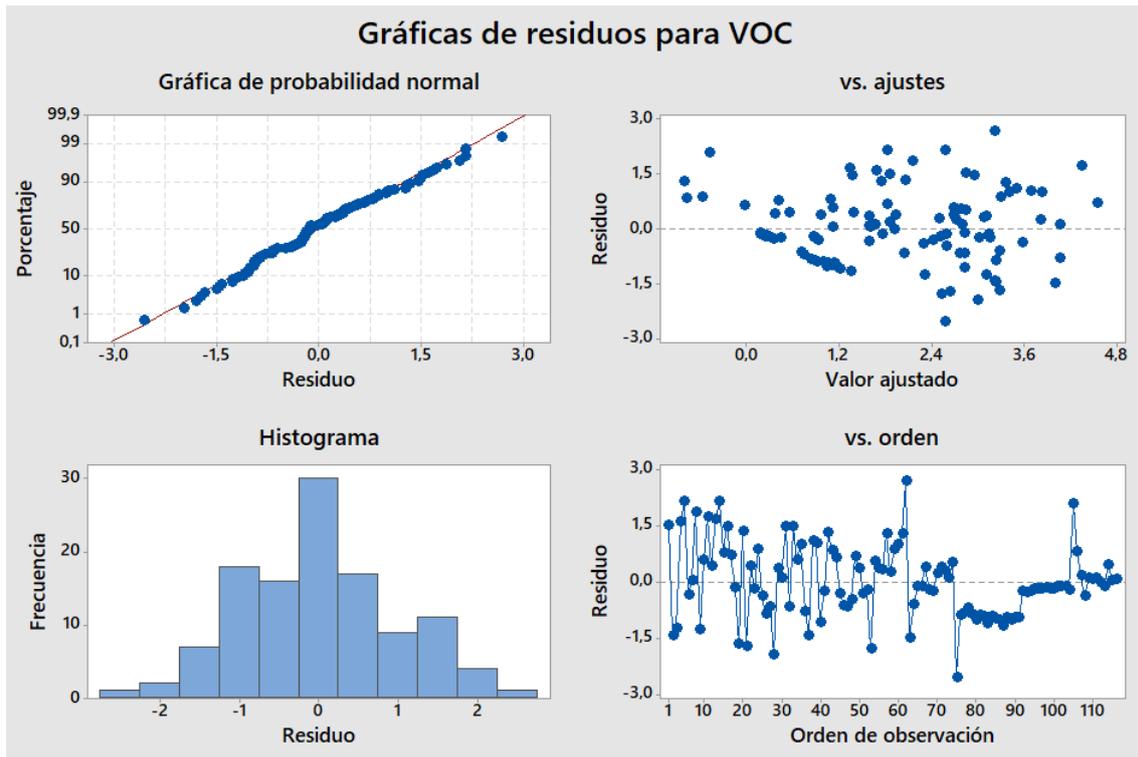


Figura 3.15. Residuos para VOC.

Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

El gráfico muestra que el análisis cumple con los parámetros estadísticos de normalidad de los residuos. La gráfica de probabilidad normal presenta residuos ajustados a la línea de tendencia con errores mínimos, sin embargo, existen ciertos valores en los extremos ligeramente alejados de la media. El histograma muestra una distribución relativamente normal y simétrica de datos con desviaciones estándar apegadas a la media. La gráfica de ajuste representa la Homocedasticidad, es decir, varianza con respecto a la media y, finalmente, el gráfico de orden comprueba la aleatoriedad de los datos. Cabe recalcar que los datos obtenidos, a partir de, la herramienta de micro simulación, son muestras de varios representativos de la ciudad de Cuenca, las cuales, servirán para la obtención de un modelo matemático general, el cual, permitirá obtener estos datos sin la ayuda de la herramienta informática Aimsun 8.1.

3.3.4. Análisis de regresión: MP vs Flujo, Velocidad y Demora.

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	2,2817	0,760558	142,42	0,000

FLUJO	1	0,2549	0,254944	47,74	0,000
VELOCIDAD	1	0,2363	0,236273	44,24	0,000
DEMORA	1	0,4384	0,438380	82,09	0,000
Error	173	0,9238	0,005340		
Total	176	3,2055			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0730762	71,18%	70,68%	69,05%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0,0507	0,0158	3,21	0,002	
FLUJO	0,000155	0,000022	6,91	0,000	1,85
VELOCIDAD	-0,002889	0,000434	-6,65	0,000	1,01
DEMORA	0,004767	0,000526	9,06	0,000	1,84

Ecuación de regresión

Ecuación 30

$$\underline{\underline{MP = 0,0507 + 0,000155 F - 0,002889 V + 0,004767 D}}$$

MP = gr

Flujo = veh / h

Velocidad = Km / h

Demora = seg

Finalmente, y de igual manera que en el CO₂, y en la ecuación del material particulado se observa una gran influencia de la demora en la obtención de los resultados, estableciendo una gran relevancia de esta variable en todas las emisiones contaminantes.

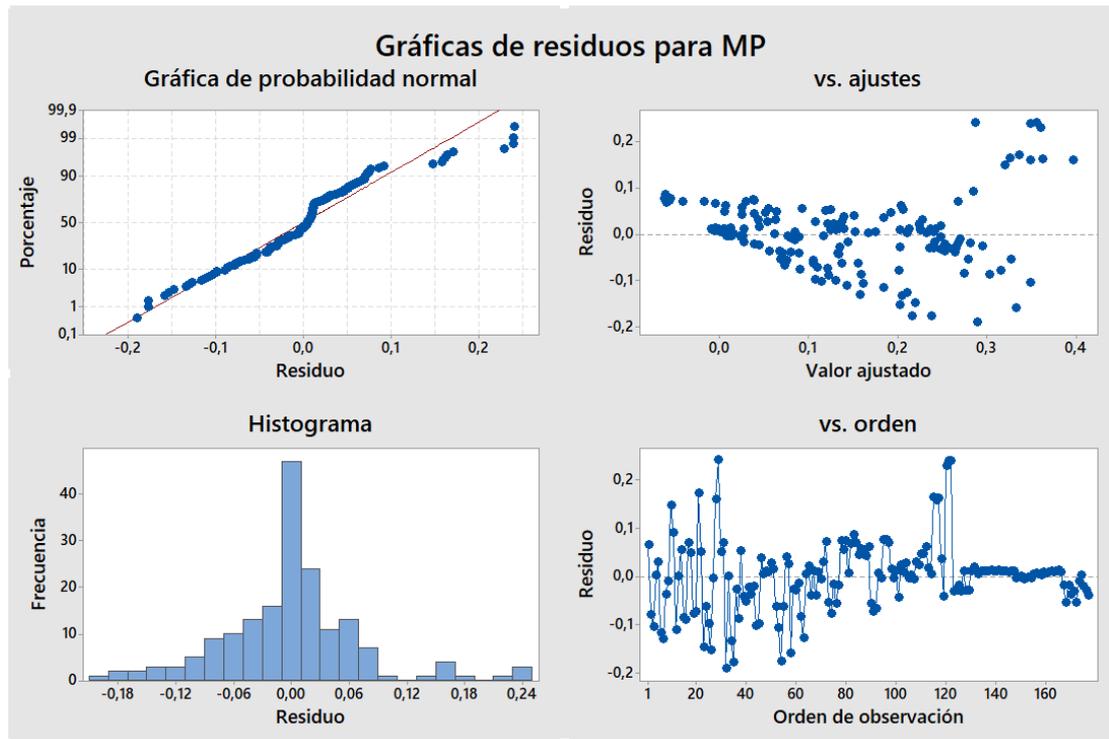


Figura 3.16. *Residuos para MP.*
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

El gráfico muestra que el análisis cumple con los parámetros estadísticos de normalidad de los residuos. La gráfica de probabilidad normal presenta residuos ajustados a la línea de tendencia con errores mínimos, sin embargo, existen ciertos valores en los extremos ligeramente alejados de la media. El histograma muestra una distribución relativamente normal y simétrica de datos con desviaciones estándar apegadas a la media. La gráfica de ajuste representa la Homocedasticidad, es decir, varianza con respecto a la media y, finalmente, el gráfico de orden comprueba la aleatoriedad de los datos. Cabe recalcar que los datos obtenidos, a partir de, la herramienta de micro simulación, son muestras de viarios representativos de la ciudad de Cuenca, las cuales, servirán para la obtención de un modelo matemático general, el cual, permitirá obtener estos datos sin la ayuda de la herramienta informática Aimsun 8.1.

3.4. Análisis definitivo (regresión lineal multivariable polinomial)

Puesto que, en el análisis preliminar el coeficiente de correlación entre variables R^2 oscila entre 60% y 70%. Este no es más que un coeficiente que mide el ajuste de los datos con respecto al modelo y va de 0% a 100%, mientras más elevado mejor. Es por ello que, se planteó el desarrollo del segundo análisis descrito a continuación.

Se optó por aplicar el método de la regresión lineal multivariable polinomial, para verificar si se ajusta de mejor manera a la realidad debido a la forma de análisis entre variables con el propósito de obtener un grado de confianza mayor. De igual manera, con el fin de incorporar la mayor cantidad de pares de datos al análisis y mediante variables regresoras, se buscó correlacionar a las variables independientes multiplicándolas entre sí y elevando al cuadrado como los siguientes ejemplos: Flujo * Velocidad, Flujo * Demora, Velocidad * Demora y Flujo², Velocidad², y Demora², ya que, el comportamiento de la función que se busca obtener, con este análisis podría no ser una línea recta sino un comportamiento que describa una función curva.

Para que este análisis definitivo fuera válido y adecuado para su comparación con el análisis preliminar, se ingresó de igual manera a la herramienta informática estadística, Minitab 18, todas las combinaciones de variables posibles. Se descartaron todas aquellas combinaciones que por probabilidad de residuos el valor “p” superase a 0.5, ya que, dicho valor mide que las variables disponibles estén correctamente consideradas y cuantifica la evidencia disponible en contra de la hipótesis nula. Valores de “p” cercanos a cero proporcionan evidencia más confiable en contra la hipótesis nula y una adecuada correlación entre variables.

3.4.1. Análisis de regresión: CO₂ vs Flujo; Flujo * Demora; Flujo * Velocidad

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	58924699	19641566	74,07	0,000
FLUJO	1	4214889	4214889	15,89	0,000
FLUJO*DEMORA	1	11841542	11841542	44,65	0,000
FLUJO*VLOCIDAD	1	12200657	12200657	46,01	0,000
Error	94	24926877	265180		
Total	97	83851575			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
514,956	70,27%	69,32%	67,46%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	670	144	4,64	0,000	
FLUJO	1,641	0,412	3,99	0,000	3,57
FLUJO * DEMORA	0,04813	0,00720	6,68	0,000	2,39
FLUJO * VELOCIDAD	-0,04013	0,00592	-6,78	0,000	1,81

Ecuación de regresión*Ecuación 31*

$$\mathbf{CO_2 = 670 + 1,641 F + 0,04813 F * D - 0,04013 F * V}$$

CO₂ = gr

Flujo = veh / h

Velocidad = Km / h

Demora = seg

Obs	CO2	Ajuste	Resid	Resid est.	
2	2590	3449	-859	-1,79	X
6	599	692	-93	-0,19	X
11	1557	1691	-135	-0,28	X
45	1598	1789	-191	-0,40	X

Estadístico de Durbin – Watson

Estadístico de Durbin-Watson = 0,994278

Los valores de “p” no superan el valor mínimo requerido y el coeficiente de correlación es elevado indicando un buen ajuste.

