

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA CIVIL

“ANÁLISIS DE TRÁFICO Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
PARA EL CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR EN LA
INTERSECCIÓN DE LA AVENIDA MARISCAL SUCRE Y SAN
FRANCISCO DE RUMIHURCO EN LA CIUDAD DE QUITO A
TRAVÉS DEL SOFTWARE PTV VISSIM”.

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Autores:

ÁNGEL HORACIO ESPINEL GUILLEN.

JOSÉ EDUARDO JARAMILLO VIÑÁN.

Quito, marzo 2022

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por las bendiciones recibidas cada día, por ser una guía en nuestras vidas, el soporte y firmeza en momentos de conflicto y debilidad.

Agradecemos de manera especial a nuestros padres por acompañarnos en este proceso de formación académica dándonos su apoyo en los momentos arduos y su aliento en cada meta lograda.

Agradecemos a nuestros profesores de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por compartirnos sus conocimientos que ahora serán criterios técnicos usados en nuestra vida profesional, de forma específica, al ingeniero Lauro Armando Lara C. tutor de nuestro trabajo de titulación quien ha sido un guía con su paciencia, y su rectitud como docente y por su apreciable contribución a esta investigación.

Jose Eduardo Jaramillo V.

Ángel H. Espinel G

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico a mi padre Carlos Alberto Jaramillo † por ser un padre ejemplar que inculcó en mí muchos valores sobre todo el de la responsabilidad, seguramente un sentimiento de felicidad invade su alma en el cielo por este logro obtenido, A mi madre Mérida Clemencia, por estar presente en cada momento de mi vida por ser mi soporte en los momentos más difíciles, por sus enseñanzas, consejos y apoyo para lograr los objetivos propuestos. A mi hermano Carlos Andrés por ser un ejemplo de perseverancia y responsabilidad, por ser un excelente hermano mayor siempre alentándome a ser mejor cada día.

Jose Eduardo Jaramillo V.

Esta tesis está dedicada a:

Mis padres Ángel Espinel y Viviana Guillén, con su amor, paciencia y arduo trabajo, hoy hicieron realidad otro sueño, gracias por inculcarme un ejemplo de perseverancia y valentía sin miedo a la adversidad, porque Dios siempre está conmigo.

Gracias a mi hermana Lissette Espinel por su amor y apoyo incondicional durante todo el proceso y por estar conmigo todo este tiempo, gracias. A toda mi familia, porque sus oraciones, consejos y ánimos me han hecho mejor persona y me han acompañado en parte en la realización de todos mis sueños y metas. Finalmente, quiero dedicar este agradecimiento a todos mis amigos que me apoyaron cuando más los necesité, tenderles la mano en los momentos difíciles y agradecerles el amor que me dan cada día, muchas gracias, siempre los llevaré en mi corazón.

Ángel Espinel G.

RESUMEN

La intersección entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco está ubicada al noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito, en un sector residencial que presenta problemas de congestión vehicular en horas pico, esto direcciona a plantear posibles soluciones aplicando conceptos de Ingeniería de Tráfico para lo cual se usa el método HCM 2010 (“Manual de Capacidad Vial del Transportation Research Board”) además del uso del software PTV VISSIM para generar varios modelos como posibles alternativas que satisfagan los problemas de circulación en la intersección.

Como parte de la metodología de esta investigación se procedió a realizar análisis de la composición del tránsito vehicular actual, se realizó un conteo de vehículos (TPDA) y se estableció el tiempo de los ciclos de los semáforos, con esta información se generó un modelo en el software PTV VISSIM contrastando la situación actual de la intersección dejando en evidencia el problema de congestión vehicular y el bajo nivel de servicio que se presenta en el lugar.

Con el afán de brindar seguridad y confort al usuario vial se plantearon tres soluciones que mejoran el flujo vehicular actual de la intersección, siendo la intersección tipo paso inferior con rotonda la que oferta un nivel de servicio tipo A, brindando una circulación con una velocidad óptima, menor emisión de gases contaminantes y una notable disminución en el uso de combustible de los automotores debido a que no se generan colas vehiculares.

Abstract

The intersection between the Avenues Mariscal Sucre and San Francisco de Rumihurco is located in the Northwest of the Metropolitan District of Quito, in a residential sector that presents problems of vehicular congestion during peak hours, this directs to raise possible solutions by applying Traffic Engineering concepts for what which is used by the 2010 HCM method (“Highway Capacity Manual”) in addition to the use of the PTV VISSIM software to generate several models as possible alternatives that satisfy the problems of circulation at the intersection.

As part of the methodology of this research, an analysis of the current vehicular traffic composition was carried out, a vehicle count (TPDA) was carried out and the time of the traffic light cycles was established, with this information a model was generated in The PTV VISSIM software contrasts the current situation of the intersection leaving the problem of vehicular congestion and the low level of service that occurs in place.

With the eagerness to provide security and comfort to the vial user, three solutions were raised that improve the current vehicular flow of the intersection, being the intersection lower step with rotunda the one that offers a type A service level, providing a circulation with an optimal speed, lower emission of polluting gases and a remarkable decrease in the use of automotive fuel because no vehicle queues are generated.

Tabla de Contenidos

1	CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1	Introducción	1
1.2	Antecedentes	2
1.2.1	Historia.....	2
1.2.2	Situación actual	3
1.3	Justificación.....	4
1.4	Planteamiento del problema	5
1.5	Objetivos	5
1.5.1	Objetivo general.....	5
1.5.2	Objetivos específicos	5
1.6	Alcance.....	6
2	CAPITULO II: FUNDAMENTACION TEÓRICA	7
2.1	Indicadores objetivos y subjetivos de la congestión	7
2.2	Niveles de servicio en vías	8
2.2.1	Nivel de servicio	8
2.2.2	Nivel de Servicio A.....	8
2.2.3	Nivel de Servicio B	9
2.2.4	Nivel de Servicio C.....	10
2.2.5	Nivel de Servicio D.....	11

2.2.6	Nivel de Servicio E	11
2.2.7	Nivel de Servicio F	12
2.2.8	Características básicas	13
2.2.9	Metodología de análisis operacional.....	16
2.2.10	Selección de la curva de velocidad a flujo libre (FFS)	20
2.2.11	Ajuste al volumen de demanda	21
2.2.12	Estimación de la velocidad y la densidad	21
2.2.13	Determinación del nivel de servicio	22
2.3	Definición y análisis del área de influencia del congestionamiento	22
2.4	Congestión vehicular	23
2.5	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	24
2.5.1	Tránsito promedio diario mensual (TPDM)	24
2.5.2	Tránsito promedio diario semanal	24
2.5.3	Volumen horario máximo anual (VHMA)	25
2.5.4	Volumen horario de máxima demanda (VHMD)	25
2.5.5	Volumen horario de proyecto (VHP).....	25
2.6	Capacidad vial	25
2.6.1	Significado Analítico de Congestión	26
2.6.2	Elementos de un sistema de filas de espera	29
2.7	Intercambiador	32

2.8	Diseño geométrico.....	32
2.8.1	Puente.....	32
2.8.2	Ramales.....	33
2.9	Tipos de intersecciones	33
2.10	PTV VISSIM, “Verkehr In Städten - SIMulation”.....	35
2.11	Principios de funcionamiento del automóvil siguiendo el modelo.....	36
2.11.1	Aplicaciones Del VISSIM	38
2.11.2	Simulación de flujo de personas	40
2.11.3	Modelo de fuerza social: la base de PTV VISWALK.....	41
2.12	Marco conceptual	41
2.12.1	Composición del tránsito	41
2.12.2	Contabilización manual	42
2.12.3	Contabilización automática.....	42
2.12.4	Intercambiador de tráfico.....	42
2.12.5	La topografía.....	42
2.12.6	Paso a desnivel.....	43
2.12.7	Proyecto Vial	43
2.12.8	Tráfico promedio diario anual	43
2.12.9	Tránsito	43
2.12.10	Tránsito atraído	43

2.12.11	Tránsito normal	44
2.12.12	Vehículo de diseño	44
2.12.13	Muestra	44
2.12.14	Tamaño de la muestra	44
3	CAPITULO III: ANÁLISIS DE TRÁFICO	45
3.1	Análisis del flujo vehicular	45
3.1.1	Volumen vehicular	49
3.1.2	Conteo vehicular semanal Avenida Mariscal Sucre	52
3.1.3	Conteo vehicular semanal Avenida San Francisco de Rumihurco	55
3.1.4	Volumen horario de máxima demanda	61
3.1.5	Transito promedio diario anual	62
3.1.6	Variación del volumen de tránsito	63
3.1.7	Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda	63
3.1.8	Tasa de flujo máxima dentro de la hora de máxima demanda en la Avenida Mariscal Sucre	64
3.1.9	Tasa de flujo máxima dentro de la hora de máxima demanda en la Avenida San Francisco de Rumihurco.....	66
3.1.10	Volúmenes de tránsito futuros	66
3.2	Factores que generan congestión vehicular.....	68
3.2.1	Transportes.....	69
3.2.2	Transporte Público	69

3.2.3	Transporte privado	70
3.2.4	Sistema vial	73
3.2.5	Longitud de cola	82
3.2.6	Velocidad promedio	84
3.2.7	Resultado del tiempo de viaje del vehículo	84
3.3	Micro simulación PTV VISSIM	86
3.3.1	Red Vial	87
3.3.2	Tránsito	89
3.3.3	Control	91
3.3.4	Evaluación.....	92
3.3.5	Parámetros de la simulación	92
3.3.6	Parámetros de evaluación y resultados	93
3.3.7	Simulaciones multimodales de tráfico	94
3.3.8	Resultados obtenidos en la simulación	95
3.3.9	Estudio de peatones.....	98
3.4	Nivel de servicio para cruces semaforizados	101
3.4.1	Determinación del nivel de servicio del cruce	101
3.4.2	Modelación de la intersección	109
4	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	119
4.1	Tipos de intersecciones propuestas	119

4.1.1	Intersección de tipo redondel	119
4.1.2	Intersección tipo paso inferior o deprimido semaforizado.....	122
4.1.3	Intersección tipo paso inferior con rotonda.....	126
4.2	Análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones	130
5	CAPITULO V: ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL TRÁFICO	
	EXISTENTE	131
5.1	Mejora en los ciclos de semáforos	131
5.1.1	Resultados obtenidos en la Simulación.....	133
5.2	Implementación de una rotonda en la intersección	136
5.2.1	Resultados obtenidos en la Simulación.....	136
5.3	Paso inferior o deprimido	139
5.3.1	Resultados obtenidos en la Simulación.....	139
6	CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	142
	BIBLIOGRAFIA	a

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Ejemplo de Nivel de Servicio A. Libre circulación.....</i>	9
<i>Figura 2. Nivel de Servicio B.....</i>	10
<i>Figura 3. Nivel del Servicio C</i>	10
<i>Figura 4. Nivel de servicio D.....</i>	11
<i>Figura 5. Nivel de Servicio E.....</i>	12
<i>Figura 6. Nivel de Servicio F.....</i>	13
<i>Figura 7. Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio en segmentos básicos de autopistas.</i>	15
<i>Figura 8. Esquema metodológico para el análisis de segmentos básicos de autopistas. Tomado de Highway Capacity Manual, por Transportation Research Board, 2010.....</i>	17
<i>Figura 9. Definición y Análisis del Área de Influencia – Zona de Influencia.</i>	22
<i>Figura 10. Significado de la congestión.</i>	28
<i>Figura 11. Sistema de filas de espera.....</i>	30
<i>Figura 12. Esquemas de intersección más común en carreteras</i>	34
<i>Figura 13. Intersección en “Y” y redondel</i>	35
<i>Figura 14. Principios de funcionamiento del automóvil siguiendo el modelo</i>	36
<i>Figura 15. Modelo de automóvil según el modelo de Wiedemann establecido en 1974</i>	37
<i>Figura 16. Simulación flujo de peatones.</i>	40
<i>Figura 17. Modelo de Fuerza Social</i>	41
<i>Figura 18. Vista aérea en tres dimensiones del área de estudio ubicada al norte de la ciudad de Quito. Tomado de Google Earth, 2021</i>	46

<i>Figura 19. Intersección entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel</i>	<i>46</i>
<i>Figura 20. Movimiento vehicular en la Av. Mariscal Sucre. Sentido Norte – Sur. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel</i>	<i>47</i>
<i>Figura 21. Movimiento vehicular en la Av. Mariscal Sucre. Sentido Sur – Norte. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel</i>	<i>47</i>
<i>Figura 22. Movimiento vehicular en la Av. San Francisco de Rumihurco. Sentido Este – Oeste. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel</i>	<i>48</i>
<i>Figura 23. Movimiento vehicular en la Av. San Francisco de Rumihurco. Sentido Oeste – Este. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel</i>	<i>49</i>
<i>Figura 24. Gráfica de barras del conteo vehicular semanal en la Avenida Mariscal Sucre sentido Sur-Norte. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel</i>	<i>53</i>
<i>Figura 25. Gráfica de barras del conteo vehicular semanal en la Avenida Mariscal Sucre sentido Norte-Sur. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 26. Gráfica de barras del conteo vehicular semanal en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Sur-Norte. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 27. Gráfico de barras del conteo vehicular en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Norte-Sur. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 28. Gráfico de pastel para el número de pasajeros por vehículo en la Av. Mariscal Sucre.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 29. Gráfico de pastel para el número de pasajeros por vehículo en la Av. Francisco de Rumihurco.....</i>	<i>72</i>