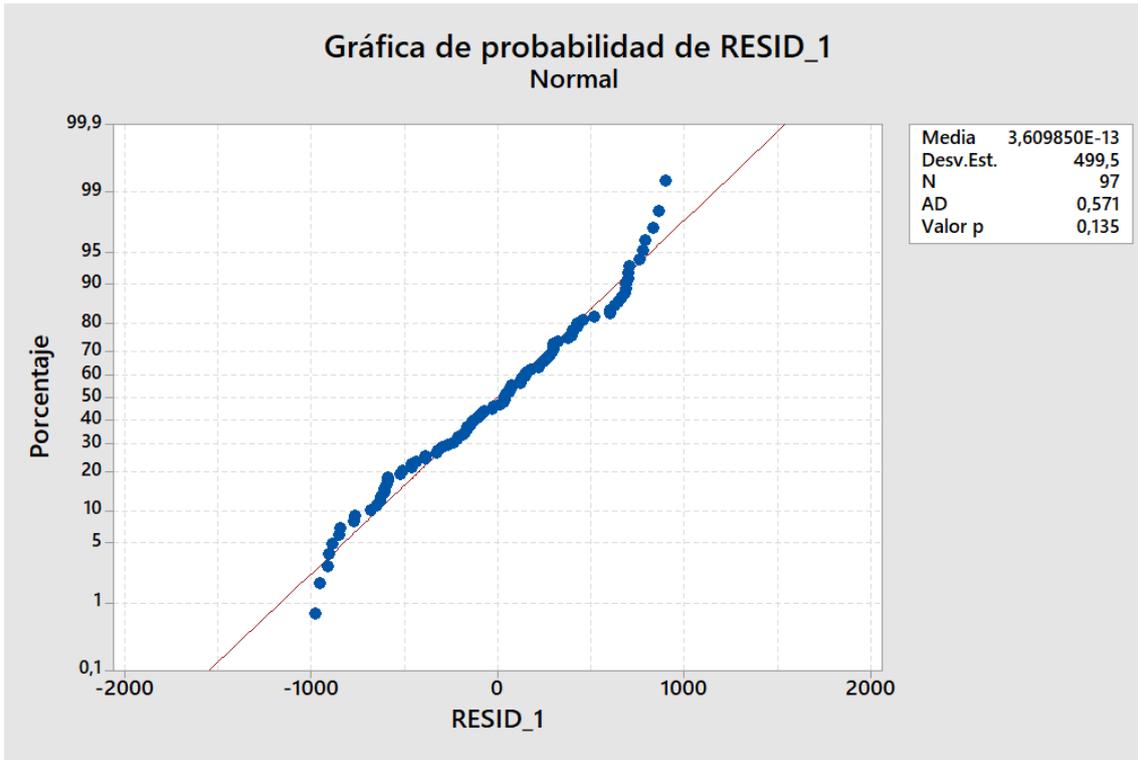


Figura 3.17. Gráfica de probabilidad de residuos.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

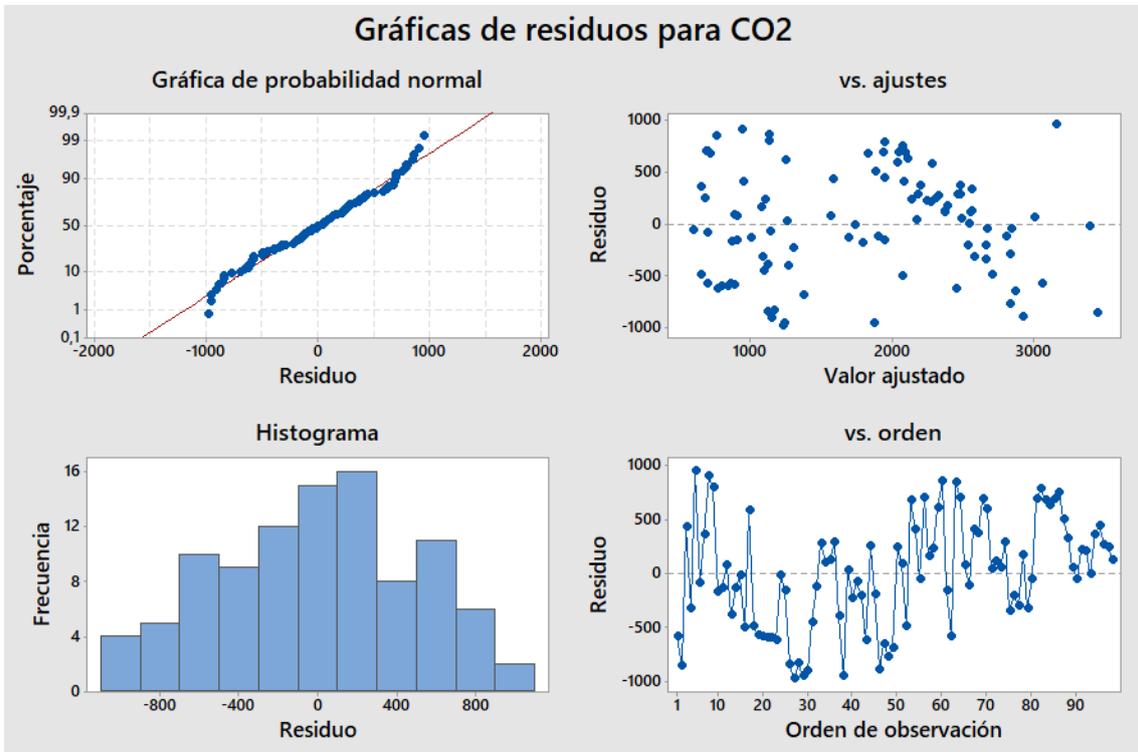


Figura 3.18. Residuos para CO₂.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

A diferencia del análisis preliminar, la normalidad de los residuos en cada gráfico se observa que para el caso del CO₂ los datos tienen cierta dispersión sin formar una línea de tendencia marcada. Los residuos en la gráfica de probabilidad normal siguen la línea de tendencia de mejor manera en el centro, sin embargo, existe datos en los extremos alejados lo que supone residuos altos y una disminución en el grado de confianza del modelo. La Homocedasticidad en el gráfico de valor de ajuste presenta varianza uniforme con respecto a la media cumpliendo con el criterio estadístico. El histograma muestra una curva relativamente normal de datos con desviaciones estándar y varianza bajas. Finalmente, el gráfico de orden comprueba la aleatoriedad de los datos.

3.4.2. Análisis de regresión: NO_x vs Demora²; Flujo²; Velocidad²

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	4102	1367,46	67,86	0,000
D2	1	1232	1232,00	61,14	0,000
F2	1	1010	1010,27	50,14	0,000
V2	1	1615	1615,17	80,16	0,000
Error	173	3486	20,15		
Total	176	7588			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4,48888	54,06%	53,27%	50,45%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	6,987	0,619	11,29	0,000	
D2	0,003541	0,000453	7,82	0,000	1,07
F2	0,000007	0,000001	7,08	0,000	1,08
V2	-0,004504	0,000503	-8,95	0,000	1,02

Ecuación de regresión*Ecuación 32*

$$\text{NOX} = 6,987 + 0,003541 D^2 + 0,000007 F^2 - 0,004504 V^2$$

NOx = gr

Flujo = veh / h

Velocidad = Km / h

Demora = seg

Obs	NOX	Ajuste	Resid	Resid est.	
3	9,04	17,91	-8,87	-2,03	R
7	4,17	4,26	-0,09	-0,02	X
8	4,63	2,08	2,55	0,59	X
14	17,09	7,12	9,96	2,23	R
21	7,09	21,25	-14,16	-3,40	R X
26	25,15	20,37	4,78	1,14	X
30	6,14	11,59	-5,45	-1,30	X
59	3,51	13,37	-9,86	-2,39	R X
61	9,32	19,03	-9,71	-2,27	R X
73	21,40	12,36	9,04	2,03	R
74	20,91	11,04	9,87	2,21	R
90	24,02	8,27	15,75	3,53	R
121	23,10	13,36	9,74	2,20	R
122	23,07	12,70	10,37	2,33	R

Estadístico de Durbin – Watson

Estadístico de Durbin-Watson = 1,09930

Los valores de “p” no superan el valor mínimo requerido y el coeficiente de correlación es elevado indicando un buen ajuste.

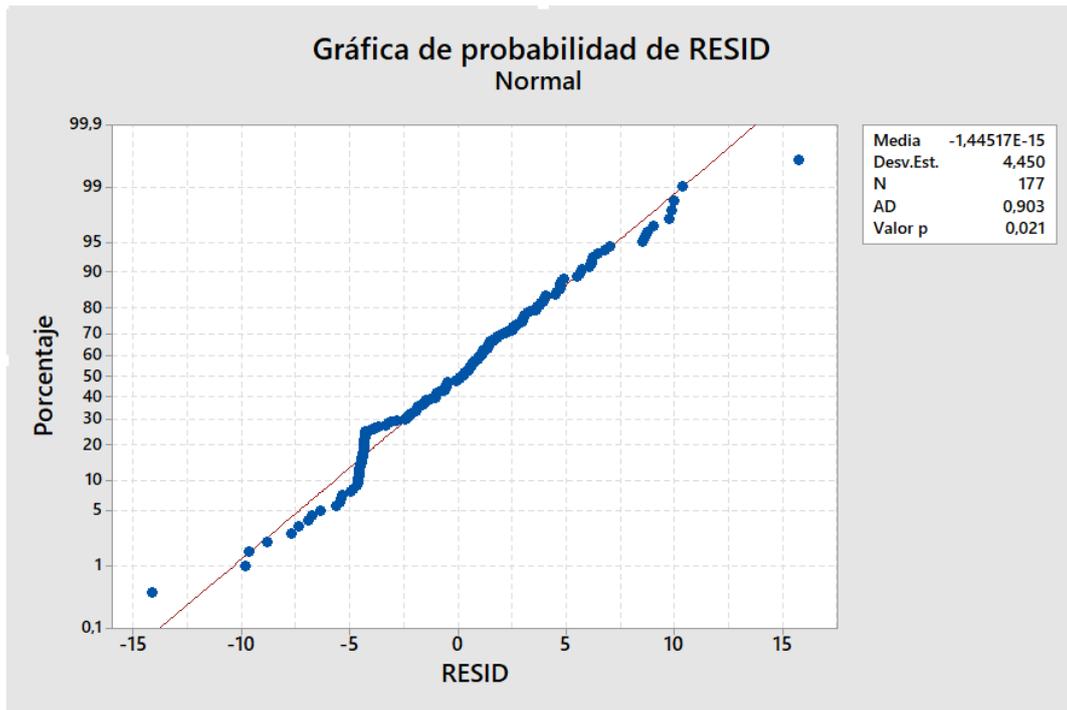


Figura 3.19. Gráfica de probabilidad de residuos.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

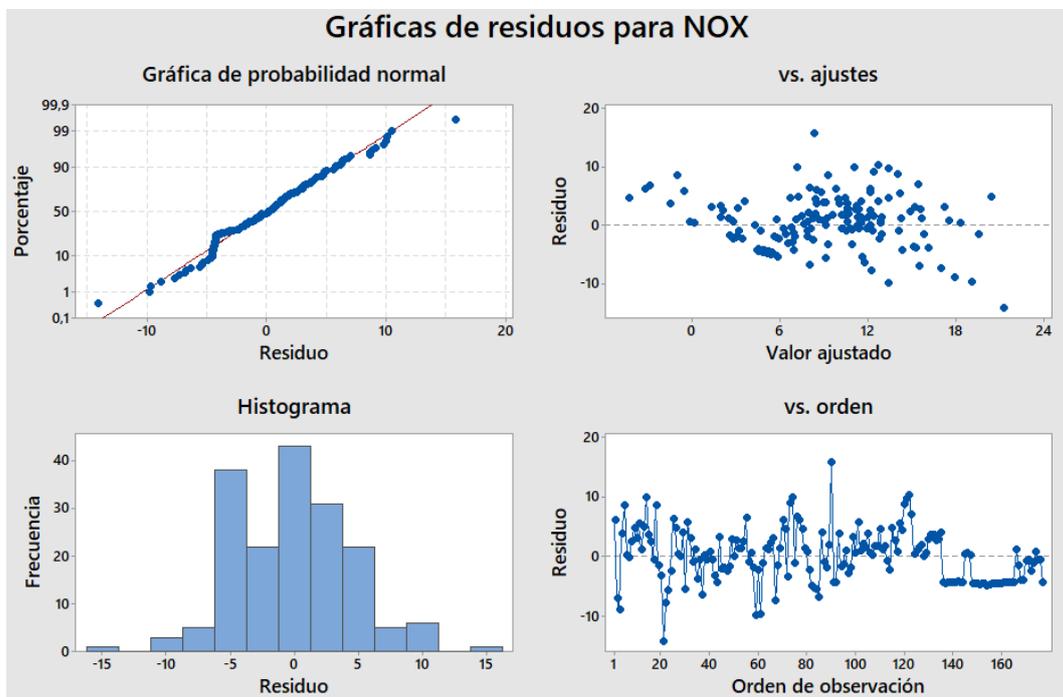


Figura 3.20. Residuos para NOx.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

A diferencia del análisis preliminar, la normalidad de los residuos en cada gráfico se observa que para el caso del NOx los datos tienen cierta dispersión sin formar una línea de tendencia marcada. Los residuos en la gráfica de probabilidad normal siguen la línea de tendencia en el centro, sin embargo, existe datos en los extremos y ciertos datos cercanos a la mitad alejados lo que supone residuos altos y una disminución incluso mayor en el grado de confianza del modelo. La Homocedasticidad en el gráfico de valor de ajuste presenta varianza uniforme con respecto a la media cumpliendo con el criterio estadístico. El histograma muestra una curva relativamente normal de datos con desviaciones estándar y varianza bajas al lado izquierdo, sin embargo, en el derecho se observa un incremento lo que supone anomalía de datos o que la distribución de datos no se ajusta a una curva normal. Finalmente, el gráfico de orden comprueba la aleatoriedad de los datos.

3.4.3. Análisis de regresión: VOC vs Demora²; Flujo²; Velocidad

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	139,09	46,364	35,48	0,000
D2	1	44,84	44,842	34,32	0,000
F2	1	36,05	36,051	27,59	0,000
VELOCIDAD	1	78,19	78,189	59,84	0,000
Error	112	146,35	1,307		
Total	115	285,44			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1,14310	48,73%	47,36%	44,72%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	2,424	0,267	9,07	0,000	
D2	0,000933	0,000159	5,86	0,000	1,00
F2	0,000002	0,000000	5,25	0,000	1,03
VELOCIDAD	-0,06700	0,00866	-7,74	0,000	1,03

Ecuación de regresión*Ecuación 33*

$$\text{VOC} = 2,424 + 0,000933 D^2 + 0,00000 F^2 - 0,06700 V$$

VOC = gr

Flujo = veh / h

Velocidad = Km / h

Demora = seg

Obs	VOC	Ajuste	Resid	Resid est.	
5	4,720	2,179	2,541	2,23	R
9	1,030	2,472	-1,442	-1,33	X
12	0,990	1,007	-0,017	-0,02	X
14	3,970	1,487	2,483	2,19	R
17	5,260	5,118	0,142	0,14	X
21	0,920	3,110	-2,190	-2,17	R X
62	5,900	2,941	2,959	2,62	R

Estadístico de Durbin – Watson

Estadístico de Durbin-Watson = 1,40289

Los valores de “p” no superan el valor mínimo requerido y el coeficiente de correlación es elevado indicando un buen ajuste.