<i>Figura 30. Imagen de las condiciones físicas del asfalto en la Avenida San Francisco de Rumihurco.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 31. Imagen Avenida San Francisco de Rumihurco.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 32. Imagen del estado del pavimento en la avenida Mariscal Sucre.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 33. Imagen del mal estado de las alcantarillas. A: Avenida San Francisco de Rumihurco.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 34. Alcantarilla en la Avenida Mariscal Sucre.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 35. Vista en planta de la intersección.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 36. Esquema de Modelación del software PTV VISSIM.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 37. Menú de objetos viales del software PTV VISSIM.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 38. Modelación geométrica de las vías que convergen en la intersección en el software PTV VISSIM.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 39. Modelación de los conectores de las vías que convergen en la intersección en el software PTV VISSIM.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 40. Ingreso de los tipos de vehículos en el software PTV VISSIM.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 41. Ingreso del volumen vehicular en el software PTV VISSIM.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 42. Modelación de las decisiones de enrutamiento de vehículos en el software PTV VISSIM.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 43. Configuración de los tiempos de verde para las 07:00-09:00 en el software PTV VISSIM.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 44. Configuración de los tiempos de verde para las 18:00-20:00 en el software PTV VISSIM.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 45. Configuración de los parámetros de simulación en el software PTV VISSIM.....</i>	<i>93</i>

<i>Figura 46. Configuración de los parámetros de evaluación en el software PTV VISSIM.</i>	94
<i>Figura 47. Vista en planta del modelo de tráfico para la intersección semaforizada través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel..</i>	95
<i>Figura 48. Tiempo de Circulación en la Intersección semaforizada. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel.....</i>	95
<i>Figura 49. Tiempo de Circulación en la Intersección semaforizada en horario 07:00-09:00 través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel.....</i>	95
<i>Figura 50. Tiempo de Circulación en la Intersección semaforizada en horario 18:00-20:00 través del software PTV VISSIM.</i>	96
<i>Figura 51. Longitud de Cola en la Intersección semaforizada.</i>	96
<i>Figura 52. Longitud de Cola en la Intersección semaforizada en horario 07:00-09:00 través del software PTV VISSIM.</i>	96
<i>Figura 53. Longitud de Cola en la Intersección semaforizada en horario 18:00-20:00 través del software PTV VISSIM.</i>	97
<i>Figura 54. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustibles en la Intersección semaforizada en horario 07:00-09:00 través del software PTV VISSIM.</i>	97
<i>Figura 55. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustibles en la Intersección semaforizada en horario 18:00-20:00 través del software PTV VISSIM.</i>	98
<i>Figura 56. Tipo de vehículos que circulan en la intersección modelado a través del software PTV VISSIM.</i>	99

<i>Figura 57. Volumen de peatones que circulan en la intersección modelado a través del software PTV VISSIM.</i>	100
<i>Figura 58. Programación del tiempo de verde de los semáforos a través del software PTV VISSIM.</i>	100
<i>Figura 59. Vista tridimensional de la interacción de los peatones en la intersección PTV VISSIM</i>	101
<i>Figura 60. Factor de ajuste según el ancho de carril.</i>	103
<i>Figura 61. Relación entre el nivel de servicio y la demora por control. Tomado de Highway Capacity Manual, (p.123) por Transportation Research Board, 2010....</i>	108
<i>Figura 62. Interfaz del programa SIDRA INTERSECTION.</i>	108
<i>Figura 63. Menú “Add New Site” en el software Sidra Intersection</i>	109
<i>Figura 64. Menú “select template” en el software Sidra Intersection</i>	109
<i>Figura 65. “Site Input” en el software Sidra Intersection</i>	110
<i>Figura 66. Menú “Intersection” en el software Sidra Intersection</i>	110
<i>Figura 67. Menú “Movement Definitions” en el software Sidra Intersection.</i>	111
<i>Figura 68. Menú “Lane Geometry” en el software Sidra Intersection</i>	112
<i>Figura 69. Menú “Lane Movements” en el software Sidra Intersection</i>	112
<i>Figura 70. Menú “Pedestrians” en el software Sidra Intersection</i>	113
<i>Figura 71. Menú “Volumes” en el software Sidra Intersection</i>	114
<i>Figura 72. Menú “PHASING & TIMING” en el software Sidra Intersection</i>	115
<i>Figura 73. Resultado de la simulación en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection</i>	115
<i>Figura 74. Nivel de servicio obtenido en el software Sidra Intersection</i>	116
<i>Figura 75. Resultado de la simulación en el software Sidra Intersection</i>	117

<i>Figura 76. Resultado de la simulación en el software Sidra Intersection.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 77. Simulación de la intersección entre las Avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 78. Tiempo de circulación para la simulación</i>	<i>120</i>
<i>Figura 79. Resultados de longitud de cola.</i>	<i>120</i>
<i>Figura 80. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 81. Nivel de Servicio del redondel de la Mariscal Sucre y Rumihurco</i>	<i>121</i>
<i>Figura 82. Resultado de la simulación tipo redondel en el software Sidra Intersection.</i>	<i>122</i>
<i>Figura 83. Intersección tipo paso interior avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco</i>	<i>122</i>
<i>Figura 84. Tiempo de circulación</i>	<i>124</i>
<i>Figura 85. Resultados de longitud de cola</i>	<i>124</i>
<i>Figura 86. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustibles.</i>	<i>124</i>
<i>Figura 87. Resultado de la simulación tipo redondel en el software Sidra Intersection</i>	<i>125</i>
<i>Figura 88. Intersección tipo paso inferior.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 89. Tiempo de circulación</i>	<i>127</i>
<i>Figura 90. Resultados de longitud de cola.</i>	<i>127</i>
<i>Figura 91. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustibles.</i>	<i>128</i>
<i>Figura 92. Resultado de la simulación tipo redondel en el software Sidra Intersection</i>	<i>129</i>
<i>Figura 93. Menú “Phasing & Timing del software Sidra Intersection</i>	<i>132</i>

<i>Figura 94. Resultado de la optimización del ciclo de los semáforos a través del software Sidra Intersección.</i>	<i>132</i>
<i>Figura 95. Programación del ciclo de semáforos en el programa PTV VISSIM....</i>	<i>133</i>
<i>Figura 96. Tiempo de circulación.</i>	<i>133</i>
<i>Figura 97. Resultados de Longitud de Cola.</i>	<i>133</i>
<i>Figura 98. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible.</i>	<i>134</i>
<i>Figura 99. Nivel de servicio.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 100. Resultado de la simulación tipo redondel en el software Sidra Intersection.</i>	<i>135</i>
<i>Figura 101. Tiempo de circulación para el año 2041.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 102. Longitud de cola para 2041.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 103. Emisiones de gases contaminantes para el año 2041.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 104. Nivel de servicio para el año 2041.</i>	<i>138</i>
<i>Figura 105. Resultado de la simulación tipo redondel para una proyección de tráfico al año 2041 en el software Sidra Intersection</i>	<i>138</i>
<i>Figura 106. Tiempo de circulación para el año 2041.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 107. Resultados de longitud de cola para el año 2041.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 108. Contaminantes para el año 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel</i>	<i>140</i>
<i>Figura 109. Nivel de Servicio para el año 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel</i>	<i>140</i>
<i>Figura 110. Resultado de la simulación tipo redondel para una proyección de tráfico al año 2041 en el software Sidra Intersection.....</i>	<i>141</i>

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Criterios de Niveles de servicio para segmentos básicos de autopistas rangos de densidad</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Ecuaciones, velocidades a flujo libre y puntos de quiebre para las curvas de segmentos básicos de autopistas.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3. Movimiento vehicular en la Av. Mariscal Sucre. Sentido Norte – Sur.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 4. Movimiento vehicular en la Av. Mariscal Sucre. Sentido Sur – Norte.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 5. Movimiento vehicular en la Av. San Francisco de Rumihurco. Sentido Este – Oeste</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 6. Movimiento vehicular en la Av. San Francisco de Rumihurco. Sentido Oeste – Este.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 7. Tabla que muestra la clasificación de vehículos contabilizados en el proyecto.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 8. Conteo vehicular semanal en la Avenida Mariscal Sucre sentido Sur-Norte</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 9. Conteo vehicular semanal en la Avenida Mariscal Sucre sentido Norte-Sur</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 10. Conteo vehicular semana en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Sur-Norte</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 11. Conteo vehicular semana en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Norte-Sur.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 12. Periodo de hora máxima de demanda en la Avenida Mariscal Sucre</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 13. Resultados del conteo vehicular en la semana del 6 al 12 de septiembre de 2021 en la Avenida Mariscal Sucre sentido Sur-Norte</i>	<i>58</i>

<i>Tabla 14. Resultados del conteo vehicular en la semana del 6 al 12 de septiembre de 2021 en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Sur-Norte</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 15. Conteo vehicular de los diferentes movimientos permitidos en la intersección, primer horario</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 16. Conteo vehicular de los diferentes movimientos permitidos en la intersección, segundo horario</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 17. Producto del estudio de tráfico, cuadro resumen correspondiente al número de vehículos según su caracterización proporcionado.</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 18. Resultados del volumen vehicular por periodos de quince minutos para la Avenida Mariscal Sucre</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 19. Resultados del volumen vehicular por periodos de quince minutos para la Avenida San Francisco de Rumihurco.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 20. Población para el cantón de Quito.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 21. Resultados del tráfico futuro proyectado</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 22. Rutas de cada cooperativa de transporte.</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 23. Número de pasajeros que viajan en cada vehículo en la Av. Mariscal Sucre</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 24. Número de pasajeros que viajan en cada vehículo en la Av. San Francisco de Rumihurco.</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 25. Señalización horizontal en la AV. San Francisco de Rumihurco.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 26. Señalización vertical.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 27. Señales preventivas.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 28. Señales informativas.....</i>	<i>81</i>

<i>Tabla 29. Aforo de los tiempos de semáforos en la intersección en el horario de 07:00 a 09:00.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 30. Aforo de los tiempos de semáforos en la intersección en el horario de 18:00 a 20:00.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 31. Longitud de cola de vehículos en el horario de 07:00 a 09:00.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 32. Longitud de cola de vehículos en el horario de 18:00 a 20:00.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 33. Tiempo de circulación de vehículos en el horario de 07:00 a 09:00.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 34. Tiempo de circulación de vehículos en el horario de 18:00 a 20:00.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 35. Velocidad de circulación de vehículos en el horario de 07:00 a 09:00....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 36. Velocidad de circulación de vehículos en el horario de 18:00 a 20:00....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 37. Módulo de tasas de flujo ajustadas</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 38. Tasas de flujo de saturación ajustadas.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 39. Cuadro comparativo de los resultados de los diferentes tipos de intersección.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 40. Resultados de la intersección</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 41. Resultados de la intersección</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 42. Resultados de la intersección</i>	<i>141</i>

1 CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

En el Distrito Metropolitano de Quito, la flota de vehículos siguió creciendo, por lo que las vías existentes comenzaron a colapsar debido a que la oferta vial es menor a la demanda vehicular. Esto provocó dificultades de congestión vehicular que desembocaron en contaminación del aire, contaminación acústica, aumento de accidentes y demás. Por ello, se evidencia la necesidad de un plan vial que solvete estas debilidades de manera ordenada y actualizada (La Hora, 2022). En algunas intersecciones de la ciudad de Quito, se encontró que el nivel de servicio era bajo, ya que la cantidad de vehículos en tránsito aumentó rápidamente. Tal es el caso de la intersección entre la Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco, la cual muestra complejos problemas de congestión vehicular. Para conocer el estado actual del tráfico en el sector mencionado es necesario socavar información para que a través de la Ingeniería de tránsito se proponga soluciones acertadas para mejorar las condiciones de tráfico actual y a futuro (Municipio de Quito, 2021).

Hoy en día se han generado varias herramientas tecnológicas para aplicarlas en el análisis del tráfico y contribuir al concepto de ciudad logística sostenible. Este es el caso del software PTV VISSIM que permite simular el tráfico real de la ciudad, diseñar estrategias eficientes de gestión del tráfico, y probar diferentes diseños adaptables a la intersección. Al aplicar esta herramienta al sitio índice, la Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco, se obtiene la simulación del tráfico, con su respectivo análisis se propone soluciones estratégicas que resuelvan los problemas de congestión en el

área. Por último, se define una propuesta para mejorar significativamente la congestión vehicular, longitud de las colas y niveles de servicio.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Historia

La Avenida Mariscal Sucre, asimismo denominada Avenida Occidental fue construida bajo la alcaldía de Durán Ballén en 1976. Su propósito desde un inicio fue descongestionar el tránsito de la capital por lo que bordea la urbe en su periferia oeste. Actualmente esta avenida se ha convertido en una semi arteria de 31 kilómetros de longitud que va desde Carcelén en la parte norte de Quito hasta la parroquia de Guamaní y brinda accesibilidad a la población de 85 barrios (Rivera et al., 2021, p. 1).

Parte de la movilidad está centrada en los infortunios como accidentes o siniestros de tránsito. Es común que estos eventos surjan de forma homogénea a lo largo de las vías. Sin embargo, si estos se concentran en lugares específicos son denominados “puntos críticos o negros”. De hecho, se ha estipulado que la Av. Mariscal Sucre encabeza la lista de las rutas más peligrosas en el Distrito (Vásconez, 2018, p. 1).

Es importante determinar dichos sitios pues permite evaluar las causalidades de los accidentes sean estas técnicas o de infraestructura y proponer planes correctivos según las instancias en las que se presenten los puntos críticos. De acuerdo a análisis pasados se ha determinado que en toda la extensión de la Av. Mariscal Sucre existen cinco puntos negros (Rivera et al., 2021, p. 2)

1.2.2 Situación actual

Los dispositivos para la vigilancia de la circulación según (Redacción Buen Viaje, 2021) “indican las precauciones, prevenciones, restricciones existentes y la información necesaria que debe conocer el usuario de forma inmediata. Su importancia es motivo suficiente para que en la vía deba verificarse periódicamente el estado físico, visibilidad y/o necesidad de nueva señalización”. Estos dispositivos brindan una mayor seguridad y confianza en el momento de la conducción haciendo del viaje más ameno.

La iluminación juega un papel clave en las vías tanto para conductores y peatones. Se ha determinado que durante la noche ocurren más accidentes debido a la falta de luz. Por este motivo es fundamental examinar una adecuada localización de las zonas de iluminación para que los conductores tengan un viaje seguro a través de la vía (Bullough, 2016, pp. 1127–1132).

Un adecuado marcaje de las señales horizontales brinda seguridad al conductor. Por tal motivo se debería asegurar una señalización horizontal clara y correcta. Una ineficaz demarcación acarrea como resultado que los carriles sean irrumpidos, o que no sea viable diferenciar la línea límite de calzada, ocasionando pérdida de pista, que los automotores no se detengan en las líneas de pare, que transiten en carriles de contravía, etc. Aquellas son razones que constantemente ocasionan fatales siniestros (Expreso, 2022).

1.3 Justificación

El análisis de tráfico en la intersección entre la avenida Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco en el Distrito Metropolitano de Quito responde a la necesidad de buscar una solución al congestionamiento vehicular del sector. Para ello es necesario hacer micro simulaciones en este cruce que posee índices altos de tráfico, para implementar metodologías y técnicas, fundamentadas en Ingeniería de Tráfico, estas serán instrumentos útiles a la hora de saber el estado actual de dicha intersección.

La presente investigación busca dar soluciones al problema de tráfico existente beneficiando de manera directa a los habitantes los barrios ubicados al noroccidente de Quito.

Por lo expuesto anteriormente, conscientes del problema de movilidad latente entre la Av. Mariscal Sucre y la Av. San Francisco de Rumihurco que afecta al flujo vehicular en la ciudad de Quito se plantea, utilizando datos sobre la interacción entre el transporte público, buses, vehículos particulares y peatones, realizar un modelado o simulación de tráfico, mediante una herramienta tecnológica, el software PTV VISSIM.

1.4 Planteamiento del problema

El análisis y estudio del tráfico que se va a realizar permitirá dar solución a la problemática producida por el congestionamiento vehicular en la Avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco.

Como parte del análisis e investigación se realizará estudios de tráfico (TPDA) para establecer el volumen excedente de automotores en el cruce de las dos avenidas tomando en cuenta los diferentes giros permitidos en la intersección. Como complemento del estudio se planteará una micro simulación de tráfico usando el software avanzado PTV VISSIM.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar el impacto de tráfico generado en la intersección de las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco, realizando una micro simulación multimodal de tráfico con el fin de proponer alternativas de solución al problema de congestión vehicular existente.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el problema de circulación vehicular en la intersección de las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco.
- Crear un modelo del flujo vehicular en la avenida San Francisco de Rumihurco en el software PTV VISSIM.

- Determinar otros problemas generados por el embotellamiento en las horas pico.
- Plantear alternativas de solución al tráfico existente en la intersección de las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco.

1.6 Alcance

La presente investigación busca realizar un estudio y análisis del flujo vial además de una modelación del transporte aplicando el software PTV VISSIM, con el propósito de plantear soluciones alternativas al tráfico urbano vehicular en la intersección de la avenida Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco en la ciudad de Quito.

Con este fin se ejecutará una evaluación preliminar de las dos avenidas. Dicho diagnóstico será controlado durante horas pico, con mayor índice de tráfico vehicular. Esta estrategia permitirá comprender el comportamiento del problema de tráfico que lleva a la difícil movilidad en la intersección. Para identificar, determinar y evaluar los escenarios que presenten un problema, el diagnóstico va enfocado en analizar y buscar el significado de dicho análisis mediante la interpretación de los datos e información resultantes del estudio. Es necesario tomar en cuenta que esta investigación no se puede constituir en un documento de contratación ni construcción.

2 CAPITULO II: FUNDAMENTACION TEÓRICA

2.1 Indicadores objetivos y subjetivos de la congestión

Para definir lo que significa nivel de servicio Cerquera en el año 2007 mencionó que el nivel de servicio llega a ser una variable cualitativa que otorga al analista identificar, tanto las condiciones en que opera un flujo, sea de vehículos, personas o ambas, y la percepción de ese flujo que tienen los distintos actores, conductores o pasajeros (Cerquera, 2007, p. 8). La percepción de los usuarios puede ser de satisfacción o contrariedad (Instituto Nacional de Vías, 2020, p. 15). Además, se señala que el nivel de servicio y su definición evalúa la eficacia de flujo que hay en la vía, por esa razón se recomienda mantener calidad en el nivel de servicio, es decir el congestionamiento de los vehículos en la vía debe ser inferior a la capacidad (Morales, 2006, p. 72). “Las condiciones se refieren en términos medidas cualitativas como: la velocidad media y el tiempo transcurrido durante el recorrido, la comodidad al transitar, la conveniencia, la libertad de maniobras y la seguridad vial” (Cerquera, 2007, p. 8).

Según el Manual de Capacidad de Carreteras 2000 (HCM2000) se definen seis niveles de servicio numerados con las letras A,B,C,D, E y F (Transportation Research Board, 2000). Los factores que influyen en los mismos en las vías pueden ser internos y externos. Las variaciones de la velocidad media, el volumen y la composición del tránsito, son factores internos. Y los externos representan las características físicas de las vías, por ejemplo la anchura de los carriles, la inclinación de la vía (pendiente), estado del asfaltado y la distancia libre lateral, las pendientes etc., que van del mejor al peor (Mozo, 2011, p. 42) .

2.2 Niveles de servicio en vías

2.2.1 Nivel de servicio

Los niveles de servicio tienen como siglas LOS (en inglés) y son una medida cualitativa dependientes de las circunstancias de movilización en una vía, donde se clasifica de mayor velocidad de circulación a una con dificultad, ya que se ha excedido la capacidad de la vía (Cabrera Montes et al., 2019). La HCM 2010 indica que los niveles de servicio fueron constituidos para examinar si la extensión de un trecho de vía (aproximadamente en 15 minutos) mantiene un flujo continuo necesario para solventar la demanda vial (Mozo, 2011, p. 33).

Otra definición dada por el HCM indica que los Niveles de Servicio son una medida cualitativa de calidad que ofrece a los usuarios. Describe las condiciones de operacionalización y la satisfacción mientras hay un flujo de tráfico. Esta variable cualitativa permite realizar un buen diseño de las carreteras (Elescano, 2019, p. 15)

El HCM clasifica los Niveles de Servicio desde A libre circulación hasta F el flujo excede su capacidad (Mozo, 2011).

2.2.2 Nivel de Servicio A

Es el nivel óptimo para la movilización, dado que representa la circulación libre, con las dimensiones físicas correctas de la vía. No existe ningún conflicto en la acera por el tráfico de personas (Transportation Research Board, 1994, p. 130). El vehículo circula con un flujo libre a una velocidad aproximada de 95 km/h (Cerquera, 2007; Maquera Cruz & Cabrera Zuñiga, 2020), vea la figura 1.



Figura 1. Ejemplo de Nivel de Servicio A. Libre circulación.
Tomado de: *Highway Capacity Manual (HCM)* (p. 130) por
Transportation Research Board, 1994, The National
Academies Press.

2.2.3 Nivel de Servicio B

En esta medida cuantitativa comienzan las pequeñas interferencias con vehículos o las condiciones físicas de vía. Se considera un flujo estable en el cual se puede mantener la velocidad pero la posibilidad de maniobrar en este nivel de servicio se vuelve más difícil (Elescano, 2019). El volumen del servicio está alrededor de 45%. Los conductores aún tienen un nivel razonable de libertad (vea la figura 2). Para mantener la velocidad se precisa adelantar otros vehículos porque la presencia de mayor cantidad de vehículos afecta a la movilidad individual (Cabeza Quintero et al., 2018).



Figura 2. Nivel de Servicio B. Tomado de: *Highway Capacity Manual (HCM)* (p. 130) por Transportation Research Board, 1994, The National Academies Press.

2.2.4 Nivel de Servicio C

Este nivel conserva el flujo constante, sin embargo, la movilidad está estrechamente limitada al interactuar con otros usuarios de la vía. La velocidad no puede ser elegida por los conductores, pues la presencia de otros automotores marca el límite (León, 2018) . La velocidad de circulación es de 65 K/h, mayor volumen de servicio. El flujo de la vía opera aproximadamente al setenta por ciento de la capacidad de percepción de la comodidad descende (Maquera Cruz & Cabrera Zuñiga, 2020).



Figura 3. Nivel del Servicio C. Tomado de: *Highway Capacity Manual (HCM)* (p. 131) por Transportation Research Board, 1994, The National Academies Press.

2.2.5 Nivel de Servicio D

Existe un incremento de la densidad. Se presentan dificultades para maniobrar, esperando el surgimiento de contratiempos, y restricciones de geometría y pendiente (Cerquera, 2007). La velocidad se reduce y se experimenta una relativa comodidad con la formación de filas pequeñas de carros. El volumen de servicio se mantiene cerca del ochenta y cinco por ciento de la capacidad total. Existe una separación de entre 50 metros de longitud (León, 2018).



Figura 4. Nivel de servicio D. Tomado de: *Highway Capacity Manual (HCM)* (p. 131) por Transportation Research Board, 1994, The National Academies Press.

2.2.6 Nivel de Servicio E

Este nivel está próximo a un flujo inestable, por lo general hay un salto del nivel D al F. Tiene velocidades de operación reducidas a un valor bajo o tolerables. Adelantar a otros vehículos es difícil y casi imposible (Elescano, 2019). Los conductores tienen poca libertad de maniobrar, tanto la comodidad como la conveniencia están en niveles

bajos (ver figura 5). El volumen de automotores es de aproximadamente 2000 vehículos por hora (Cabeza Quintero et al., 2018).



Figura 5. Nivel de Servicio E. Tomado de: *Highway Capacity Manual (HCM)* (p. 132) por Transportation Research Board, 1994, The National Academies Press.

2.2.7 Nivel de Servicio F

Incorpora colapsos en la movilidad indicando condiciones de flujo forzado. Es lo que se denomina congestión. El flujo de automotores supera la capacidad de la vía, hay mayor demanda lo que provoca interrupción de flujo continuo. El flujo forzado se evidencia a bajas velocidades. Existen constantes paradas por corto o largo tiempo provocando larga filas de carros manteniendo un flujo muy irregular. El volumen de servicio es inferior a los 2000 vehículos/h (Cabeza Quintero et al., 2018). Como ejemplo de un nivel de servicio F se tiene la figura 6.



Figura 6. Nivel de Servicio F. Tomado de: *Highway Capacity Manual (HCM)* (p. 132) por Transportation Research Board, 1994, The National Academies Press.

Para cada uno de los niveles de servicio se ha establecido un aproximado de densidad vehicular, en la tabla 1 se puede notar pormenores que la densidad varía entre menor o igual a 7 y mayor o igual a 29 automóviles/km/carril.

Tabla 1. *Criterios de Niveles de servicio para segmentos básicos de autopistas rangos de densidad*

Nivel de servicio	Densidad (automóviles/km/carril)
A	≤ 7
B	<7-11
C	<11-16
D	<16-22
E	<22-28
F	≥ 28

Nota: Fuente: Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis (Transportation Research Board, 2016).

2.2.8 Características básicas

Las características básicas comprenden una serie de rasgos que en conjunto hacen que las condiciones sean las ideales para la movilidad. Estos rasgos son el estado del clima, visibilidad correcta, ausencia accidentes en la vía, sin obras viales que obstaculicen el

tránsito, y baches o deterioro del pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014). En conjunto se definen las características básicas de la siguiente forma:

- Ancho mínimo de carriles: 3,60 metros
- Distancia libre lateral derecha en la vía: mínimo de 1,80 metros, es decir entre la acera y el automotor que circula
- Distancia lateral mínima libre: franja delimitadora central de 0,60 metros
- La totalidad de vehículos en la vía son livianos, libre de buses, camiones y tráileres
- La autopista cuenta con cinco o más carriles en cada sentido.
- El terreno debe ser plano con una pendiente inferior al dos por ciento (<2%)
- Los conductores, en su mayoría, están familiarizados con la autopista (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016).

Las mencionadas condiciones base permiten mantener un elevado nivel de maniobra en velocidades a flujo libre (FFS) hasta los 120 km/h. Caso contrario, con la variación de cualquier condición real que se aleje de la base conlleva a la reducción de la capacidad y la medida cuantitativa de los niveles de servicio (Bouhaloufa et al., 2018).

La figura 7 se observa un grupo de curvas para secciones primordiales de autopistas que operan en las condiciones ideales descritas anteriormente. Las cinco curvas a distintas velocidades de flujo libre (88 km/h, 96 km/h, 104 km/h, 112 km/h y 120 km/h)

indican la relación existente entre la velocidad, el flujo y la densidad. En conjunto estas medidas permiten determinar el nivel de servicio (Cal & Cárdenas, 2018).