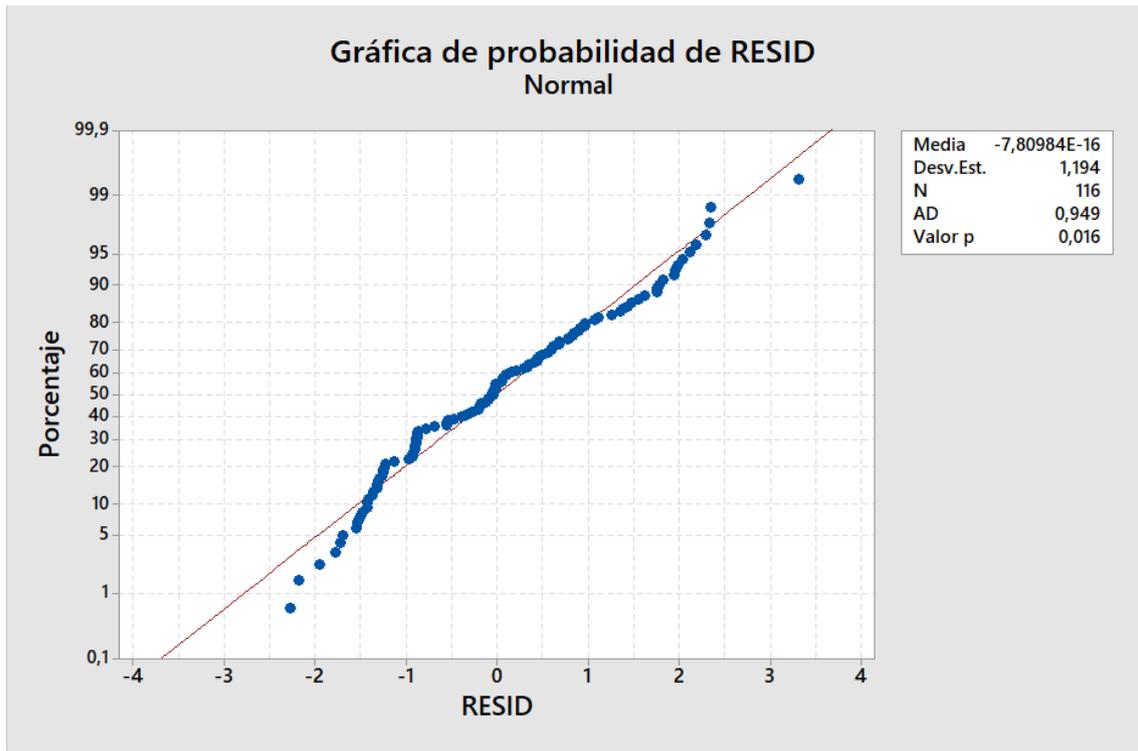


Figura 3.21. Gráfica de probabilidad de residuos.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

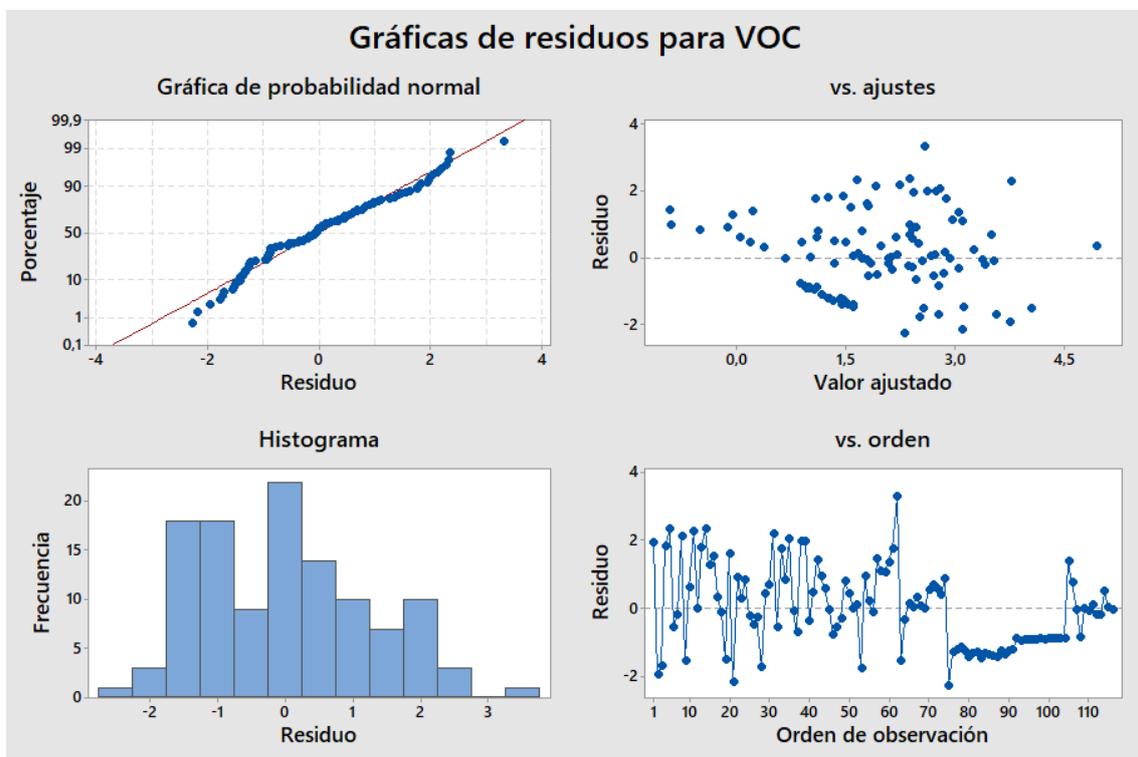


Figura 3.22. Residuos para VOC.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

A diferencia del análisis preliminar, la normalidad de los residuos en cada gráfico se observa que para el caso del VOC los datos tienen cierta dispersión sin formar una línea de tendencia marcada. Los residuos en la gráfica de probabilidad normal siguen la línea de tendencia en el centro, sin embargo, existen datos en los extremos y ciertos datos cercanos a la mitad alejados lo que supone residuos altos y una disminución incluso mayor en el grado de confianza del modelo. La Homocedasticidad en el gráfico de valor de ajuste presenta varianzas uniformes con respecto a la media cumpliendo con el criterio estadístico. El histograma muestra una curva relativamente normal de datos con desviaciones estándar y varianzas bajas al lado izquierdo, sin embargo, en el derecho se observa un incremento lo que supone anomalía de datos o que la distribución de datos no se ajusta a una curva normal. Finalmente, el gráfico de orden comprueba la aleatoriedad de los datos.

3.4.4. Análisis de regresión: MP vs Flujo²; Velocidad²; Demora²; Flujo * Velocidad

Análisis de varianzas

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	2,32735	0,581838	113,56	0,000
F2	1	0,34813	0,348132	67,95	0,000
D2	1	0,62698	0,626985	122,37	0,000
V2	1	0,00311	0,003115	0,61	0,437
FV	1	0,12218	0,122177	23,85	0,000
Error	173	0,88637	0,005124		
Total	177	3,21372			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,0715787	72,42%	71,78%	68,80%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0,0526	0,0106	4,98	0,000	
F2	0,000000	0,000000	8,24	0,000	5,72

D2	0,000106	0,000010	11,06	0,000	1,40
V2	-0,000008	0,000010	-0,78	0,437	2,09
FV	-0,000006	0,000001	-4,88	0,000	6,76

Ecuación de regresión

Ecuación 34

$$\text{MP} = 0,0526 + 0,000000 \text{ F}^2 + 0,000106 \text{ D}^2 - 0,000000 \text{ V}^2 - 0,000006 \text{ F} * \text{V}$$

MP = gr

Flujo = veh / h

Velocidad = Km / h

Demora = seg

Obs	MP	Ajuste	Resid	Resid est.		
3	0,2430	0,4333	-0,1903	-2,74	R	
6	0,0670	0,1663	-0,0993	-1,48	X	
7	0,0270	0,1289	-0,1019	-1,52	X	
23	0,0710	0,2147	-0,1437	-2,15	R	X
28	0,5560	0,5974	-0,0414	-0,65	X	
29	0,5270	0,2907	0,2363	3,33	R	
32	0,0990	0,3813	-0,2823	-4,44	R	X
35	0,0380	0,2068	-0,1688	-2,40	R	
58	0,1740	0,3826	-0,2086	-2,99	R	
116	0,4900	0,3380	0,1520	2,16	R	
118	0,5240	0,4833	0,0407	0,60	X	
121	0,5890	0,4314	0,1576	2,27	R	
122	0,5950	0,4109	0,1841	2,65	R	
123	0,5880	0,3885	0,1995	2,85	R	

Estadístico de Durbin – Watson

Estadístico de Durbin-Watson = 1,57164

Los valores de “p” no superan el valor mínimo requerido y el coeficiente de correlación es elevado indicando un buen ajuste.

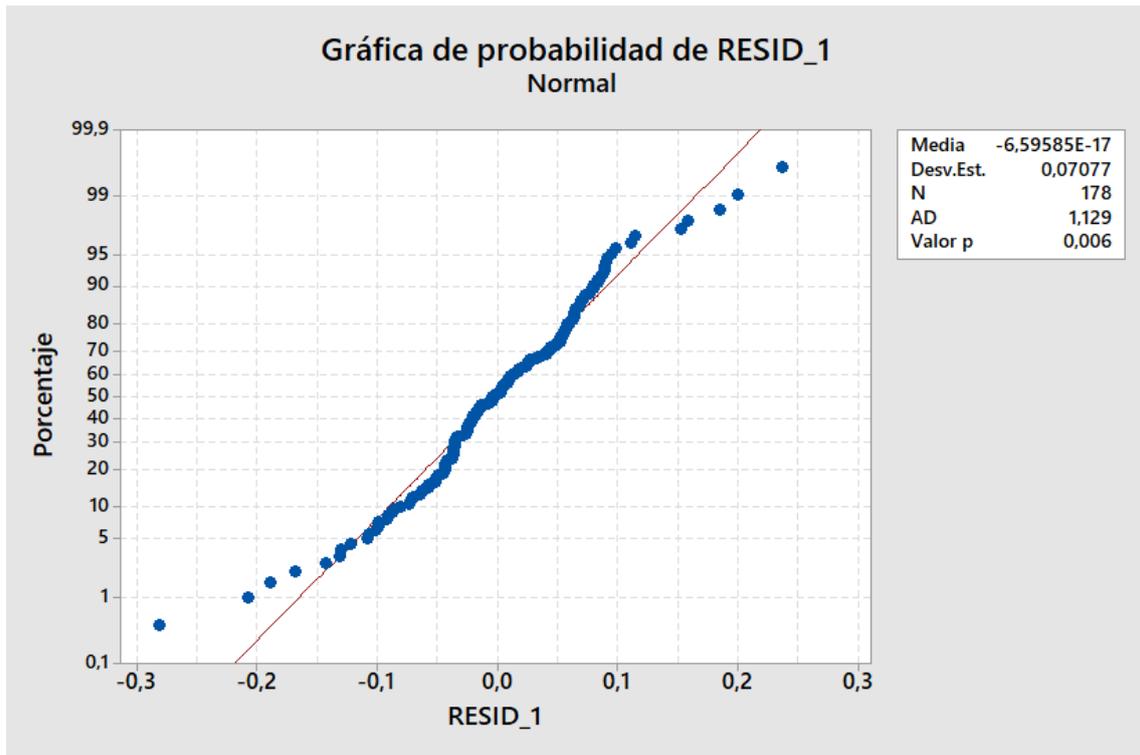


Figura 3.23. Gráfica de probabilidad de residuos.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