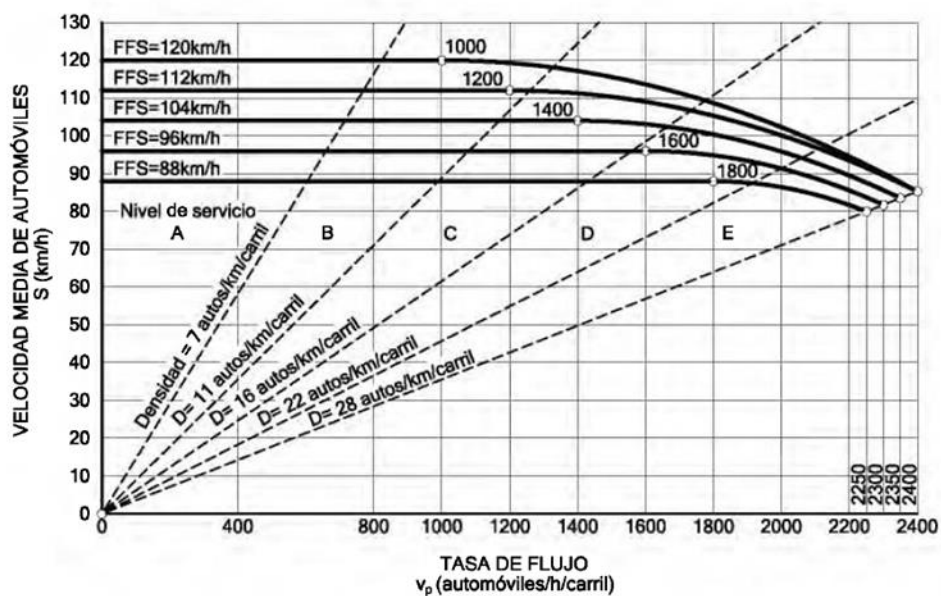


Figura 7. Curvas velocidad-flujo y niveles de servicio en segmentos básicos de autopistas. Tomado de Highway Capacity Manual, por Transportation Research Board, 2010

Existen dos rangos en la forma de las curvas:

Primer rango en donde: las tasas de flujo de demanda varían desde 0 automóviles/h/carril hasta un punto de fractura. En el punto de quiebre la velocidad media es igual a FFS y constante.

Segundo rango: tasas de flujo de demanda mayores a las de los puntos de quiebre, donde las velocidades medias de los automóviles decrecen, de forma parabólica, a medida que las tasas de flujo aumentan hasta alcanzar la capacidad básica o ideal (c).

La tabla 2 muestra las velocidades a flujo libre, los puntos de quiebre, las capacidades y las ecuaciones, que definen cada una de las curvas de la figura 7, en condiciones ideales.

Tabla 2. Ecuaciones, velocidades a flujo libre y puntos de quiebre para las curvas de segmentos básicos de autopistas.

Velocidad a flujo libre FFS (km/h)	Punto de quiebre (automóviles/h/carril)	Capacidad ideal c (automóviles/h/carril)	Ecuación velocidad-flujo, segundo rango
120	1,000	2,400	$120-0.00001771(v_p-1,000)^2$
112	1,200	2,400	$112-0.00001856(v_p-1,200)^2$
104	1,400	2,350	$104-0.00002269(v_p-1,400)^2$
96	1,600	2,300	$96-0.00002906(v_p-1,600)^2$
88	1,800	2,250	$88-0.00003950(v_p-1,800)^2$

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual*. HCM 2010. Adaptada en unidades métricas.
 v_p = tasa de flujo de demanda bajo condiciones base equivalentes.

2.2.9 Metodología de análisis operacional

La metodología de entrada y orden de cálculo que sigue el HCM 2010 para conseguir el nivel de servicio está enfocado en el siguiente diagrama de flujo:

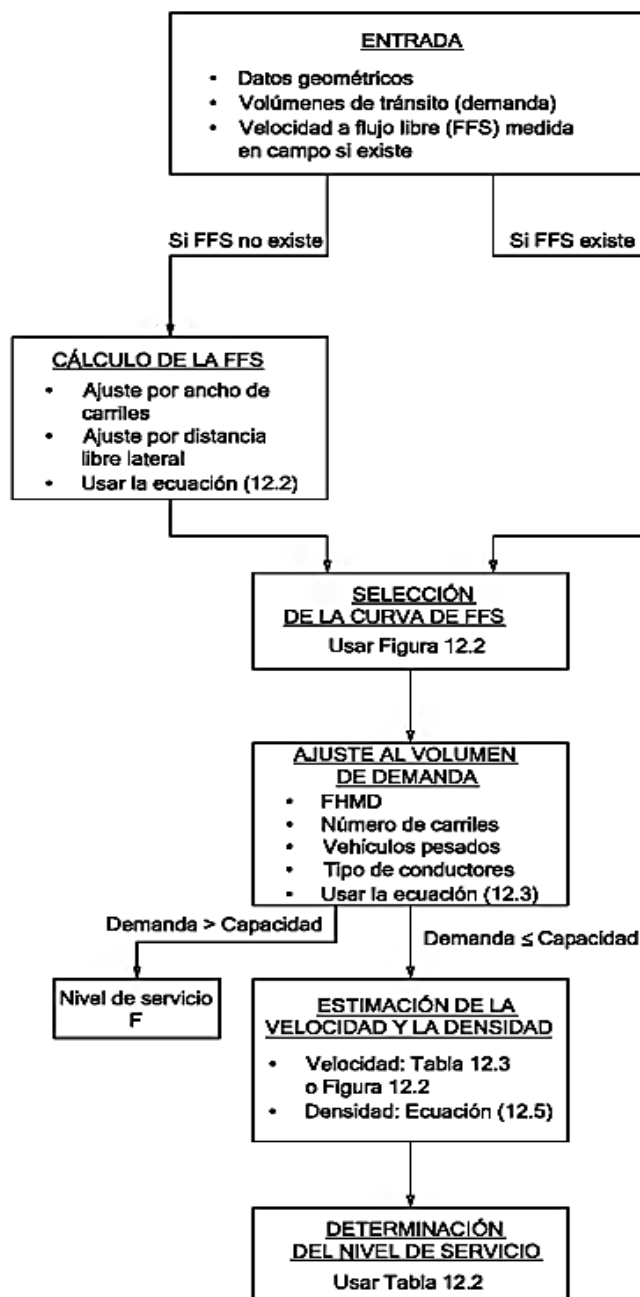


Figura 8. Esquema metodológico para el análisis de segmentos básicos de autopistas. Tomado de *Highway Capacity Manual*, por Transportation Research Board, 2010

2.2.9.1 Datos de entrada

El analista debe ingresar, los datos por default o específicos del sitio como: la capacidad de demanda, el ancho de los carriles, la cantidad de carriles existentes, cada

una de las distancias libres laterales a la derecha de la vía, por intercambiadores la densidad de rampas de enlace tanto de convergencia como de divergencia. Se toma en cuenta el porcentaje de transporte pesado, el FHMD, el tipo de terreno y el factor de tipo de conductores que usan la autopista.

2.2.9.2 Determinación de la velocidad a flujo libre (FFS)

La velocidad a flujo libre se denomina a la velocidad media de los automotores livianos, que se mide cuando se tiene flujos de bajo a moderados es decir menos 1,000 vehículos livianos/hora/carril. Para obtener los datos de la velocidad a flujo libre se lo hace midiendo directamente en la zona de interes, la vía. Otra opción es estimarla de forma indirecta usando una velocidad de flujo libre base dada por el HCM 2010, lo que equivale a 120,64 km/h. La medición de la velocidad de flujo libre en el campo se realiza en un segmento muestra representativo de la vía en estudio. Los tiempos en que se toma deben ser: horas de flujo bajo con densidad inferior a 1,000 automotores livianos/hora/carril. El promedio obtenido de la muestra representativa es válido para usar como la velocidad a flujo libre FFS en los cálculos sin realizar ningún ajuste. Este valor de la velocidad de flujo representa el resultado de la totalidad de condiciones en la zona de análisis. Cuando no es posible la medición de campo, la velocidad FFS se estima con la velocidad a flujo libre base (120,64 km/h) ajustada al objeto analizado. El ajuste debe realizarse en base a las particularidades físicas: anchura de carriles, distancia lateral derecha y la densidad por intercambiadores (Cerquera, 2007, pp. 34–36).

- **Anchura de carriles: f_{LW}**

Si la anchura de los carriles en las vías es más baja a la sugerida, 3,60 metros, los conductores tienen que guardar menos distancia lateral entre ellos, más distancia entre vehículos del mismo carril lo que reduce la velocidad a flujo libre (Cal & Cárdenas, 2018, p. 345).

- **Distancia libre lateral: f_{LC}**

Los obstáculos laterales tienden a que el conductor se aleje estrechando el carril. Las obstrucciones continuas pueden ser muros de contención de concreto o metálicos. Barreras intermitentes: postes de luz, conos de señalización, etc. Las distancias libres laterales base: derecho 1,80 m e izquierdo 0,60 m desde el margen externo del límite de la vía hasta el margen de la pista. Si la distancia libre lateral derecha es $< 1,80$ m, la velocidad FFS se ve reducida. No hay ajustes para compensar distancias menores < 0.60 metros. El analista dispondrá de un juicio de valor para establecer si barreras en el lado derecho pueden o no obstruir la movilidad. Para este punto se debe tomar en consideración que los conductores pueden acostumbrarse a ciertas obstrucciones y así descartarse (Transportation Research Board, 2010, p. 124).

- **Densidad total de rampas de enlaces: TRD**

Es el número de rampas de enlace (divergencia y convergencia) en un sentido, su unidad de medida es enlaces por kilómetro (enlaces/km). Son aquellas ubicadas entre 4,8 km corriente arriba y 4,8 km corriente abajo tomadas desde centro del segmento, dividido para 9,6 km.

Para el caso de los intercambiadores, si aumenta su número o densidad, la velocidad a flujo libre base disminuye. Otra característica que influye es el deterioro y hoyos en el pavimento. Por esa razón, el Instituto Mexicano del Transporte, en su Publicación Técnica No. 62, como conclusión de su investigación sugieren realizar un ajuste a la metodología del HCM 2010, sustituyendo el factor de reducción de la velocidad por ancho de carril (f_{LW}), por uno que incluya la anchura de carril y la regularidad superficial (f_{PAC}). Este factor se obtendrá en varias mediciones de velocidades variando y combinando anchos de carril con Índice de Rugosidad Internacional (IRI) (Transportation Research Board, 2010, p. 124).

2.2.10 Selección de la curva de velocidad a flujo libre (FFS)

La selección de la curva velocidad-flujo que se va a usar en el análisis se realiza cuando la velocidad a flujo libre (FFS) se haya definido con la ecuación. No se debería usar interpolaciones entre curvas, más bien los criterios son:

Rango de Velocidad de Flujo Libre:

$$116,0 \text{ km/h} \leq \text{FFS} 124,0 \text{ km/h} \rightarrow \text{Curva FFS: } 120 \text{ km/h}$$

$$108,0 \text{ km/h} \leq \text{FFS} 116,0 \text{ km/h} \rightarrow \text{Curva FFS: } 112 \text{ km/h}$$

$$100,0 \text{ km/h} \leq \text{FFS} 108,0 \text{ km/h} \rightarrow \text{Curva FFS: } 104 \text{ km/h}$$

$$92,0 \text{ km/h} \leq \text{FFS} 100,0 \text{ km/h} \rightarrow \text{Curva FFS: } 96 \text{ km/h}$$

$$84,0 \text{ km/h} \leq \text{FFS} 92,0 \text{ km/h} \rightarrow \text{Curva FFS: } 88 \text{ km/h}$$

(Transportation Research Board, 2010, p. 267).

2.2.11 Ajuste al volumen de demanda

La influencia de los vehículos de transporte de carga pesada, los conductores y usuarios de las vías se manifiesta en la variación del volumen de vehículos mediante la tasa de flujo horaria. Los efectos provocados se evidencian ajustando el volumen horario dado para vehículos mixtos. De esta forma se llega a una tasa de flujo horaria plasmada en automotores de carga pesada o livianos, como sigue a continuación:

$$V_p = \frac{V}{FHMD * N * f_{HV} * f_p}$$

V_p : Tasa de flujo de demanda equivalente (vehículos liv/h/carril)

V : Volumen horario en condiciones prevalecientes (vehículos mixtos/h)

$FHMD$: Factor de la hora máxima de demanda

N : número de carriles por sentido

f_{HV} : factor de ajuste por vehículos pesados

f_p : factor de ajuste por tipo de conductores

(Cal & Cárdenas, 2018)

2.2.12 Estimación de la velocidad y la densidad

Utilizando las ecuaciones de la tabla 2, se calcula la velocidad media esperada (S) de los automóviles en la corriente de tránsito. De la misma manera se puede llevar una solución gráfica usando las curvas velocidad-flujo de la figura 7. Así la densidad se calcula mediante la ecuación:

$$D = \frac{V_p}{S}$$

D : Densidad (vehículos liv/km/carril)

V_p : Tasa de flujo de demanda equivalente (vehículos liv/h/carril)

2.2.13 Determinación del nivel de servicio

Con la densidad calculada, y utilizando la tabla 2, se establece el nivel de servicio

2.3 Definición y análisis del área de influencia del congestionamiento

Partiendo del objetivo de buscar las soluciones a puntos críticos de congestión vehicular; es imperativo delimitar la zona de influencia en estudio que facilite su análisis, tome de ejemplo la figura 9.

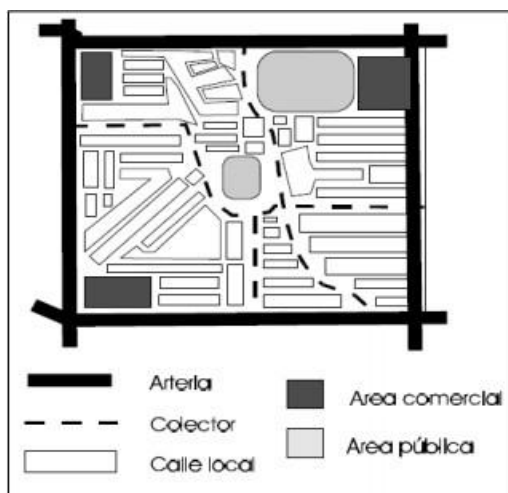


Figura 9. Definición y Análisis del Área de Influencia – Zona de Influencia.
FUENTE: SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL, s.f.

El ámbito de estudio debería quedar definido por la unión de dos criterios:

1. El perímetro de residencia o trabajo de la gran mayoría de los ciudadanos afectados de forma frecuente por la congestión
2. El o los tramos viales en donde se produce congestión reiterada, las zonas de reducción de velocidad.

Cuando se planea realizar “Casos de Estudio en la Ciudad de Quito”, se recurre a las siguientes fuentes de información:

- Datos de población por Parroquia (Municipio de Quito, 2012, p. 45)
- Intensidades de tráfico de las vías de acceso y de paso (datos de campo) o Datos de congestión (Municipio de Quito, 2012, p. 61)

2.4 Congestión vehicular

En este último tiempo, el congestionamiento de vehículos en las vías se ha convertido en una problemática muy difícil de solucionar, y su impacto se ve reflejado no solo en los conductores de vehículos sino también en las personas en general. El problema que crea elevados niveles de congestión vehicular y reducción de la velocidad de circulación e incapacidad de maniobrar, surge cuando el tráfico vehicular supera la capacidad de la red vial (Cabeza Quintero et al., 2018).

El problema se agrava cuando vehículos ingresan al flujo saturado, pues producen altos valores económicos de traslados y moras en cronogramas, siniestros viales y polución en general. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) argumenta que el instante más significativo de tráfico se presenta cuando el número de

automotores que ingresan a la vía es igual al volumen de vehículos con un tiempo de viaje correspondiente mayor al 50% del libre (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2002).

2.5 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

Para caracterizar el tráfico vehicular y realizar el diseño se debe añadir la medida TPDA definida como la medida de flujo vehicular usada para este fin. Este valor se añade a los modelos de detrimento del pavimento (Cal & Cárdenas, 2018).

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

TA: es la cantidad de automotores que transitan en 365 días (año)

2.5.1 Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

TM: cantidad de automotores que transitan al mes (Cal & Cárdenas, 2018).

2.5.2 Tránsito promedio diario semanal

$$TPDS = \frac{TS}{30}$$

TS: cantidad de automotores que circulan en siete días, semana (Cal & Cárdenas, 2018).

Ahora el flujo de automotores dado en vehículos/hora, que se detallan a continuación, son establecidos introduciendo una hora que se ha seleccionado de forma previa.

2.5.3 Volumen horario máximo anual (VHMA)

Corresponde al periodo horario donde existe más tráfico de las 8760 horas en un año medido en un sitio fijo de la vía en estudio (Moyano, 2017, p. 33).

2.5.4 Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Se denomina VHMD al número máximo de automotores que transitan por un sitio específico de la vía en un tiempo aproximado de 60 minutos inmediatos de un día (Moyano, 2017, p. 33).

2.5.5 Volumen horario de proyecto (VHP)

Sirve para conocer cuál es la variación del tránsito en una vía. Dicho volumen sirve de pilar para realizar el diseño geométrico en un proyecto vial. Cuando se realiza el estudio del volumen horario en un plan no se toma en cuenta el máximo número de vehículos/h en un año determinado. Se recurre a proyectar un volumen horario máximo con referencia a información recolectada durante el año (Cal & Cárdenas, 2018; Moyano, 2017, p. 33).

2.6 Capacidad vial

Designada también oferta vial es la mayor cantidad de automotores que tienden a circular en un concreto sitio por espacio de tiempo establecido (De Solminihac et al., 2019). La capacidad está condicionada al tránsito y geometría de la carretera. Expresada en vehículos/hora y se alcanza el flujo máximo cuando su capacidad está al límite (Vega, 2018, p. 21). Para identificar cual es la capacidad vial se necesita recolectar datos de la velocidad, tipo de autos, volumen utilizando sensores. En

relación con la capacidad y el tráfico se tienen los seis niveles de servicio que ya se analizó (Vega, 2018, p. 21).

2.6.1 Significado Analítico de Congestión

La congestión se presenta porque el sistema está limitado y la demanda lo supera, es decir hay más usuarios que espacio en la vía de tránsito. Este término también puede referirse a la congestión en peatones. Se dice que la congestión incluso tiene un carácter aleatorio. Como ya se ha analizado la capacidad de un sistema vial se cuenta como la cantidad total tope de autos por tiempo, que comúnmente se utiliza por hora (Cal & Cárdenas, 2018).

Ahora considere un sistema de vías con una determinada capacidad vial. La capacidad vial se puede identificar con la letra griega μ y se da en unidad de automóviles/tiempo. Tome en consideración que t_p es el tiempo promedio en que se obtiene el servicio y que si el inverso el intervalo máximo se estaría definiendo la tasa de servicio, tal como se indica en la ecuación siguiente (Cal & Cárdenas, 2018, p. 329).

$$t_p = \frac{1}{\mu}$$

Si las entidades llegan a una tasa λ/h , es así que el tiempo total de procesamiento t_T por vehículo sería:

$$t_T = t_p, \text{ para } \lambda \leq \mu$$

Si se cumple $\lambda > \mu$, existen varias opciones:

1. En este caso como consecuencia la fila de carros en las vías se alarga con el paso del tiempo, tiende al infinito ($t_T \rightarrow \infty$).

2. Si $(t_T \rightarrow \infty)$ entonces el sistema tiende a colapsar, es decir hay congestión pesada las unidades casi no se mueven.

3. Si por poco tiempo y en condiciones estacionarias λ es mayor que μ , la cola que se está formando se libera.

Ahora cuando μ o λ se destacan por ser variables del tipo aleatorio, las filas se forman aún si λ es menor que μ (Cal & Cárdenas, 2018, p. 329).

Con lo analizado se tiene que en cualquier condición de estado sea estado estacionario o no estacionario:

$$t_T = t_p + t_D$$

El tiempo total de procesamiento: t_T /tiempo

Tiempo promedio de procesamiento t_p

t_D :Tiempo de demora (Cal & Cárdenas, 2018, p. 329).

En la figura 10 se evidencia el significado manera práctica correspondiente a la congestión.

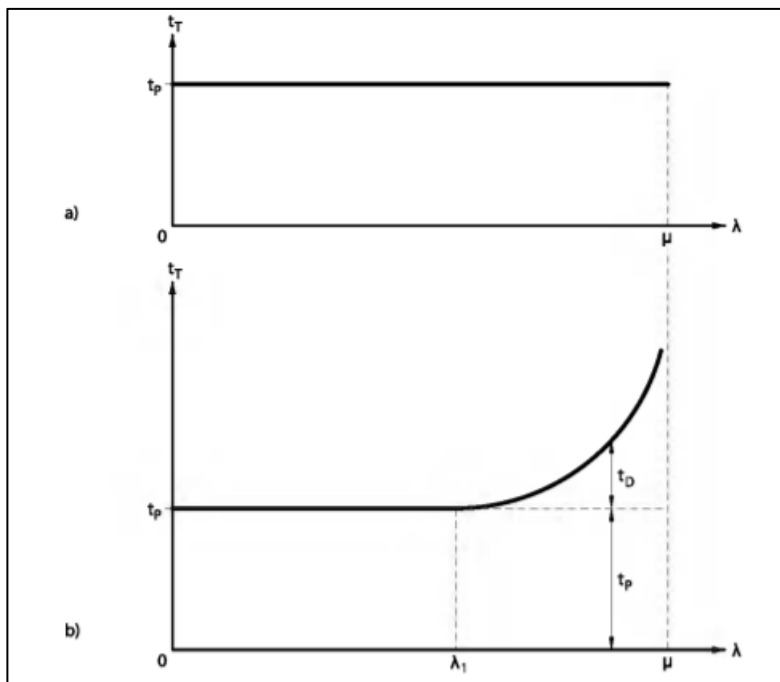


Figura 10. Significado de la congestión.

Tomado de: *Ingeniería de Transito (9ma ed.)* (p. 290) por Cal, R & Cárdenas, J. en 2018, Alfaomega.

En la parte b de la figura 10, se observa la gráfica que se explica de forma analítica a continuación:

En el rango inicial conocido como de llegada, $0 < \lambda < \lambda_1$, no existe congestión, $t_T = t_p$, debido a que, $t_D = 0$

Cuando λ es mayor que λ_1 hay presencia de congestión porque $t_D > 0$, o $t_T > t_p$.

Si λ se aproxima a μ , aumentando y llega a aproximarse a t_D se incrementará más el tráfico.

La fila aumentará de tamaño al infinito con un nivel constante y cuando exista algún nivel de solicitud λ más alto que la capacidad μ , $\lambda > \mu$. Si λ comienza a variar, la cola se comienza a disipar, siempre que λ caiga por debajo de μ (Cal & Cárdenas, 2018).

2.6.2 Elementos de un sistema de filas de espera

Desde este punto se usará los términos cola, fila o línea de espera para referirse a la congestión. Si se desea saber los componentes de un conjunto de filas de espera se plantean las siguientes preguntas:

¿Cuál es...

- ... la hora que comienza y finaliza la congestión?
- ... el promedio en número de carros en el conjunto de vías analizadas?
- ... es el tiempo promedio de aguardo en la fila?
- ... es la media de carros en la fila?
- ... es el periodo medio en el conjunto de vías analizadas?
- ... es la tasa de tiempo de uso del sistema?
- ... es la máxima extensión que puede alcanzar la fila?
- ... el tiempo máximo de demora?
- ¿Cuánto tiempo en total es la demora de todo el tránsito?
- ... es el porcentaje de tiempo en el que el conjunto de vías analizadas está inactivo?

Las filas de automóviles se generan en diferentes situaciones, por ejemplo, es común observar fila de carros en las entradas de las gasolineras en horas pico, en las entradas laterales en una autopista cuando existen pases o semáforos más adelante. Las filas también se forman por el intervalo entre semáforos o cuando

existen redondeles donde la demanda supera la capacidad (Cal & Cárdenas, 2018). En la figura 11 se exponen resumidamente varios sistemas de filas de espera. Cada sistema de filas mostrado en la figura puede observarse especialmente en los peajes, en las estaciones de garaje o las semaforizaciones. El servicio que se toma en ese lugar llega con el tiempo (Cal & Cárdenas, 2018).

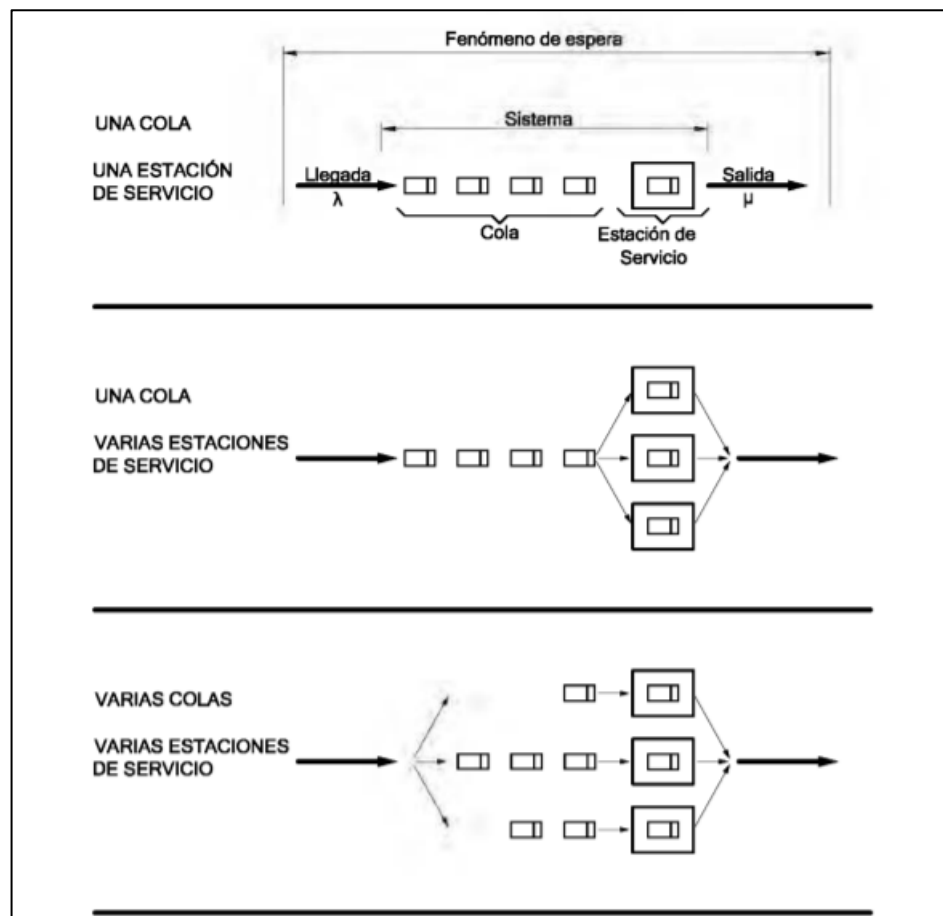


Figura 11. Sistema de filas de espera. Tomado de: *Ingeniería de Tránsito (9ma ed.)* (p. 300) por Cal, R & Cárdenas, J. en 2018, Alfaomega.

La tasa de llegada de los vehículos puede identificarse con la letra griega λ . Los usuarios son atendidos con un nivel de servicio medio μ que es igual al nivel de salida siempre y cuando la estación de servicio no tenga usuarios. Si, por ejemplo, la gasolinera está ocupada, se generan largas filas. Las tarifas de acceso y las tarifas de servicio difieren, lo que cambia la fila. El sistema de filas de vehículos se considera

apropiado si se observa la naturaleza del comportamiento, porque las llegadas fluctúan con el tiempo (Cal & Cárdenas, 2018). El comportamiento de las filas de vehículos va a estar en función de algunos elementos:

1. La demanda, la llegada de los vehículos o características de entrada:

Según (Cal & Cárdenas, 2018) “tienen una distribución determinista o probabilística. Se expresa en tasas de flujo (vehículos/hora) o intervalos de tiempo (segundos/vehículo)”.