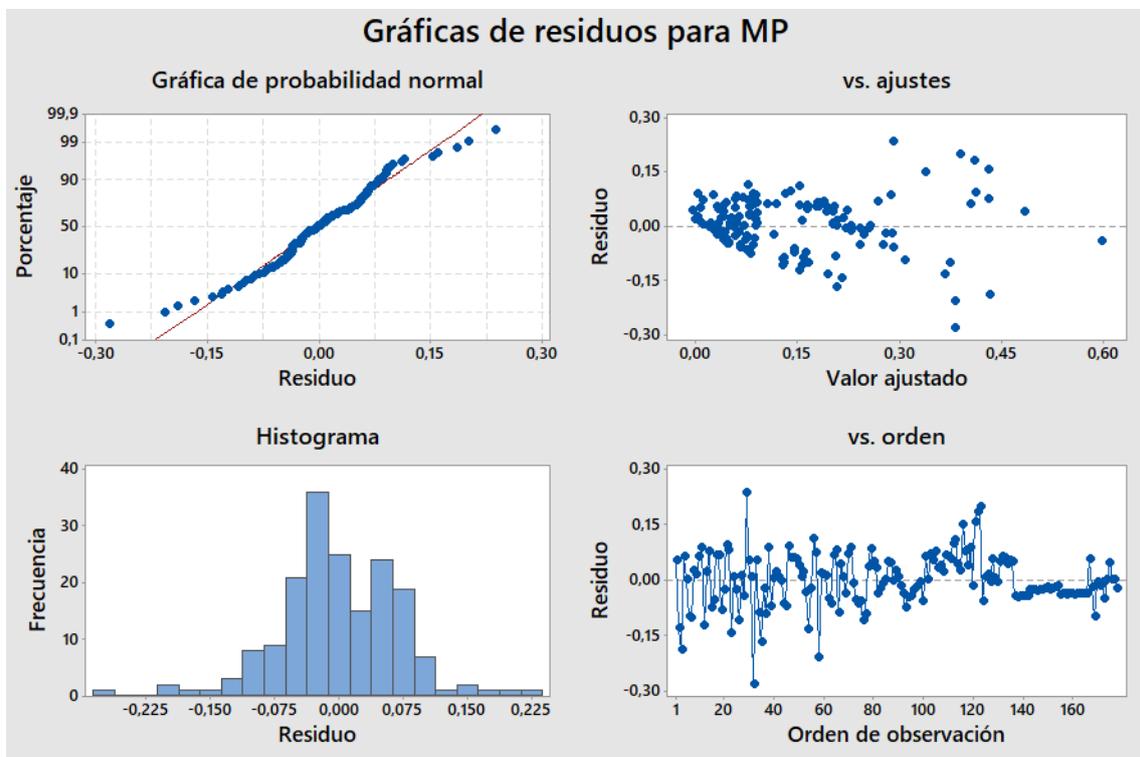


Figura 3.24. Residuos para MP.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

A diferencia del análisis preliminar, la normalidad de los residuos en cada gráfico se observa que para el caso del MP los datos tienen cierta dispersión sin formar una línea de tendencia marcada. Los residuos en la gráfica de probabilidad normal siguen la línea de tendencia en el centro, sin embargo, existe datos en los extremos alejados de la media lo que supone residuos altos y una disminución mayor en el grado de confianza del modelo. La Homocedasticidad en el gráfico de valor de ajuste presenta varianzas uniformes con respecto a la media de cada dato cumpliendo con el criterio estadístico. El histograma muestra una curva relativamente normal de datos con desviaciones estándar y varianzas bajas al lado derecho, sin embargo, en el izquierdo se observa un incremento lo que supone anomalía de datos o que la distribución de datos no se ajusta a una curva normal. Finalmente, el gráfico de orden comprueba la aleatoriedad de los datos.

En las ecuaciones de los contaminantes previamente desplegadas, se puede observar un comportamiento similar a las obtenidas en el apartado anterior. Para el caso del flujo, se ve una dependencia menor con respecto de las otras variables ya que sus coeficientes en todas las ecuaciones son menores, sin embargo, aunque el coeficiente es bajo los valores de flujo son altos en un conteo manual y puede aumentar en gran cantidad por diversas condiciones de tránsito. En el caso de la velocidad, se evidencia que su relación en las ecuaciones es significativa, sin embargo, estos valores no pueden variar demasiado, ya que, por características geométricas, parámetros operaciones y por tipos de flujo en un eje colector las velocidades no pueden aumentar de manera muy significativa. Finalmente, en el caso de la variable demora se convierte en la variable más influyente de todas las ecuaciones obtenidas en este segundo análisis, ya que, sus factores son los más elevados en cada una de los resultados. Por lo cual, en condiciones de tránsito si existiría un embotellamiento o un accidente los valores de los contaminantes aumentarían significativamente, ya que, los valores de los contaminantes son directamente proporcionales a la demora.

Tomando en cuenta las ecuaciones obtenidas en este segundo análisis y, dado que, no existe mayor diferencia entre los análisis planteados en lo que a capacidad de predicción se refiere, el análisis preliminar para nuestro caso en particular resulta ser el adecuado. Basándonos en el principio de parsimonia, el cual, infiere que; la mejor solución a un problema es la más sencilla teniendo dos posibilidades en condiciones similares, pero de distinto grado de complejidad y, puesto que, en el análisis definitivo se llevó a cabo operaciones y principios estadísticos más complejos y elaborados, se concluye que las

ecuaciones del análisis preliminar son las que mejor se ajustan para nuestro caso de estudio. Cabe recalcar que ambos análisis son aceptados, dado que, el presente caso de estudio no es más que una muestra significativa elaborada para obtener un modelo matemático general que como ya se mencionó anteriormente permitirá calcular la cantidad de contaminantes directamente sin necesidad de la herramienta informática Aimsun 8.1.

Para concluir, en los gráficos espaciales de dispersión se observa que la interacción presente entre variables de primer y segundo orden. Los puntos tienen un comportamiento muy similar a las gráficas presentadas al inicio del capítulo no existe una línea de tendencia marcada en ciertos contaminantes, sin embargo, cada gráfico describe un comportamiento análogo dependiendo del contaminante.

A continuación de la figura 3.21. a la figura 3.38. se observa las relaciones espaciales de dispersión que existe entre las variables independientes (Flujo, Velocidad y Demora) y las variables dependientes (CO_2 , VOC, NO_x , MP)

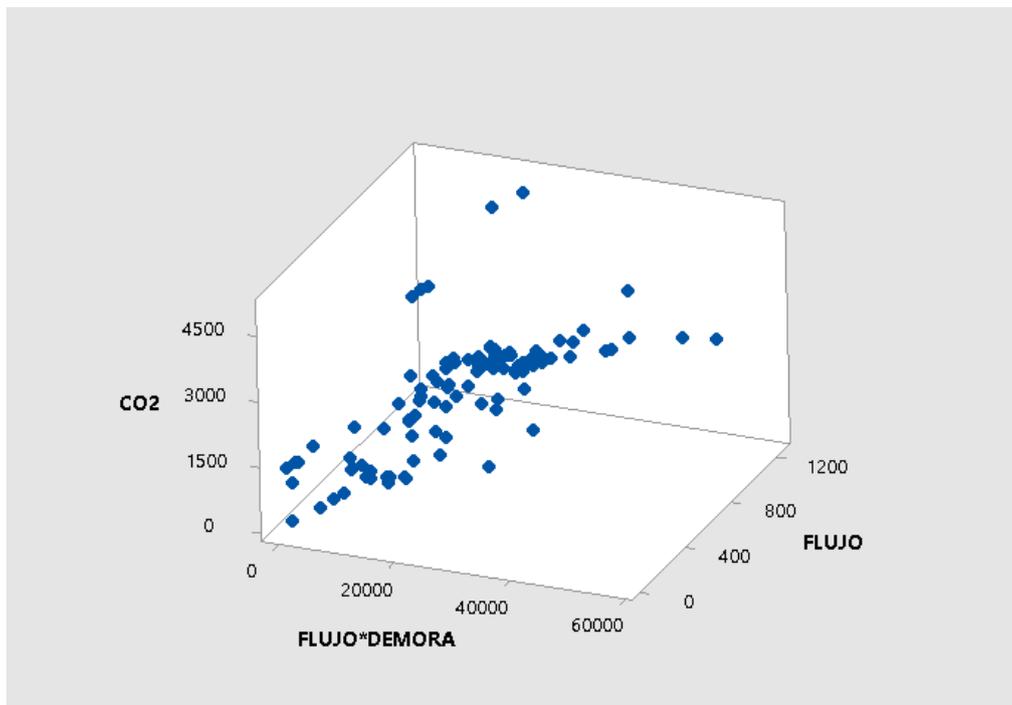


Figura 3.25. Gráfica de dispersión: CO_2 – Flujo; Flujo * Demora.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

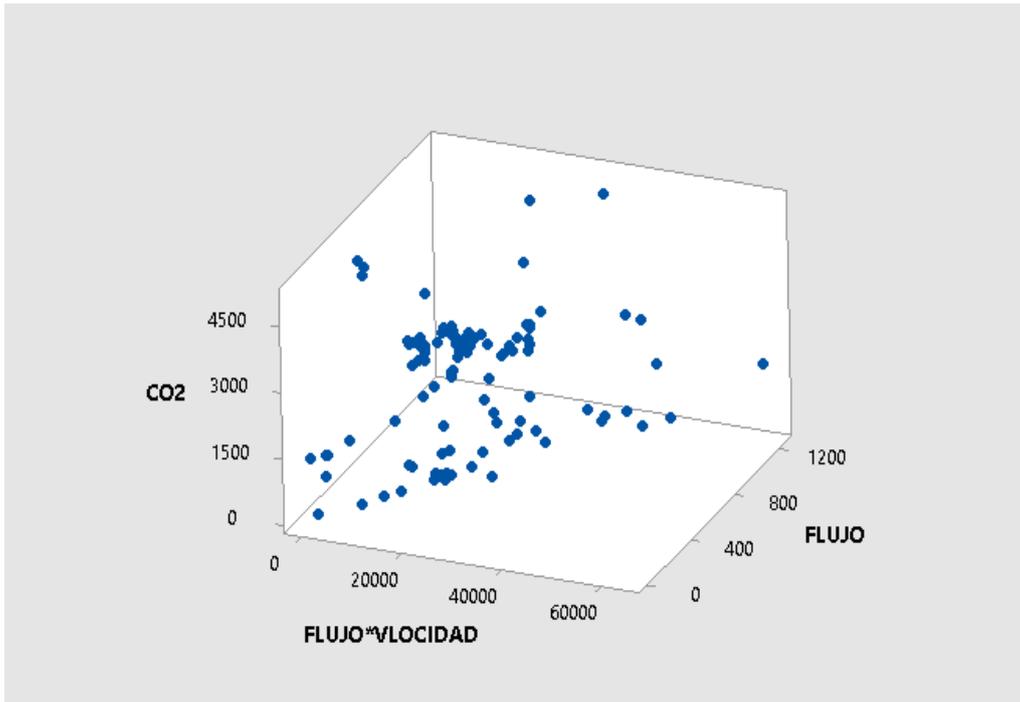


Figura 3.26. Gráfica de dispersión: CO₂ – Flujo * Velocidad; Flujo.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

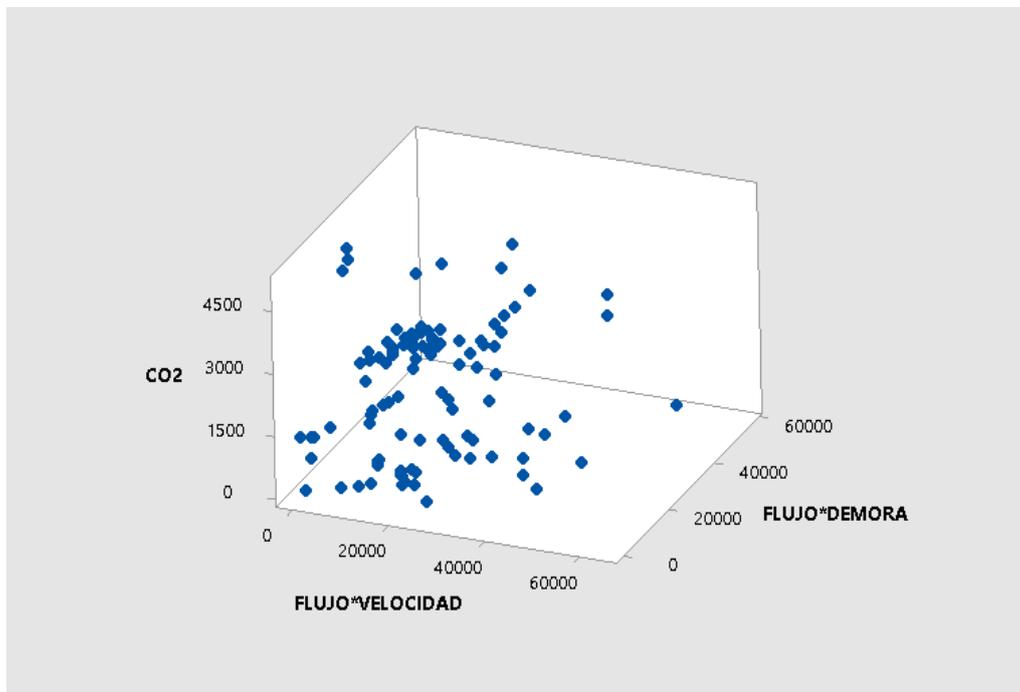


Figura 3.27. Gráfica de dispersión: CO₂ – Flujo * Velocidad; Flujo * Demora.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