2. La capacidad, el servicio recibido:

De acuerdo con (Cal & Cárdenas, 2018) “también llamado características de salida, tienen una distribución determinista o probabilística y se expresa como tasas de flujo o intervalos”.

3. Procedimiento del servicio:

Comportamiento de la fila de vehículo consiste en: el primero en llegar es el primero en salir. El régimen que define las características en la espera está marcado por valores alfanuméricos, tres en total: $a/b/c$

a = identifica el tipo de llegada

b = identifica el tipo de servicio o salida

c = identifica el número de estaciones de servicio

Por ejemplo:

Un régimen $D/D/1$: tiene llegadas y salidas determinísticas a intervalos uniforme

Citando a (Cal & Cárdenas, 2018) “un régimen $M/M/1$: se compone de llegadas y salidas de tipo probabilísticas (M por el tipo de modelo de Markov) o con distribución exponencial”.

2.7 Intercambiador

Los intercambiadores son dispositivos viales formados por diferentes niveles y ramales interconectados que permiten a los vehículos intercambiar dos o más vías y cambiar el sentido de la circulación mediante giros y desplazamientos. No existe colisión o cruces entre dos o más vías. Su objetivo es reducir o eliminar la congestión de automóviles en la intersección (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 159).

Si se circula con fluidez sin contratiempos, entrecruzamientos se puede decir que un intercambiador es de libre circulación. Caso contrario, si existen señales de tránsito como el Pare, para ingresos desde un ramal a la principal se menciona que es un intercambiador con condición de parada. Se considera que es solo un paso a desnivel si no se efectúa el cambio de automotores a través de dos o más vías (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 159).

2.8 Diseño geométrico

2.8.1 Puente

Los intercambiadores disponen de varias estructuras a diferentes niveles cuyo diseño es parecido a los puentes. La altura del puente varía dependiendo de las normas de la ciudad entre 5,50 m y 8,80 m (Guamán, 2016, p. 94).

2.8.2 Ramales

Un ramal consta de dos puntos de conexión y una rampa entre los dos terminales. Los ramales pueden tener cualquier alineación, pero manteniendo el intercambio de vehículos con varias carreteras. Los ramales tienen terminales que en el caso de que conecten a una vía secundaria pueden tener señales de parada (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 178). Para efectos del diseño de los ramales, en los terminales del ramal se podrán establecer carriles de aceleración y desaceleración, pues la intersección y sus características marcan su diseño. Dichos carriles tienen como objetivo una operación eficiente y mantener el flujo de tráfico estable (Guamán, 2016, p. 29).

2.9 Tipos de intersecciones

Las intersecciones en la vía son todas las confluencias y uniones de vías a nivel. Los cruces sin canalizar son de dos tipos principalmente intersección en Cruz y en “Y”, vea la figura 12 y figura 13. Por general son encontradas en sector urbano lo que aumenta el riesgo de conflictos e interrumpen la movilidad. En la norma NEVI 12 se restringe los tipos de soluciones en una intersección, más se menciona que los ingenieros proporcionaran alguna solución (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 148).

Se tienen criterios generales para el diseño de intersecciones: Priorizar la movilización, estabilidad con los flujos de tránsito, Simplicidad y diafanidad, Notoriedad y Verticalidad de los trayectos.

Para el diseño se toma en cuenta:

- El ángulo de ingreso entre 60 y 90 grados
- Radio mínimo debe ser correspondiente al radio de giro del automotor
- Pendiente en lo posible más bajo al 4% (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 149,150).

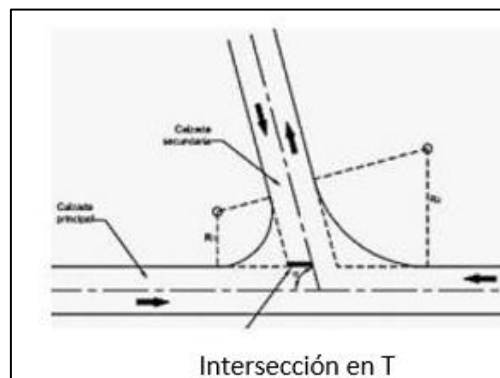


Figura 12. Esquemas de intersección más común en carreteras. A: Intersección en Cruz. B: Intersección en "T". Tomado de: MTOP, NEVI 12 – Norma para Estudios y Diseños viales, por Ministerio de Transporte y Obras Públicas, en 2013.

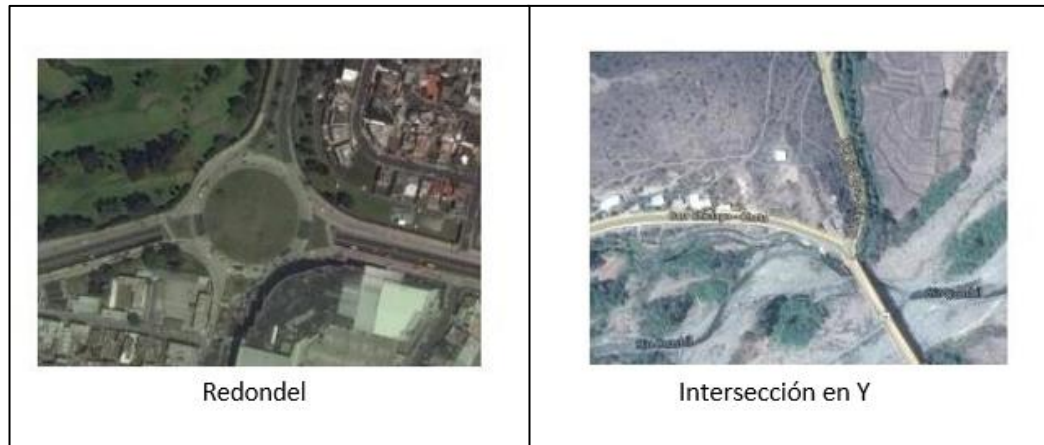


Figura 13. Intersección en “Y” y redondel. Tomado de: Google Earth, 2021

2.10 PTV VISSIM, “Verkehr In Städten - SIMulation”

Es un software que se utiliza para la simulación multimodal y celular del tránsito. Fue desarrollado en Alemania por Planung Transport Verkehr AG. Su nombre en español es “Simulación de tránsito en ciudades”. La base teórica de VISSIM es de la Universidad de Karlsruhe y en Windows para los 80’s. Es una herramienta líder del mercado mundial. Tiene la capacidad de modelar el tráfico de la ciudad, el tráfico de pasajeros incluso el tráfico ferroviario. El software utiliza varias condiciones para hacer que su simulación sea detallada y realista: utiliza condiciones externas, tales como el diseño de los carriles, el diseño de las intersecciones, patrones de tráfico, etc. VISSIM consta de dos módulos: “simulador de tráfico y generador de estado de señales. El resultado es una animación en tiempo real con acumulación de datos estadísticos como longitudes de filas y tiempos de viajes“ (PTV GROUP, 2022).

VISSIM utiliza el modelo de comportamiento psicofísico del conductor que fue descrito por Wiedemann en el año de 1974. Los vehículos se suceden en oscilación. Cuando los vehículos se acercan a otro con mayor velocidad el programa ajusta su

distancia (Agosta et al., 2019, p. 2). Cuando existen conexiones en multicarril se el software comprueba cambios de carril y encuentra la posibilidad de hallar espacios aceptables. La simulación se basa en el seguimiento del vehículo mediante diferencia de velocidades y distancias, así como el comportamiento del conductor y la influencia del vehículo que está en frente (Agosta et al., 2019, p. 2). En la figura 13 se observa los principios de funcionamiento del modelo PTV.

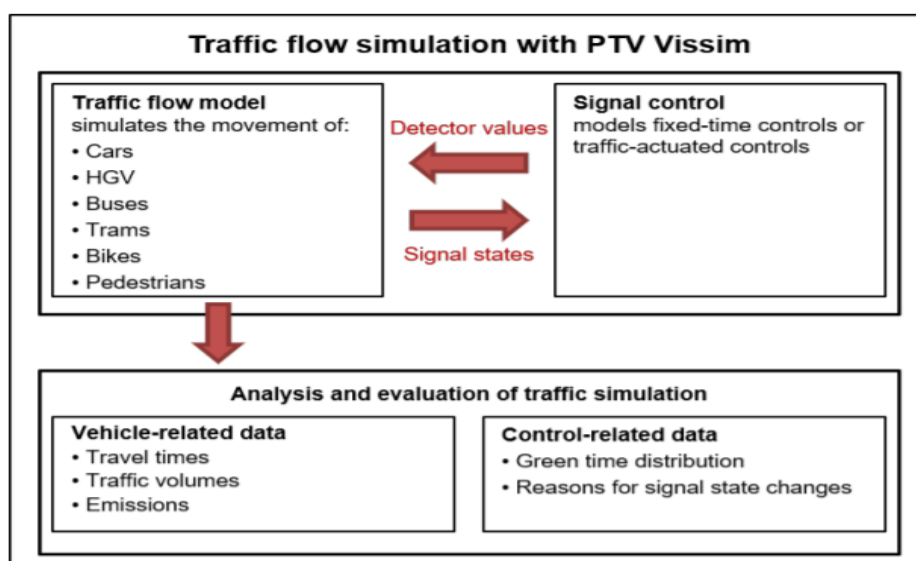


Figura 14. Principios de funcionamiento del automóvil siguiendo el modelo. Tomado de: PTV VISSIM 10 User Manual (p. 30), por PTV GROUP, 2015.

2.11 Principios de funcionamiento del automóvil siguiendo el modelo

El fundamento de VISSIM está en el modelo de Widemann en donde los automóviles se movilizan manejando un modelo de flujo de tráfico. Se requiere de eficacia del modelo. En esta simulación el conductor más rápido desacelera hasta alcanzar un umbral de percepción individualizada del más lento, ver figura 14. Se verifica si existen varios carriles, la influencia de los vehículos en frente, girando todo alrededor del primer vehículo (PTV GROUP, 2015, p. 30).

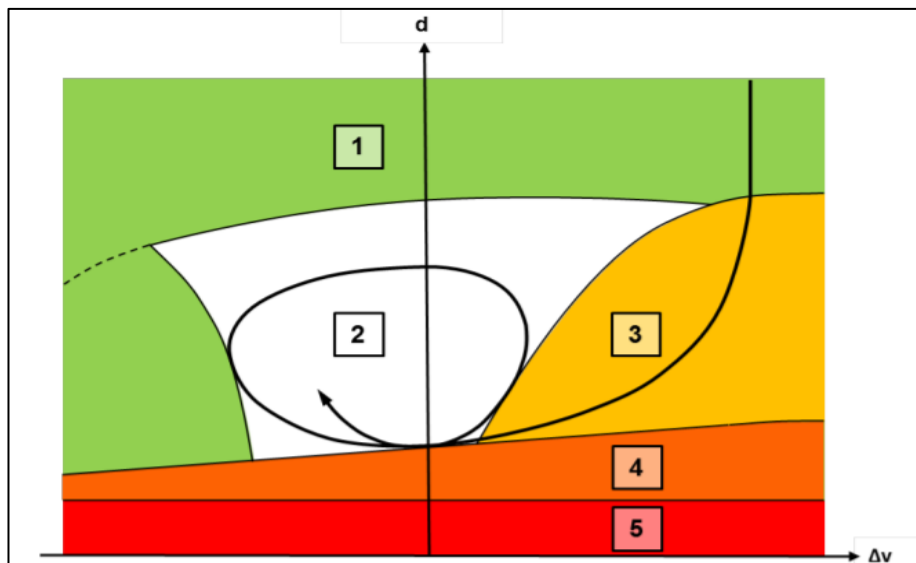


Figura 15. Modelo de automóvil según el modelo de Wiedemann establecido en 1974.
Tomado de: *PTV VISSIM 10 User Manual* (p. 31), por PTV GROUP, 2015.

Donde:

Ejes: d: Distancia, Δv : Cambio de velocidad

1: Estado "Comportamiento no regulado"

2: Siguiendo estado

3: Estado de aproximación

4: Estado de frenado

5: Estado de colisión

El modelo de seguimiento de automóviles se ha calibrado mediante diversas medidas en el Instituto de Tecnología de Karlsruhe. Nuevas medidas toman en cuenta los cambios en el comportamiento de conducción además de las capacidades técnicas de los vehículos (PTV GROUP, 2015, p. 32).

Es difícil estimar la velocidad exacta del vehículo por esa razón aún por los métodos de modelado la velocidad caerá por debajo de la velocidad real. Para asegurar una aproximación se hacen ciertas consideraciones:

- Si la distancia que se desea se establece al 100% el vehículo delantero tendrá la misma velocidad
- Si se desea una distancia 100-110% se interpola la velocidad tanto del deseado como que el precede.
- Si se desea distancia segura mayor o igual a 110%, el vehículo acelera a su velocidad requerida.

El programa VISSIM simula el volumen de tráfico movilizand o elementos de conductor-automotor a lo largo de la red. Como ya se ha visto cada conductor tiene comportamientos distintos. Por lo tanto, se asigna a cada conductor distintas formas de actuar. Además, ese comportamiento se ajusta a las capacidades técnicas de su automotor. Se realiza una combinación de varias características de tres categorías: Especificaciones técnicas del automotor, comportamiento de conductor e independencia, las dos últimas en unidades de conductor- automotor (PTV GROUP, 2015, p. 32).

2.11.1 Aplicaciones Del VISSIM

VISSIM tiene algunas aplicaciones prácticas que se analizarán a continuación:

- Simula el comportamiento en las intersecciones controladas con señales de tránsito o semaforizadas. Controlando tiempos fijos utilizando un orden lógico. Es capaz de reproducir las condiciones físicas reales, dando opciones de cambio de carril y seguimiento de vehículos.
- Simulación de tráfico urbano que acceda extrapolar a un planeamiento de transporte masivo en una ciudad. Simula el movimiento de todos los tipos de

transporte en una vía. Así lo demostraron Camaro & Sánchez en el 2007 cuando lo plantearon para la ciudad de Cartagena (Camargo & Sanchez, 2007).

- Es utilizado para valorar y examinar la viabilidad y el efecto de adicionar sistemas de movilización masiva en las urbes, como del presente proyecto para solucionar problemas viales.
- El software ayuda a comparar entre varias opciones de resolución para mejorar la vialidad de un cruce. Se realiza la simulación aproximada de cada alternativa (PTV GROUP, 2015)
- Permite el uso de simulaciones 2D y 3D. En 2D es posible agregar, mostrar y editar objetos para poner en marcha simulaciones de vehículos o peatones. El modo 3D se utiliza para mostrar redes en presentación en 3D (PTV GROUP, 2015).
- Ayuda a evaluar el transporte público y como puede ser optimizado con variables como tiempos de viajes (PTV GROUP, 2015).
- Simulaciones de peatones: llamado modelo de fuerza social simula el movimiento de los peatones de forma parecida al movimiento newtoniano. Se utiliza variables: como fuerzas sociales, psicológicas y físicas para medir el parámetro físico de la aceleración (PTV GROUP, 2015).
- Se han recreado simulaciones de las operaciones en un aeropuerto para simular los tiempos de embarque, revisión, despegue de aviones, aterrizaje, etc. (PTV GROUP, 2015).
- Se puede crear simulaciones de peatones en intersecciones con señalización y cruce de las personas (PTV GROUP, 2015).

- Análisis de prioridad de tránsito y gerencia como rutas alternativas, intervención de acceso, rutas de peaje y carriles específicos (PTV GROUP, 2015).
- Permite realiza el análisis de vulnerabilidad redes grandes, opcionalmente utilizando rutas alternativas para asignación dinámica (PTV GROUP, 2015).

2.11.2 Simulación de flujo de personas

La simulación de flujo de peatones es la representación exacta del comportamiento del caminar humano en un entorno virtual, que reproduzca un sitio específico. Cada escenario se puede modelar hasta el más mínimo detalle: desde la interacción de peatones individuales en multitudes, a la interacción de peatones y otros medios de transporte, hasta anomalías en diferentes infraestructuras o núcleos de tráfico. El programa VISSIM PTV VISWALK es denominado un software microscópico de simulación de flujo de peatones con amplias funciones como simulación en entornos 3D y, como parte de Vision Traffic Software Suite de alto rendimiento, se puede integrar fácilmente en otras aplicaciones de la familia de software (PTV GROUP, n.d., 2015, pp. 814–830). Ver la figura 16.

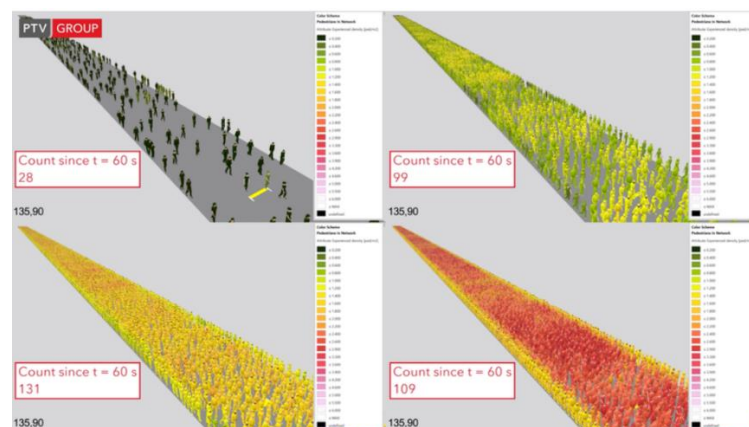


Figura 16. Simulación flujo de peatones. Tomado de: *Was ist Personenstromsimulation?* Por PTV GROUP, s.f.

2.11.3 Modelo de fuerza social: la base de PTV VISWALK

La gente todavía camina con más frecuencia. A diferencia del tráfico motorizado, el comportamiento de los peatones no está estrictamente regulado. Los peatones se detienen, cambian de dirección o giran arbitrariamente. Con PTV VISWALK, PTV ha desarrollado una solución que simula la psicología del comportamiento humano al caminar en un flujo de personas, independientemente de la ubicación y las circunstancias (PTV GROUP, n.d.).

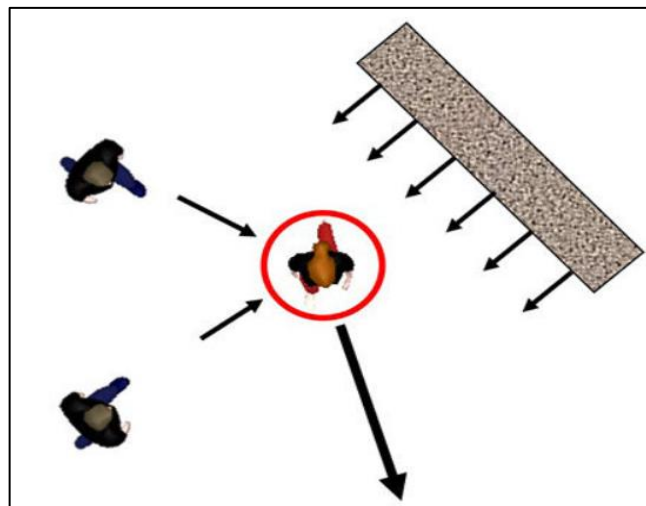


Figura 17. Modelo de Fuerza Social. Tomado de: *Was ist Personenstromsimulation?* Por PTV GROUP, s.f.

2.12 Marco conceptual

2.12.1 Composición del tránsito

Se refiere a las diferentes clases de vehículos que forman parte del tránsito. Es una cantidad relativa. Puede ser identificado como la diversidad de vehículos que se presentan en circulación. Cuando se diseña una carretera, las diferentes dimensiones y pesos de los automotores se toma en consideración por sus particularidades de

maniobra de los automotores en dependencia de sus propiedades (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 37).

2.12.2 Contabilización manual

La contabilización de la cantidad de automotores que se registra en una sección de la vía en estudio puede realizarse con uno o más medidores. Permite clasificar los distintos tipos de vehículo y movimientos. Es un método útil en periodos de tiempo pequeños (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 81).

2.12.3 Contabilización automática

La contabilización automática es más eficiente para tomar datos en periodos de tiempo más largos y se realiza mediante instrumentos que marcan por los pulsos generados al paso de vehículos. Ahora, como el proceso es automático el tiempo de duración varía por los objetivos que se haya planteado. Si se necesita recolectar grandes bases de datos se recurre a instalaciones permanentes (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 82).

2.12.4 Intercambiador de tráfico

Es un segmento de la vía que tiene estructura ubicadas a diferente nivel, que se caracterizan por tener ramales de interconexión, que logra el ingreso de otros vehículos desde distintos puntos, en vías secundarias. Su objetivo es evitar los conflictos (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 159).

2.12.5 La topografía

La topografía la representación de la vía considerado un factor principal en el estudio del flujo vial. Porque de la localización física de la vía dependen otros factores como

pendiente, visibilidad, sus secciones transversales, su señalización, etc. (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 49).

2.12.6 Paso a desnivel

Es un término muy distinto a intercambiador y se aplica cuando hay varias vías a diferente nivel, pero no hay incorporación de vía secundarias al flujo (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 160).

2.12.7 Proyecto Vial

Es una inversión sobre la red vial para mejorar la red vial o carretera en sus características físicas o movilidad operacional en el sitio de estudio (Chasiluisa, 2015).

2.12.8 Tráfico promedio diario anual

Por sus siglas TPDA, se denomina así promedio de los flujos vehiculares diarios que se han medido a un año completo. Lo recomendable es medir de forma automática y continua en cada sección parte del estudio (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 83).

2.12.9 Tránsito

Cuantificación y caracterización del uso de la vía. Este indica el propósito de la vía y como afectarán las características. Estable las demandas presentes o que se necesitarán para garantizar el nivel de servicio (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 161).

2.12.10 Tránsito atraído

El volumen de autos que comienzan a usar la vía, porque les atrae los beneficios que aportan a la movilidad. Por lo general, se evidencia luego de terminarse una carretera o mejorarla (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 53).

2.12.11 Tránsito normal

Cuando se habilita una carretera se denomina tránsito normal al volumen de autos que transitan por ella (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 53).

2.12.12 Vehículo de diseño

Vehículo de diseño es vehículo cuyas características como las dimensiones, peso, y su operación. Las características de los vehículos permiten controlar el diseño al tipo designado. Debe cumplir con un diseño geométrico cumpliendo con el radio mínimo de giro superior los vehículos de su clase (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 37).

2.12.13 Muestra

De acuerdo con (Ruíz Morillas, 2020) “cuando la población es muy grande, la muestra es un subconjunto de cada elemento de la población”. Una muestra, en el contexto de la investigación científica y las estadísticas, es un subconjunto representativo de una población.

2.12.14 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra es un término de investigación utilizado para definir el número de individuos incluidos en un estudio de investigación para representar una población. Con el tamaño de la muestra representativo se puede decir que el estudio estadístico es más fiable. En el caso de los proyectos viales, el tráfico promedio diario anual puede obtenerse como un muestra (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 89).

3 CAPITULO III: ANÁLISIS DE TRÁFICO

3.1 Análisis del flujo vehicular

Al analizar el volumen vehicular, velocidad, capacidad, sabiendo que son los parámetros más significativos del flujo vehicular permiten establecer el comportamiento del tráfico en un sistema vial. Estos parámetros ayudan a evaluar el sistema operativo de la vía además de permitir visualizar posibles problemas de congestión vehicular que pudieran presentarse.

Si se realiza un análisis de los problemas existentes en el cruce entre la Av. Mariscal Sucre y la Av. San Francisco de Rumihurco ubicada en la coordenadas -0.105429; -78.497637. Es necesario considerar un estudio del flujo vehicular de una manera puntual en dicha intersección.

En el cruce sobre la Av. Mariscal Sucre y Av. San Francisco de Rumihurco se observa que existe mayor flujo vehicular en la Av. Mariscal Sucre en el sentido norte- sur y sur-norte. Mientras se observó que el cruce de la Av. San Francisco de Rumihurco produce conflictos de tráfico debido a los accesos para incorporarse a la Av. Mariscal Sucre. En este lugar existen giros a la izquierda, giros en U, giros a la derecha, paradas de buses y cruces peatonales. Como se observa en la figura 18 en vista aérea del cruce entre las dos avenidas.



Figura 18. Vista aérea en tres dimensiones del área de estudio ubicada al norte de la ciudad de Quito. Tomado de Google Earth, 2021

Con el objetivo de examinar el flujo vehicular es necesario realizar un aforo vehicular. Primero se debe conocer todos los movimientos que pueden realizar los vehículos en la intersección a estudiar mostrada en la figura 19. Cada una de las opciones de movimientos vehiculares se indican en las figuras 20-23 y tablas 3-6 a continuación.

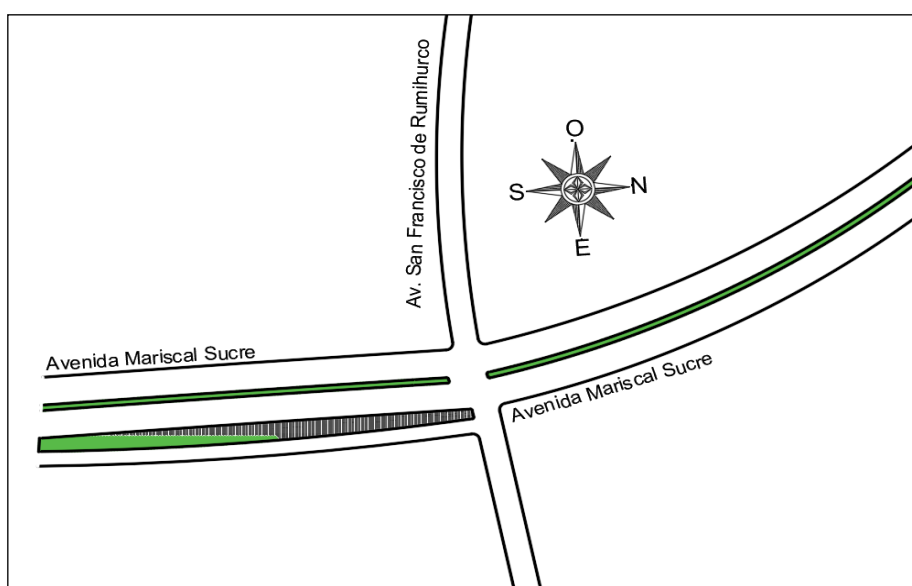


Figura 19. Intersección entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

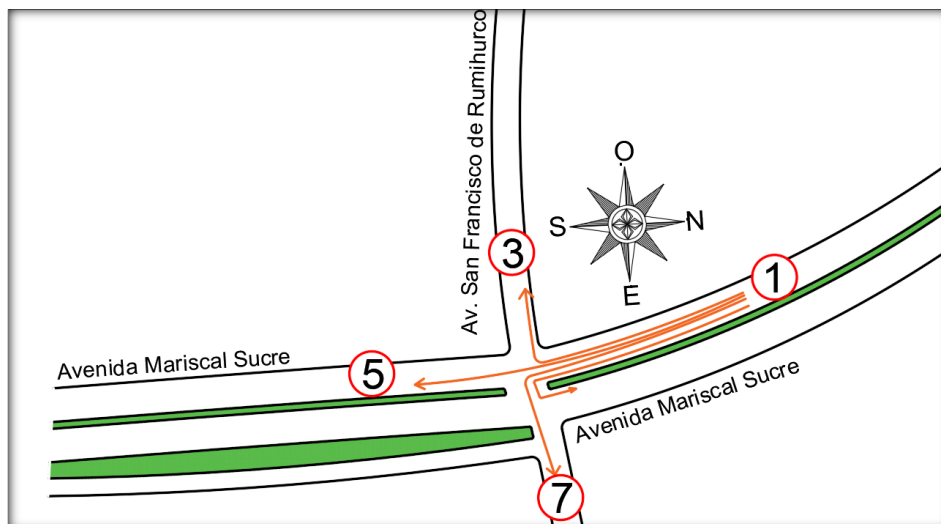


Figura 20. Movimiento vehicular en la Av. Mariscal Sucre. Sentido Norte – Sur. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 3. Movimiento vehicular en la Av. Mariscal Sucre. Sentido Norte – Sur