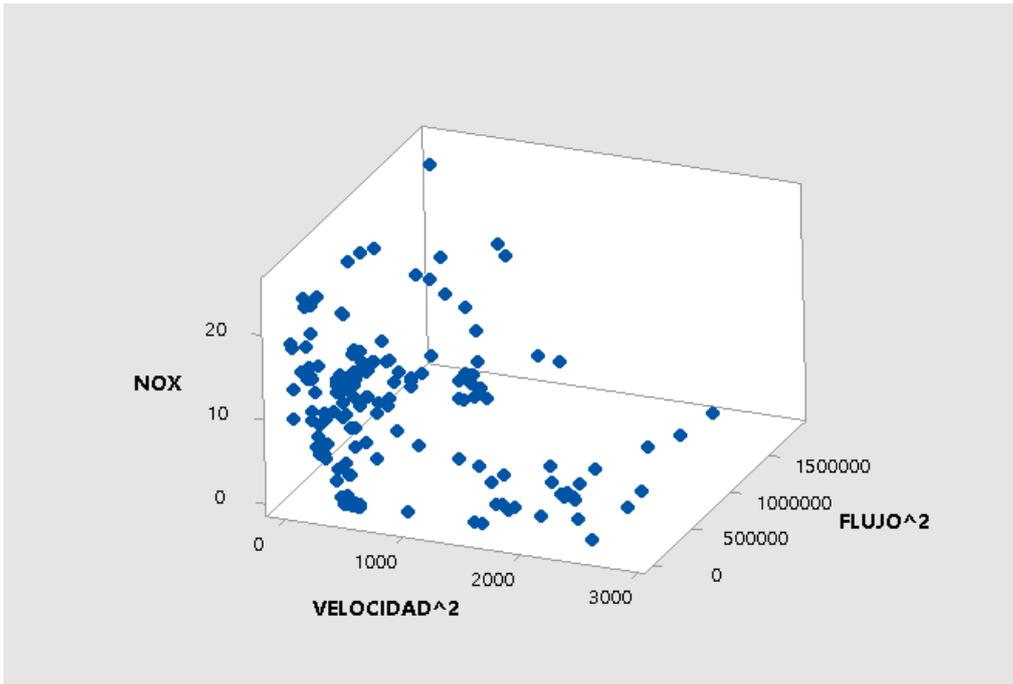


Figura 3.28. Gráfica de dispersión: NOx – Velocidad²; Flujo².
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

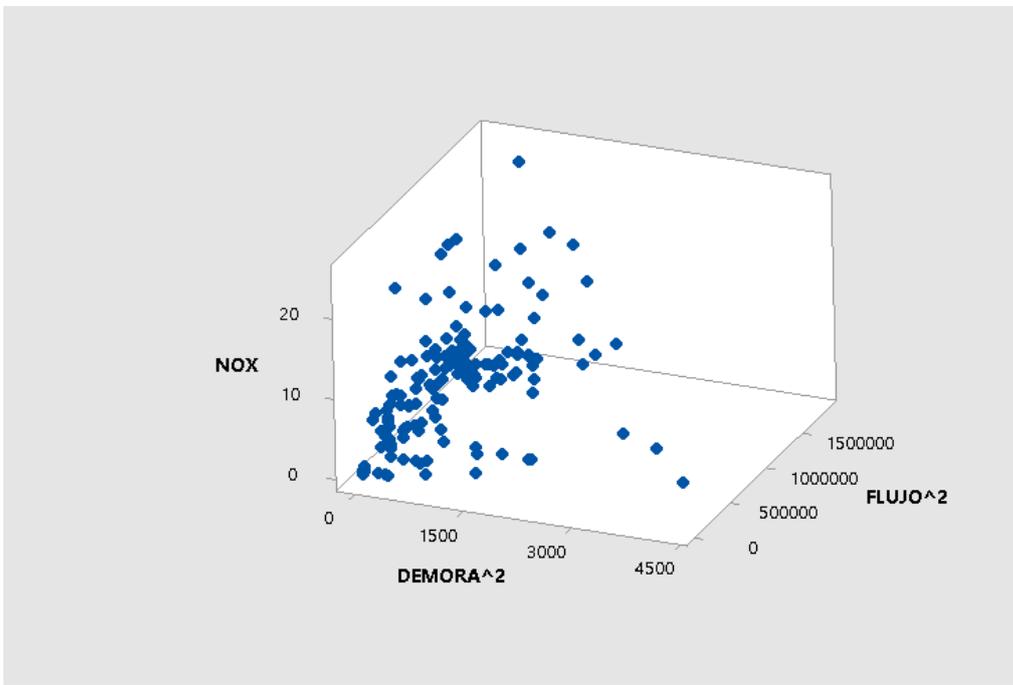


Figura 3.29. Gráfica de dispersión: NOx – Demora²; Flujo².
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

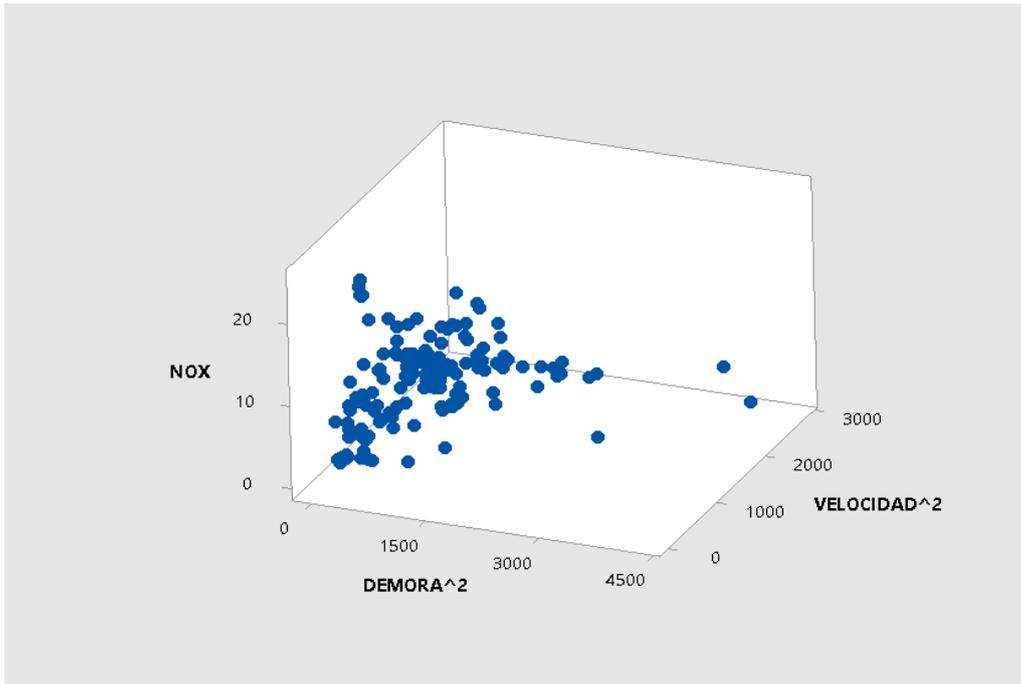


Figura 3.30. Gráfica de dispersión: NOx – Demora²; Velocidad².
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

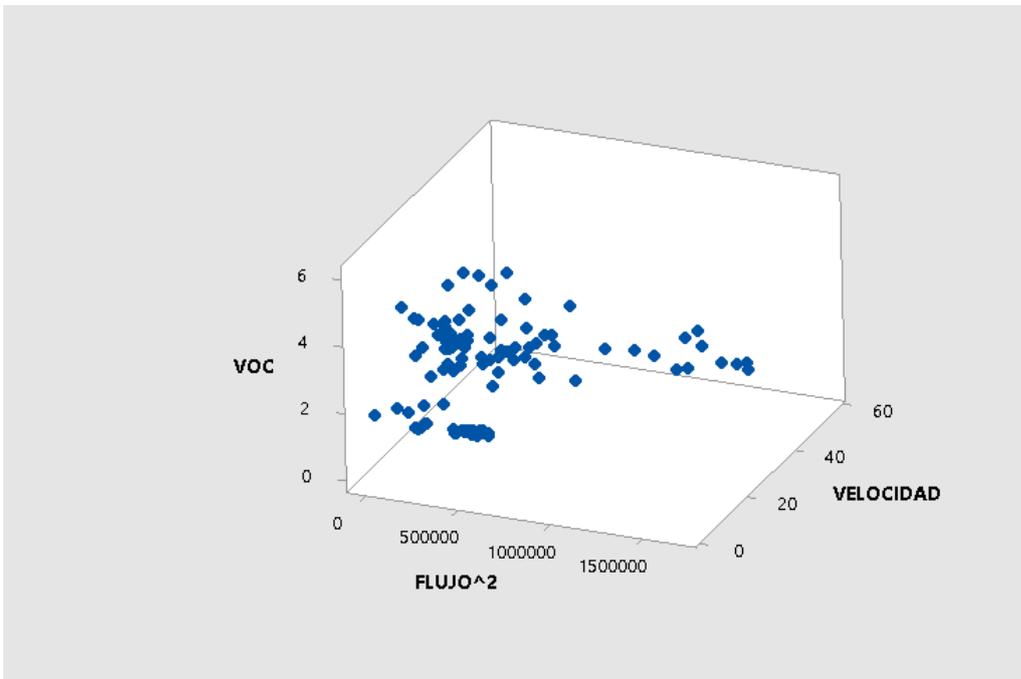


Figura 3.31. Gráfica de dispersión: VOC – Flujo²; Velocidad.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

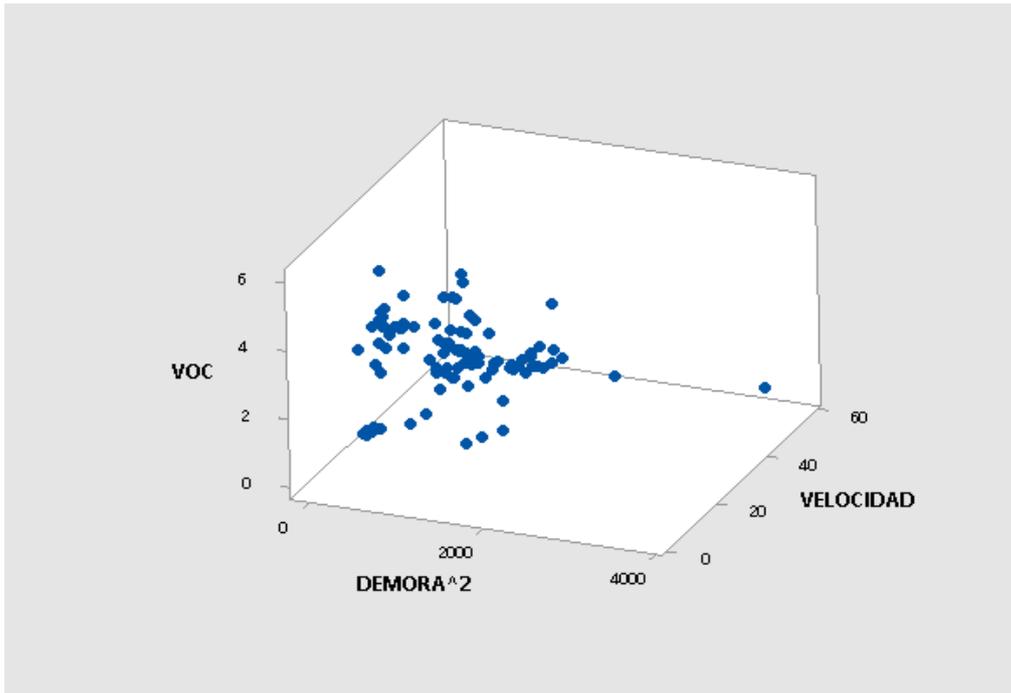


Figura 3.32. Gráfica de dispersión: VOC – Demora²; Velocidad.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

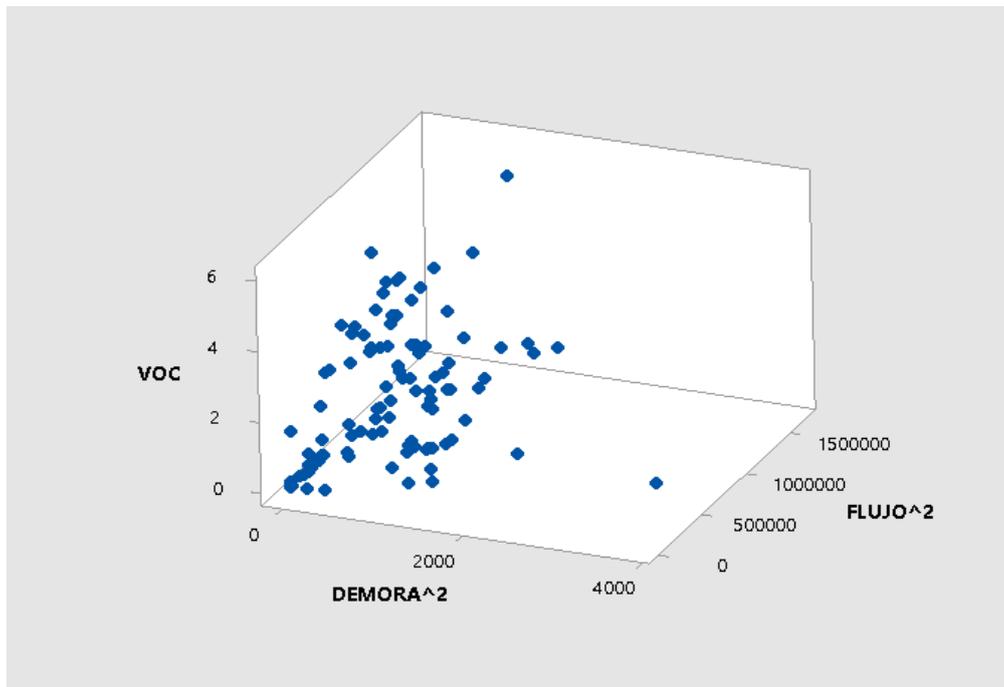


Figura 3.33. Gráfica de dispersión: VOC – Demora²; Flujo².
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

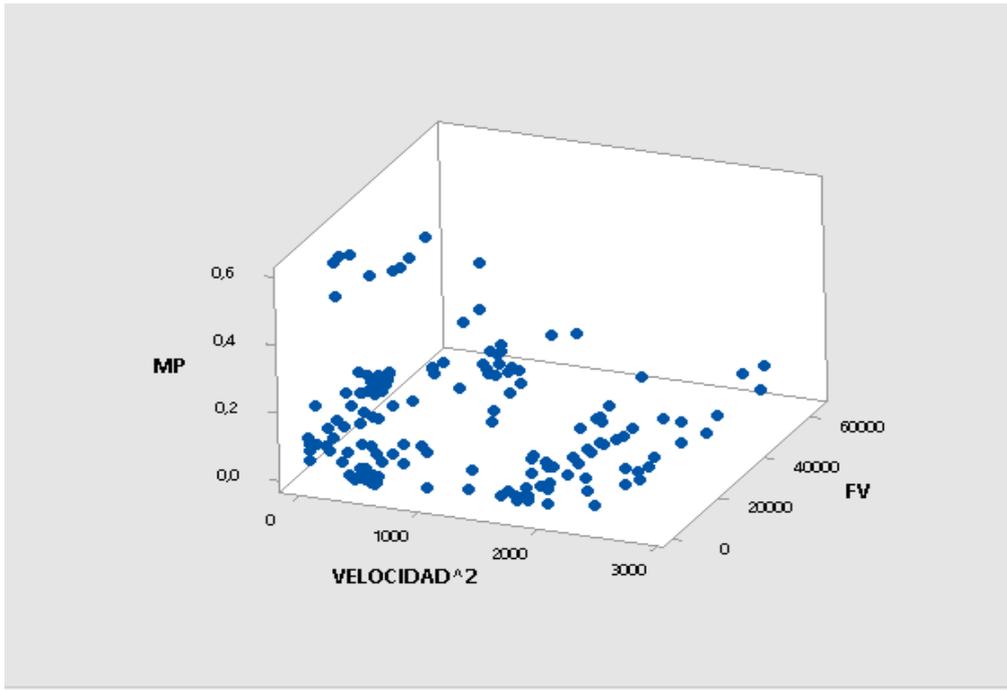


Figura 3.34. Gráfica de dispersión: MP– Velocidad²; Flujo * Velocidad.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

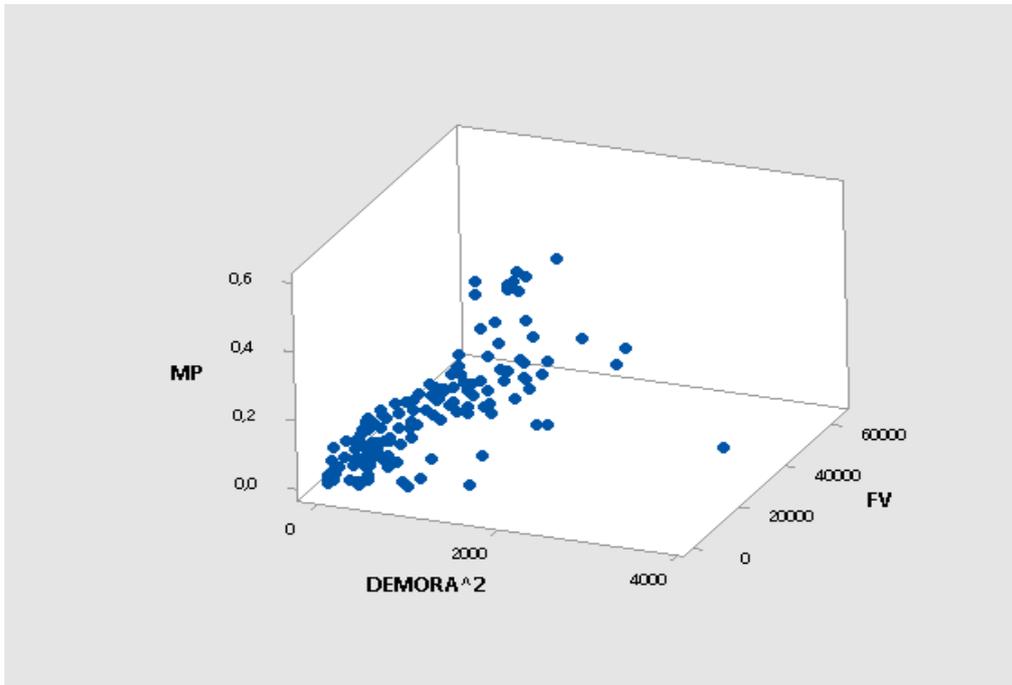


Figura 3.35. Gráfica de dispersión: MP– Demora²; Flujo * Velocidad.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

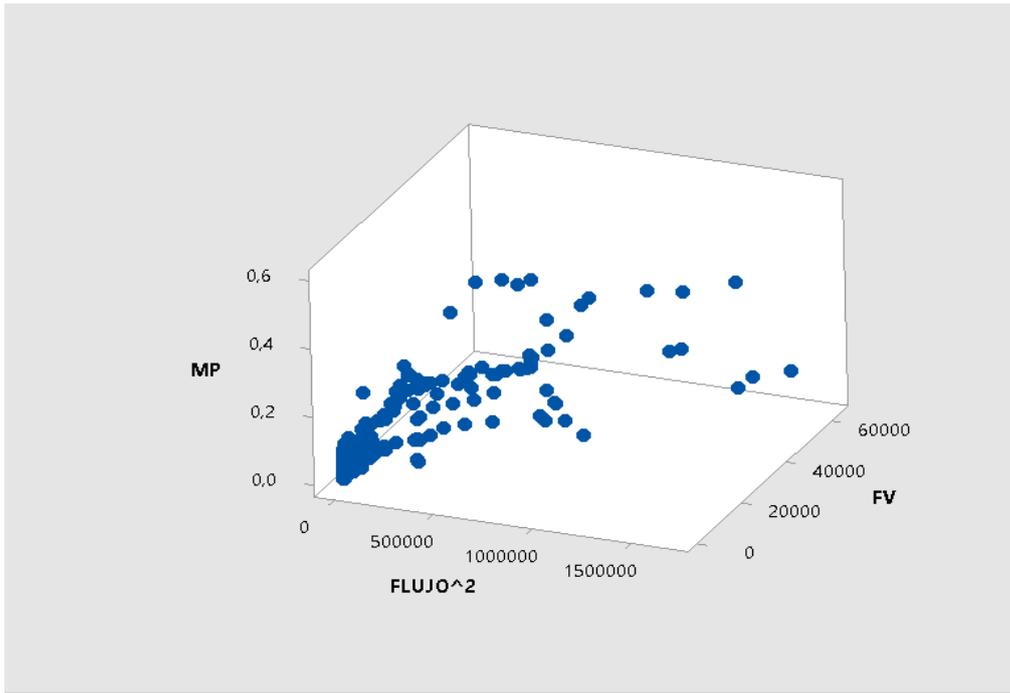


Figura 3.36. Gráfica de dispersión: MP– Flujo²; Flujo * Velocidad.
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

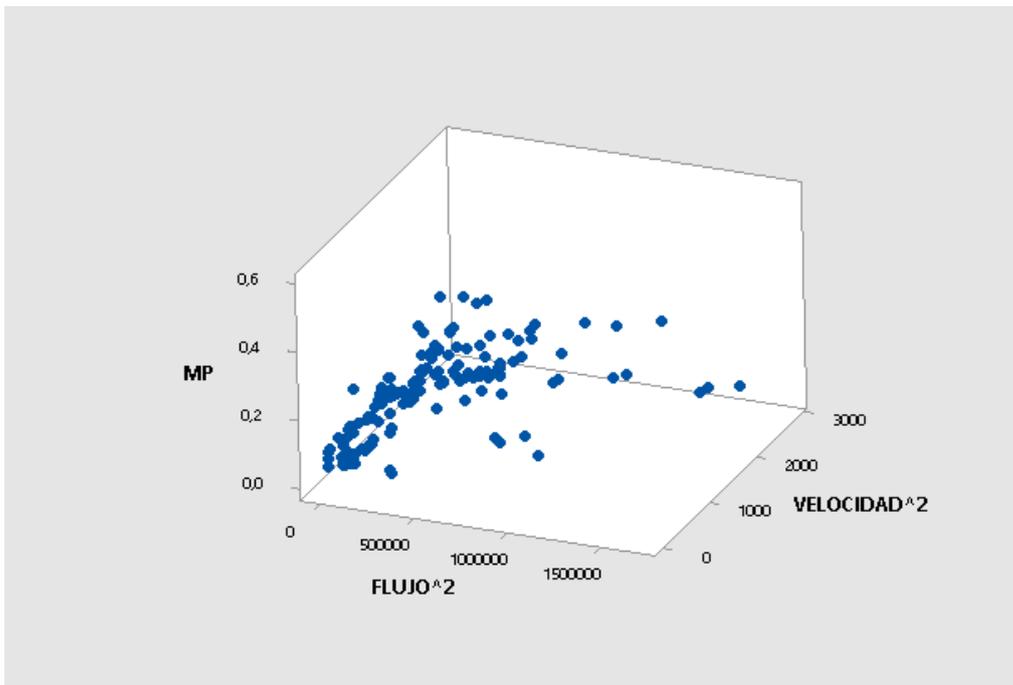


Figura 3.37. Gráfica de dispersión: MP– Flujo²; Velocidad².
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

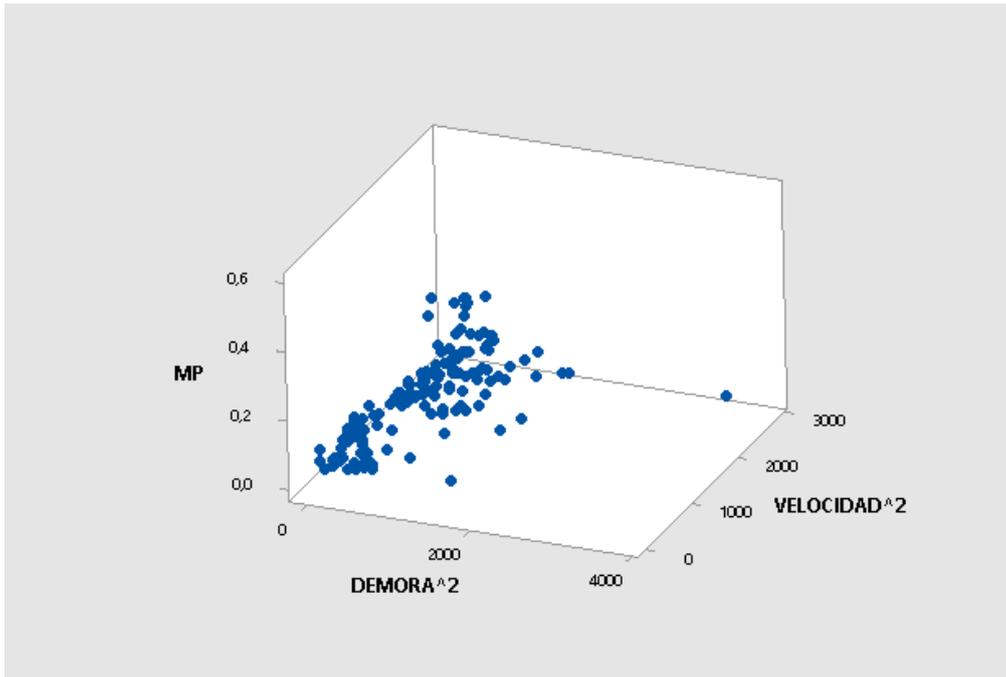


Figura 3.38. Gráfica de dispersión: MP – Demora²; Velocidad².
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

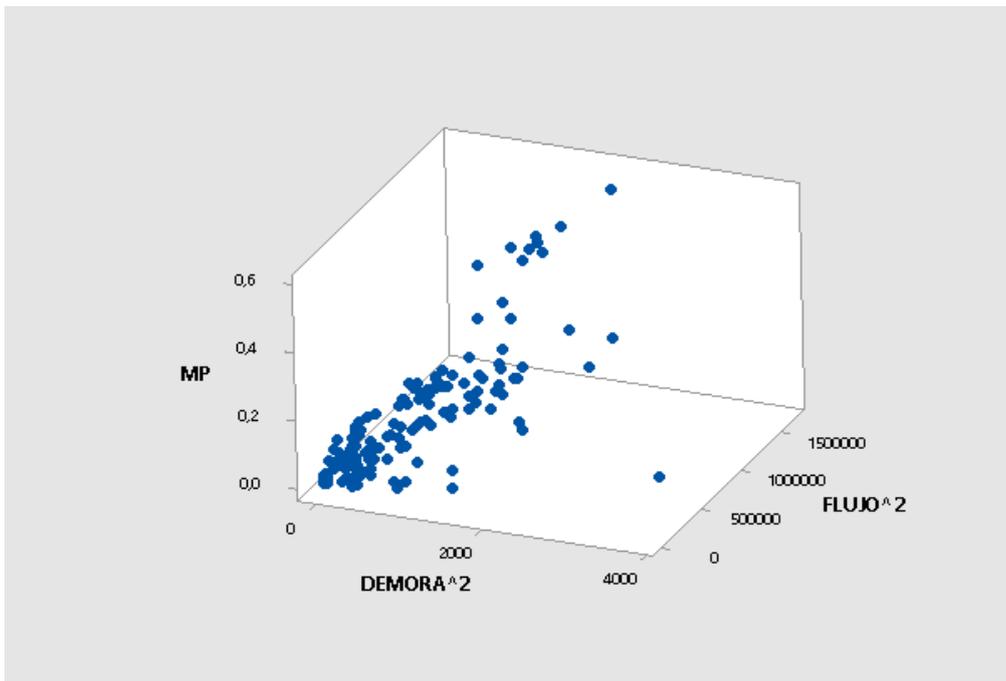


Figura 3.39. Gráfica de dispersión: MP – Demora²; Flujo².
Fuente: Autores a partir de Minitab 18.

Los gráficos mostrados anteriormente verifican que el comportamiento de los contaminantes es análogo tanto en 2D como en 3D. Por lo que se demuestra que el análisis definitivo también tiene validez, sin embargo, no se ajustan a los criterios estadísticos y el nivel de confianza no es el adecuado. Es importante también mencionar que al ser un trabajo investigativo que forma parte de una línea de investigación, la validación de los datos con el modelo ya no es necesaria, puesto que, las ecuaciones que mejor se ajusten a cada caso serán seleccionadas para la obtención de un modelo matemático general de la región.

3.5. Estimación de contaminantes en un acceso

Para continuar con nuestro trabajo investigativo se debe calcular la cantidad de contaminantes generados por acceso en la hora de máxima demanda, para ello, se utilizó la siguiente expresión.

Ecuación 35

$$ETi = N \frac{\sum_{i=1}^i (Ea * Fa)}{\sum_{i=1}^i (Fa)}$$

N = número de intervalos en los que fue dividida la hora de máxima demanda (6)

ETi = Estimación total de contaminantes en el acceso (gr/h)

Ea = Estimación del contaminante en cada intervalo de tiempo (gr/min)

Fa = Flujo vehicular en cada intervalo de tiempo (veh/min)

3.6. Estimación de contaminantes totales por intersección

Una vez que se calcula la cantidad de contaminantes de cada acceso, se aplica la ecuación 36 para el cálculo de la contaminación generada en toda la intersección durante la hora de máxima demanda.

Ecuación 36

$$ETli = N \frac{\sum_{i=1}^i (Ela * Fla)}{\sum_{i=1}^i (Fla)}$$

N = número de accesos en la intersección analizada.

ETli = Estimación total del contaminante en toda la intersección (gr/h)

Ea = Estimación del contaminante en cada acceso (gr/h)

Fa = Flujo vehicular en cada acceso (veh/h)

A continuación, se muestra la cantidad de contaminantes (CO_2 , VOC, MP, NO_x) presentes en cada una de las intersecciones durante la hora de máxima demanda de todo el viario estudiado.

Tabla 3.2. Contaminantes totales de la intersección 1.

Intersección 1: Av. Paseo de los Cañaris y Pachacamac						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	1133,67	20101,52	219,42	8,86	1,81	44398,97	423,19	16,74	3,89
Av. P. Cañaris N - S	811,50	5497,31	38,87	1,26	0,60				
Pachacamac O - E	63,83	38899,41	48,56	2,24	0,86				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.3. Contaminantes totales de la intersección 2.

Intersección 2: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Duma						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	1104,33	42923,08	486,00	20,73	8,58	95091,71	909,68	37,38	17,70
Av. P. Cañaris N - S	835,67	14505,23	71,77	1,68	2,80				
Cacique Duma O - E	258,50	39316,98	270,65	12,00	4,46				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.4. Contaminantes totales de la intersección 3.

Intersección 3: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chaparra						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	1174,67	26550,42	477,87	7,69	1,27	54737,17	831,74	14,26	3,08
Av. P. Cañaris N - S	969,50	8221,76	43,41	1,22	0,74				
Cacique Chaparra E - O	49,17	17492,93	95,23	4,15	0,89				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.5. Contaminantes totales de la intersección 4.

Intersección 4: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Viracochabamba						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	1144,00	35740,59	211,38	6,55	3,19	62622,54	536,22	16,31	9,27
Av. P. Cañaris N - S	970,83	2753,88	90,05	2,00	2,95				
Av. Viracochabamba O - E	167,67	19199,12	117,91	4,88	2,11				
Av. Viracochabamba E - O	194,17	25331,51	482,37	16,53	4,10				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.6. Contaminantes totales de la intersección 5.

Intersección 5: Av. Paseo de los Cañaris y El Observador						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris O - E	968,17	27856,19	211,95	9,10	1,42	59489,94	528,36	21,47	6,33
Av. P. Cañaris E - O	966,50	12333,97	136,99	5,23	2,83				
El Observador SE - NO	43,50	11949,33	262,40	7,74	1,74				
Princesa T NO - SE	14,67	7352,01	133,56	3,91	1,08				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.7. Contaminantes totales de la intersección 6.

Intersección 6: Av. Paseo de los Cañaris y Cacique Chamba y J. Carrera Andrade						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris O - E	983,67	7076,40	44,38	1,29	1,00	32281,97	222,71	7,20	4,29
Av. P. Cañaris E - O	896,50	8894,47	89,85	3,18	1,75				
J. Carrera Andrade SE - NO	111,33	1963,9918	11,19	0,28	0,33				
Cacique Chamba NO - SE	297,83	31834,45	149,44	4,50	2,29				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.8. Contaminantes totales de la intersección 7.

Intersección 7: Av. Paseo de los Cañaris y Camilo Ponce y JJ. Flores						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris O - E	996,67	10285,04	60,01	1,61	1,68	60357,65	259,38	7,22	6,00
Av. P. Cañaris E - O	810,50	35960,63	140,72	4,15	2,75				
Camilo Ponce SE - NO	310,50	28939,38	105,42	2,66	2,78				
Juan José Flores NO - SE	330,00	2613,95	15,25	0,30	0,42				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.9. Contaminantes totales de la intersección 8.

Intersección 8: Av. Paseo de los Cañaris y Max Uhle						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris O - E	1045,17	26602,73	143,28	4,24	6,72	105655,9	715,58	22,53	20,51
Av. Max Uhle S - N	1141,33	30216,35	229,74	7,33	1,62				
Cesar Vallejo E - O	663,83	32009,54	216,40	6,99	8,52				
Av. P. Cañaris N - S	1141,33	49977,36	347,41	10,99	11,18				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.10. Contaminantes totales de la intersección 9.

Intersección 9: Av. Paseo de los Cañaris y redondel González Suárez						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. Max Uhle S - N	1368,67	18153,42	105,96	2,64	2,92	109765,87	633,63	20,13	20,70
Av. González Suárez E - O	804,50	96801,59	545,17	18,91	20,15				
Av P. Cañaris N - S	422,17	45077,90	242,13	5,83	8,23				
Av. González Suárez O - E	911,33	7188,22	60,15	2,46	0,55				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.11. Contaminantes totales de la intersección 10.

Intersección 10: Av. Paseo de los Cañaris y Yana Urco						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	528,83	11745,43	69,12	1,88	1,95	109765,87	919,27	30,88	25,91
Av. P. Cañaris N - S	439,83	22980,04	162,10	4,17	3,83				
Yana Urco E - O	471,67	58851,05	453,16	15,94	13,36				
Yana Urco O - E	585,83	64532,39	510,85	17,94	14,48				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.12. Contaminantes totales de la intersección 11.

Intersección 11: Av. Paseo de los Cañaris y Rumi Urco						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	560,67	7526,74	52,83	1,81	0,85	23009,86	174,97	6,30	5,59
Av. P. Cañaris N - S	433,00	8008,32	66,62	2,51	3,22				
Rumi Urco O - E	9,17	446,26	2,13	0,10	0,12				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.13. Contaminantes totales de la intersección 12.

Intersección 12: Av. Paseo de los Cañaris y Allcuqui						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	559,83	5377,02	39,27	1,42	0,56	24164,03	175,79	5,89	2,88
Av. P. Cañaris N - S	443,33	12199,08	90,04	2,87	1,48				
Allcuqui E - O	71,17	3300,87	14,77	0,60	0,88				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.14. Contaminantes totales de la intersección 13.

Intersección 13: Av. Paseo de los Cañaris y Ayapungo						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	567,00	9753,89	67,85	2,32	1,14	32013,73	201,60	6,33	4,79
Av. P. Cañaris N - S	386,83	14391,37	82,81	2,38	2,56				
Ayapungo O - E	142,17	4207,50	22,15	0,55	0,81				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.15. Contaminantes totales de la intersección 14.

Intersección 14: Av. Paseo de los Cañaris y Cojitambo						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	513,00	4332,79	37,04	1,48	0,17	14012,52	121,40	4,93	0,59
Av. P. Cañaris N - S	391,33	5114,00	44,95	1,86	0,23				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.16. Contaminantes totales de la intersección 15.

Intersección 15: Av. Paseo de los Cañaris y Guagua Zhumi						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	441,50	6505,18	47,16	1,66	0,67	20284,53	158,01	6,03	1,91
Av. P. Cañaris N - S	370,00	7555,71	63,82	2,60	0,61				
Guagua Zhumi E - O	45,50	2790,38	15,50	0,54	0,55				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.17. Contaminantes totales de la intersección 16.

Intersección 16: Av. Paseo de los Cañaris y Altar Urco						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	466,00	4487,92	36,51	1,43	0,91	27146,07	187,78	5,71	3,97
Av. P. Cañaris N - S	380,00	15457,07	100,52	2,64	1,93				
Altar Urco E - O	40,50	1397,63	6,87	0,39	0,40				

Fuente: Autores a partir de Excel.

Tabla 3.18. Contaminantes totales de la intersección 17.

Intersección 17: Av. Paseo de los Cañaris y Av. Hurtado de Mendoza						TOTAL			
Acceso	Flujo (veh/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)	CO2 (gr/h)	NOx (gr/h)	VOC (gr/h)	MP (gr/h)
Av. P. Cañaris S - N	457,00	6602,72	183,32	4,13	6,86	150029,21	1004,63	27,49	37,03
Av. Hurtado de Mendoza NE - SO	829,00	64054,45	385,82	10,77	14,21				
Av. Hurtado de Mendoza SO - NE	758,33	60814,93	370,52	10,45	13,61				

Fuente: Autores a partir de Excel.

3.7. Metodología para estudios de impacto operacional y medioambiental en una vía colectora

En el apartado de anexos se detalla mediante un diagrama de flujo, la secuencia que hay que seguir para realizar un estudio como el presente trabajo con el objetivo de brindar información y dar directrices a próximos investigadores. El diagrama contiene de cuatro

grandes etapas principales: levantamiento de información primaria y secundaria, procesamiento de la información, micro simulación y modelo matemático.

CONCLUSIONES

Llevar a cabo el presente trabajo de investigación en todas y cada una de sus etapas ha aportado significativamente con múltiples enseñanzas. El proceso logístico y coordinado para llevar a cabo el levantamiento de la información mediante cámaras de video vigilancia fue realizado con éxito sin ningún tipo de contratiempos. El uso de herramientas informáticas y de procesamiento de la información contribuyeron de manera satisfactoria para la obtención de resultados. Adicionalmente, se puede concluir que se cumplió efectivamente el objetivo general de la investigación que fue crear un modelo matemático de comportamiento para cuantificar la contaminación presente en el aire causada por la circulación vehicular motorizada

A pesar de la pandemia y las medidas de restricción vehicular implementadas por el Gobierno Autónomo Descentralizado, GAD Municipal de Cuenca, toda la información primaria necesaria fue levantada y recolectada de manera exitosa y sin contratiempos. El cálculo de parámetros operacionales y análisis de características geométricas del viario fueron llevado a cabo de manera efectiva, aunque, se requiere de mayor precisión y detalle para el levantamiento de ciertos aspectos fundamentales para implementar en la modelación del viario.

El caso número tres de estudio, la Avenida Paseo de los Cañaris, en términos de ingeniería en tránsito considerada como un eje de jerarquía vial 'colectora', cumplió con las características requeridas para el presente trabajo de investigación, una vez que fue modelada y analizada. Debido a su longitud e importancia como vía conectora entre distintos puntos estratégicos de la ciudad, presenta ciertos inconvenientes en sectores puntuales donde existe alta congruencia de flujo vehicular, dando como resultado velocidades reducidas, demoras significativas y Emisiones de Efecto Invernadero (EEI) considerables.

Las ventajas de cálculo disponibles en la herramienta de micro simulación y el modelo para determinación de contaminantes incluidos en Aimsun 8.1 favorecieron al proceso de

calibración y validación del modelo, por lo que, se garantiza que los resultados presentados se ajustan a un escenario representativo, adecuado y confiable.

Dentro del ámbito de los contaminantes, las emisiones de CO₂ y de VOC poseen un comportamiento similar y predictivo, por lo que, los modelos se ajustan de manera satisfactoria. Sin embargo, para los contaminantes de NO_x y MP, si bien, sus modelos estuvieron ajustados y son representativos su comportamiento, debido a la dispersión de los puntos, impide llegar al mismo nivel de ajuste. Esto puede deberse a muchos factores, pero, el más aceptado, es por el tipo de naturaleza y composición química interna de los compuestos.

Cabe recalcar que, hasta la presente fecha la línea de investigación iniciada por el ingeniero Christian Marcelo Moyano Tobar cuenta con, ahora, tres casos de estudio: el primero, en la Avenida 10 de Agosto; el segundo, en la Avenida Don Bosco y, el actual, en la Avenida Paseo de los Cañaris. Para que el modelo matemático general pueda ser validado y presente un comportamiento equilibrado, se espera que, a partir de este caso de estudio número, tres se elaboren al menos dos análisis más (Avenida Unidad Nacional, Avenida Yana Urco, entre otras).

Para finalizar, se concluye que la investigación tomó el curso deseado, brindando los resultados esperados. Los resultados en conjunto con las ecuaciones son válidos y claros, lo que permite que sea aplicable de manera sencilla para cualquier persona; por lo tanto, se cumplió con el objetivo general y específicos planteados inicialmente.

RECOMENDACIONES

Para próximos estudios investigativos emplazados en los casos previamente mencionados se recomienda que, al momento de realizar el levantamiento de la información primaria, se detalle, con mayor precisión, la composición vehicular del parque automotor. Además, es necesario discretizar los vehículos livianos, de tal manera, que se dé a conocer si son autos, todo terreno, camionetas, etc. De la misma manera para buses, clasificar si es transporte público urbano, interprovincial e intercantonal y dos ruedas; especificar, también, si son bicicletas o motocicletas; todo esto con el propósito de aumentar el grado de exactitud del modelo para una mejor representación.

Para un posible análisis secundario y para próximos estudios, se recomienda revalidar la importancia de las variables (Flujo, Velocidad y Demora), puesto que, es posible que exista la variante de incluir otras variables más al análisis, para mejorar y ajustar el modelo general para la ciudad de Cuenca.

Se recomienda, también, realizar mediciones en campo de los contaminantes, ya que, contrastar las estimaciones calculadas con las levantadas en campo es de vital importancia. Si bien, realizar mediciones con estas características representa un costo adicional, es posible acudir a la Universidad del Azuay para proponer convenios con las entidades públicas a cargo, con el fin de elaborar una base de datos actualizada y confiable.

Para finalizar, se hace especial énfasis en continuar con la línea de investigación, ya que, toda la información recolectada en los tres casos de estudio da el incentivo necesario para que los trabajos de investigación venideros, contribuyan a mejorar la calidad del aporte científico. Por otro lado, se recomienda abrir una rama de análisis con otros programas de micro simulación vehicular, tales como, *Sidra*, *HCS*, *Transyt*, entre otros, para comparar con los resultados obtenidos a partir de Aimsun.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, P. (2011). Movilidad urbana, consumo de energía y calidad del aire. *Letras Verdes*(8), 13 - 17.
- Alcántara, V. E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogotá, Colombia: CAF.
- Apaza, S. R. (2017). *Determinación de modelos matemáticos de caracterización de flujo vehicular para el centro histórico de la ciudad de Juliaca*. Juliaca, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Banco interamericano de desarrollo - BID. (2014). *Cuenca ciudad sostenible / plan de acción*. Cuenca - Ecuador: Gráficas Hernandez.
- Bravo, N. Y. (2007). *Análisis y control de tráfico vehicular en zonas críticas en la ciudad de Quito, mediante simulación*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*. México D.F: Alfaomega.
- Chávez, A. G., & Cubides, Á. B. (2018). *Estimación de la contaminación del aire generada por el efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. Don Bosco de la ciudad de Cuenca - Ecuador usando la herramienta de micro simulación Aimsun 8.1*. Cuenca: Universidad del Azuay .
- Cifuentes, R. T., & Nieto, D. S. (2018). *Desarrollo de un modelo microscópico de tránsito en los accesos viales del aeropuerto internacional El Dorado de Bogotá*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte EMOV - EP. (2014). *Inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca*. Cuenca: Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte EMOV - EP. doi:10.13140/RG.2.2.17665.66405
- Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte EMOV - EP. (2018). *Informe de la calidad del aire*. Cuenca: Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte EMOV - EP.
- Fallah Shorshani, M., André, M., Bonhomme, C., & Seigneur, C. (2015). Modelling chain for the effect of road traffic on air and water quality: Techniques, current

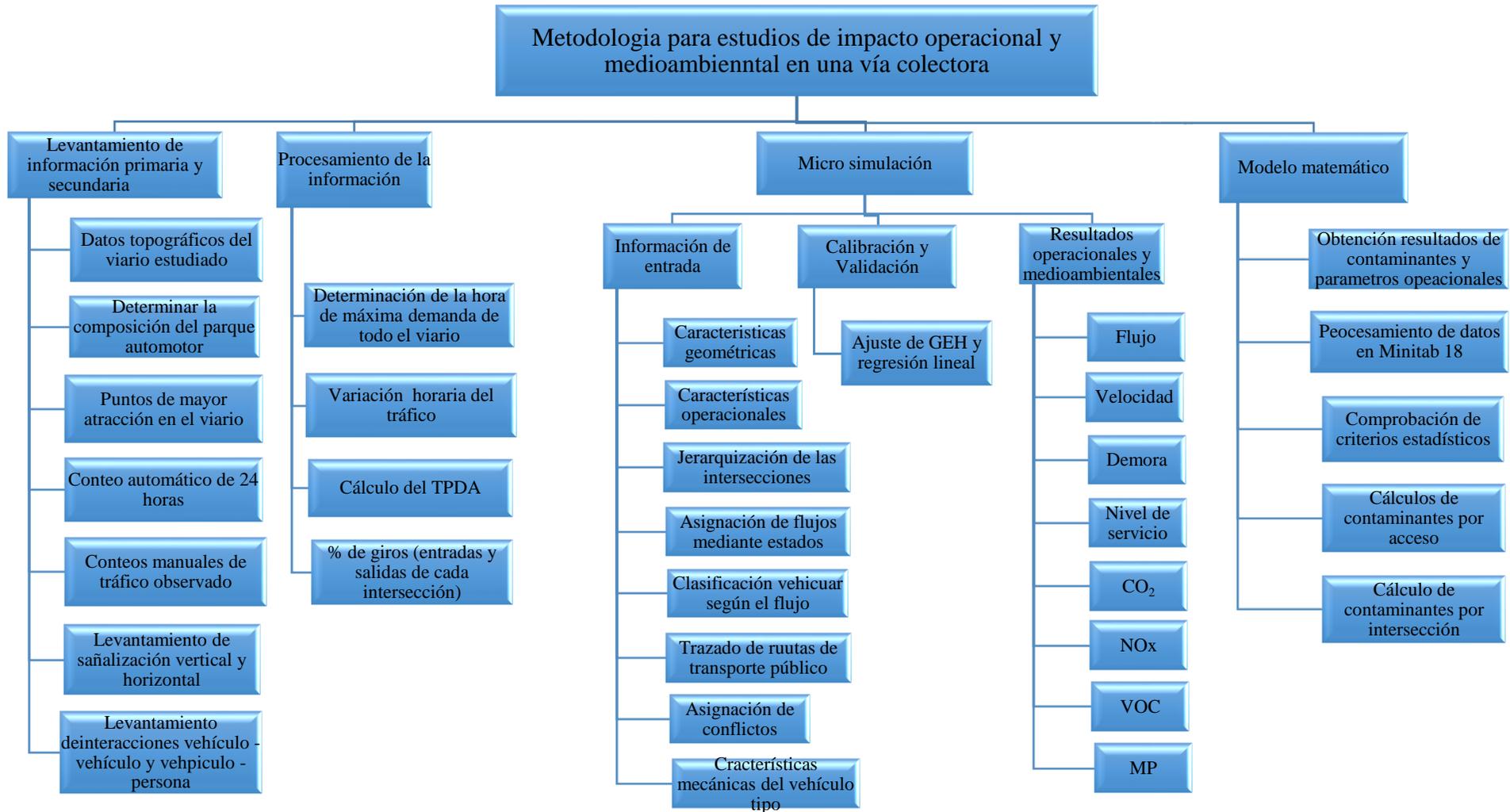
- status and future prospects. *Enviromental Modelling & Software*(64), 102 - 123.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.11.020>
- HCM. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington D.C.: Transportation Research Board - TRB.
- INEC. (1 de Noviembre de 2017). *Instituto nacional de estadística y censos* . Obtenido de Conozcamos Cuenca a través de sus cifras:
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/conozcamos-cuenca-a-traves-de-sus-cifras/#:~:text=Cuenca%2C%20tambi%C3%A9n%20conocida%20como%20la,este%20cant%C3%B3n%20tenga%20636.996%20habitantes.>
- Int Panis, L., Broekx, S., & Liu, R. (2006). Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits. *Science os the total enviroment*(371), 270 - 285. Obtenido de www.elsevier.com/locate/scitotenv
- J. Garber, N., & A. Hoel, L. (2009). *Traffic & highway engineering*. Virginia - United States of America: Cengage Learning.
- Machado, A. J., & Mantilla, G. S. (2015). *Comparación de las metodologías existentes para el cálculo de emisiones de gases contaminantes utilizando modelos de asignación de tráfico*. Bucaramanga, Santander - Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Ministerio de transporte y obras públicas del Ecuador NEVI - 12. (2013). *Norma ecuatoriana para estudios y diseños viales*. Quito: Subsecretaria de infraestructura del transporte.
- Moyano, T. C. (2017). *Estimación de la contaminación del aire generada por efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. 10 de Agosto de la ciudad de Cuenca - Ecuador, usando la herramienta de micro simulación de tránsito Aimsun 8.1*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Rojo, A. J. (2007). *Regresión lineal Múltiple*. Madrid: Instituto de Economía y Geografía.
- Salazar, P. C., & Del Castillo, G. S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística*. Quito.
- Walpole, E. R., Myers, H. R., Myres, L. S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Mexico D.F: Pearson Educación.

Anexo 1. Ficha Técnica del vehículo Chevrolet modelo Aveo activo sedán 1.6 (MT) año 2011.

FICHA TECNICA		N° 21			
www.automotoresonline.blogspot.com					
MARCA	Chevrolet	MODELO			
Aveo Activo 1.6 MT (2011)					
Motor					
Tipo	DOHC 1.6				
Ubicacion / Combustible	Delantero. Transversal. Naftero.				
Cilindrada	1598 cm3				
N° Cilindros / Valvulas	4 cilindros, 16 válvulas.				
Potencia (cv/rpm)	103 cv a 5800 rpm				
Par Motor	145 nm a 3600 rpm				
Relación de compresión	9.5:1				
Diametro x Carrera (mm)	79 x 81.5				
Alimentacion	Inyeccion multipunto.				
Distribución	Doble arbol de levas a la cabeza comandado por correa dentada.				
Transmisión - Dirección					
Tracción	Delantera.				
Embrague	Monodisco en seco.				
N° Marchas	5 velocidades. 1°)3.545 2°)1.952 3°)1.276 4°)0.971 5°)0.763 Diferencial: 3.94				
Tipo de Caja	Manual. (opcional Automática)				
Dirección tipo	Hidráulica. Piñón y cremallera.				
Diametro de giro (mm)	5.03 (radio mínimo)				
Suspensión					
Delantera	Independiente, tipo McPherson, brazos inferiores, amortiguadores hidraulicos, resortes helicoidales y barra estabilizadora.				
Trasera	Independiente, con barra de torsion y brazos arrastrados, resortes helicoidales, amortiguadores hidraulicos y barra estabilizadora.				
Frenos					
Delanteros	Discos ventilados				
Traseros	Tambor.				
Tipo	Divididos diagonalmente en X. ABS (version LT)				
Neumaticos y Llantas					
Neumaticos	Firestone Firehawk GT 185/55 R15. Presion inflado: del 33lb/pulg2 tra: 33lb/pulg2				
Llantas	Llantas aleación. 6.0J x 15				
Dimensiones					
Largo (mm)	4.310	Trocha delantera (mm)	1.450	Largo caja carga (mm)	
Ancho + espejos (mm)	1.710	Trocha trasera (mm)	1.430	Min.entre paso ruedas	
Ancho - espejos (mm)		Despeje del piso (mm)		Max.entre paso ruedas	
Alto (mm)	1.505	Baul (lts)	350	Superficie (mts2)	
Dist. entre ejes (mm)	2.480	Baul Total (lts)		Profundidad (mm)	
CX					

Fuente: *Estimación de la contaminación del aire generada por el efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. Don Bosco de la ciudad de Cuenca – Ecuador, usando la herramienta de micro simulación Aimsun 8.1* (Chávez & Cubides, 2018).

Anexo 3. Metodología para estudios de impacto operacional y medioambiental en una vía colectora.



Fuente: *Autores.*