MOVIMIENTO	CODIGO
Norte – Sur	1-5
Norte - Oeste	1-3
Norte - Este	1-7
Norte – Norte (Giro en “U”)	1-1

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

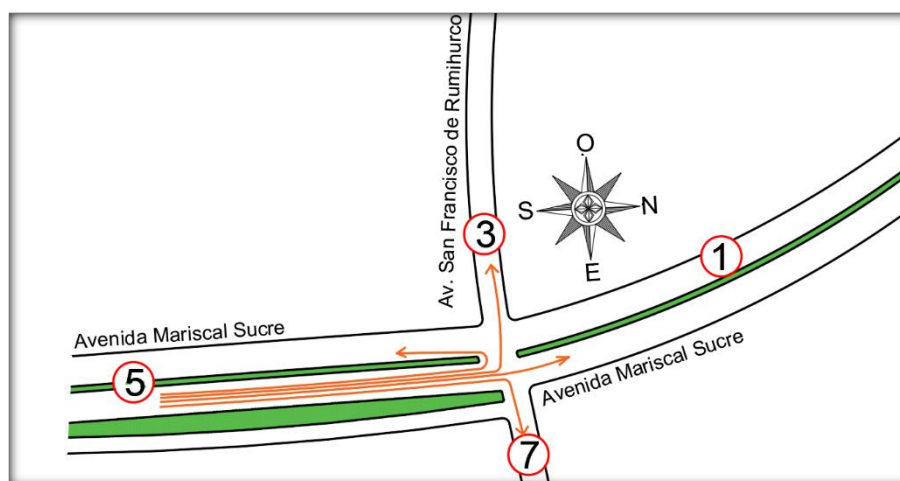


Figura 21. Movimiento vehicular en la Av. Mariscal Sucre. Sentido Sur – Norte. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 4. *Movimiento vehicular en la Av. Mariscal Sucre. Sentido Sur – Norte*

MOVIMIENTO	CODIGO
Sur – Norte	5-1
Sur – Oeste	5-3
Sur – Este	5-7
Sur – Sur (Giro en “U”)	5-5

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

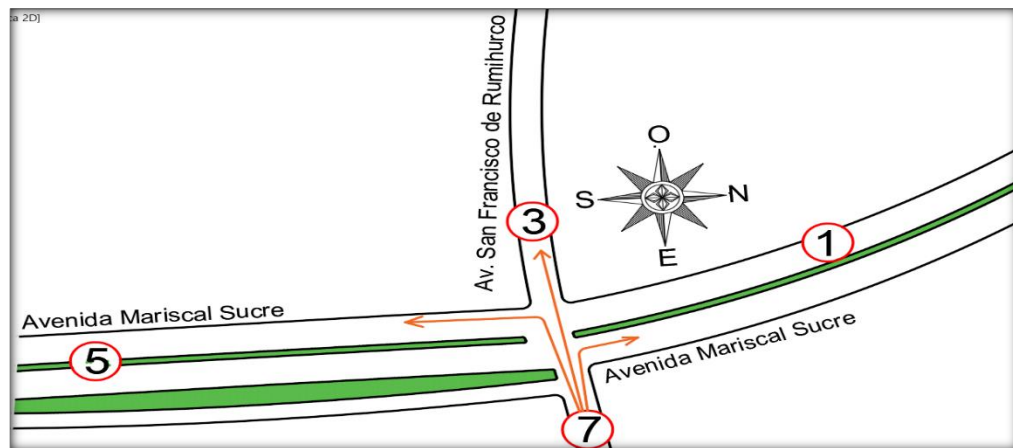


Figura 22. *Movimiento vehicular en la Av. San Francisco de Rumihurco. Sentido Este – Oeste.*
Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 5. *Movimiento vehicular en la Av. San Francisco de Rumihurco. Sentido Este – Oeste*

MOVIMIENTO	CODIGO
Este - Oeste	7-3
Este - Sur	7-5
Este - Norte	7-1

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel



Figura 23. Movimiento vehicular en la Av. San Francisco de Rumihurco. Sentido Oeste – Este.

Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 6. Movimiento vehicular en la Av. San Francisco de Rumihurco. Sentido Oeste – Este

MOVIMIENTO	CODIGO
Oeste - Este	3-7
Oeste - Sur	3-5
Oeste - Norte	3-1

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

En conjunto, en la intersección entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco es posible realizar 14 movimientos vehiculares conformados por giros en U e incorporaciones en las avenidas mencionadas y descritas en las figuras anteriores.

3.1.1 Volumen vehicular

Mediante conteos manuales se realizó un aforo vehicular con lo que se pudo obtener información a detalle de la clasificación vehicular, volumen de tráfico y los diferentes movimientos direccionales en la intersección de estudio.

La caracterización de vehículos permite realizar una clasificación por la categoría de vehículos y una subclasificación de este si se toma en cuenta el tipo de vehículo.

En la avenida Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco la categoría de vehículos predominante son los vehículos livianos. La caracterización permite direccionar y fijar

las condiciones geométricas de la vía. En la tabla 7 se indica la categorización de vehículos tipo registrados en el conteo en las avenidas de estudio.

Tabla 7. Tabla que muestra la clasificación de vehículos contabilizados en el proyecto

CATEGORIA DE VEHICULOS	TIPO DE VEHICULOS	GRÁFICO REFERENCIAL	DESCRIPCIÓN
MOTOCICLETA	Motocicleta		Vehículo impulsado a través de un motor, posee 2 ruedas.
LIVIANOS	Automóvil		Un automóvil posee un techo fijo hasta el parabrisas trasero. Tiene 4 puertas y su capacidad es de hasta 5 pasajeros.
	Camioneta		Una camioneta es un vehículo principalmente diseñado para carga, con un peso bruto vehicular de hasta 3.5 Ton. El habitáculo de pasajeros puede ser cabina simple, doble cabina o cabina y media.
	Utilitario		Vehículo comúnmente usado para el transporte de pasajeros dentro y fuera de carretera. Su capacidad máxima puede ser de 8 pasajeros y su tracción puede ser 4x2 o 4x4.
	Furgoneta		Vehículo cerrado diseñado para el transporte de pasajeros. El número de plazas puede ser hasta 18.

BUSES	2 Ejes		Vehículo usado para el transporte de pasajeros, posee un corredor central para la circulación o uso de los pasajeros (bus urbano). El número de plazas puede ser de hasta 90. Consta de 2 ejes de ruedas.
	3 Ejes		Vehículo usado para el transporte de pasajeros, posee un corredor central para la circulación de los pasajeros. El número de plazas puede ser de hasta 90. Consta de 3 ejes de ruedas
CAMIONES	Ligero		Vehículo diseñado para el transporte de carga que posee un chasis cabinado en el cual se puede montar una estructura para transportar carga, tiene 2 ejes de ruedas y su capacidad es de hasta 1750 [Kg].
	Mediano		Vehículo diseñado para el transporte de carga que posee un chasis cabinado en el cual se puede montar una estructura para transportar carga, tiene 2 ejes de ruedas y su capacidad es de hasta 3500 [kg].
	Pesado		Vehículo diseñado para el transporte de carga que posee un chasis cabinado en el cual se puede montar una estructura para transportar carga, tiene 2 o más ejes de ruedas y su capacidad es superior a los 3500 [kg].

Nota: Fuente: *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2656:2012* (pp.6-15), por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012, INEN.

3.1.2 Conteo vehicular semanal Avenida Mariscal Sucre

Los cuadros de datos, tabla 8 y tabla 9, que se presentan a continuación son producto del conteo vehicular horario semanal, realizados por la EMMOP en la avenida Mariscal Sucre corresponden a la semana del 7 al 13 de septiembre de 2020, muestran información en días típicos donde se mantuvo una tendencia del volumen vehicular esto en los lunes, martes, miércoles y jueves, también en días atípicos donde varía el volumen de tráfico siendo estos los viernes sábados y domingos. Los datos se presentan en conteo para los dos sentidos de circulación y en las figuras 24 y 25 se representan los datos en gráficos de barras que permite visualizar los datos de forma más dinámica.

Tabla 8. Conteo vehicular semanal en la Avenida Mariscal Sucre sentido Sur-Norte

Avenida Mariscal Sucre Sur-Norte							
Hora	Día						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
0:00-1:00	112	192	160	203	248	557	474
1:00-2:00	65	101	85	124	153	369	352
2:00-3:00	34	88	60	91	135	341	351
3:00-4:00	64	90	85	107	137	304	265
4:00-5:00	139	183	154	166	225	282	194
5:00-6:00	496	510	507	511	535	460	243
6:00-7:00	1958	1928	1884	1979	1947	902	353
7:00-8:00	2204	2190	2095	2221	2202	1673	1193
8:00-9:00	1999	2098	1966	2055	2137	2080	1866
9:00-10:00	1963	1965	1892	2003	1976	2022	1398
10:00-11:00	2099	1971	2004	1814	2041	2051	1417
11:00-12:00	1983	1966	1958	1979	2079	1916	1962
12:00-13:00	2110	2182	2120	2235	2193	2075	1652
13:00-14:00	2222	2201	2158	2206	2308	2121	1731
14:00-15:00	2161	2195	2123	2132	2237	1915	1545
15:00-16:00	2121	2073	2158	2085	2258	1833	1548
16:00-17:00	1965	1911	1890	1964	1947	1994	1419
17:00-18:00	1917	1944	1910	2016	1923	1725	1255
18:00-19:00	2065	2080	2039	2055	2070	1874	1296
19:00-20:00	2078	1905	1986	2047	2158	1967	1838
20:00-21:00	1795	1836	1815	2012	2025	1611	1436
21:00-22:00	1244	1405	1461	1473	1685	1300	958
22:00-23:00	726	786	1093	877	1164	947	505
23:00-24:00	359	374	750	423	767	651	442
Total	33879	34174	34353	34778	36550	32970	25693

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

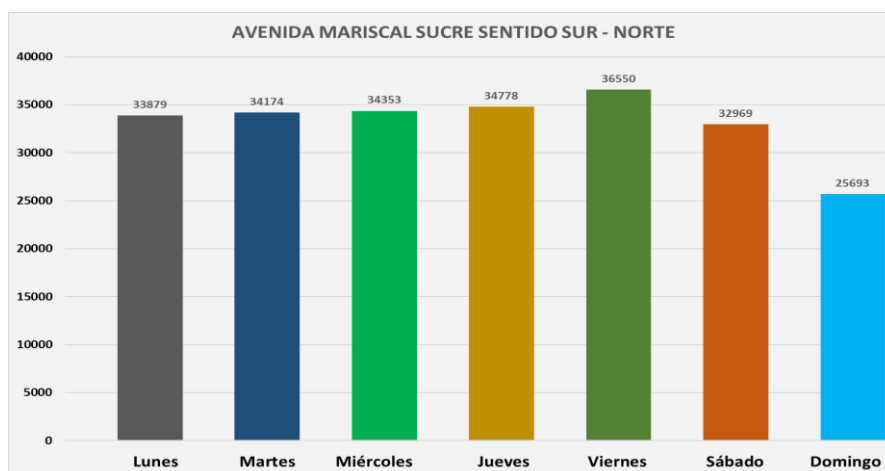


Figura 24. Gráfica de barras del conteo vehicular semanal en la Avenida Mariscal Sucre sentido Sur-Norte. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 9. *Conteo vehicular semanal en la Avenida Mariscal Sucre sentido Norte-Sur*

Hora	Avenida Mariscal Sucre Norte-Sur						
	Día						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
0:00-1:00	85	145	121	153	188	421	358
1:00-2:00	50	76	64	94	115	279	266
2:00-3:00	26	67	45	69	102	258	265
3:00-4:00	48	68	64	81	104	230	200
4:00-5:00	105	138	117	126	170	213	147
5:00-6:00	375	386	383	386	404	347	184
6:00-7:00	1480	1457	1424	1497	1472	682	267
7:00-8:00	1666	1656	1584	1679	1665	1265	902
8:00-9:00	1511	1586	1487	1553	1616	1448	1071
9:00-10:00	1484	1486	1430	1514	1494	1529	1057
10:00-11:00	1587	1490	1515	1372	1543	1551	1411
11:00-12:00	1499	1487	1480	1496	1572	1572	1481
12:00-13:00	1595	1650	1603	1689	1658	1569	1249
13:00-14:00	1680	1664	1632	1668	1707	1603	1308
14:00-15:00	1634	1660	1605	1612	1691	1448	1168
15:00-16:00	1604	1567	1632	1577	1745	1386	1170
16:00-17:00	1485	1445	1429	1485	1472	1508	1073
17:00-18:00	1450	1470	1444	1524	1454	1304	949
18:00-19:00	1562	1573	1541	1553	1565	1417	980
19:00-20:00	1571	1440	1502	1547	1632	1487	1389
20:00-21:00	1357	1388	1372	1521	1531	1218	1086
21:00-22:00	941	1062	1104	1113	1274	983	724
22:00-23:00	549	595	827	663	880	716	382
23:00-24:00	271	282	567	320	580	492	335
Total	25615	25838	25972	26292	27634	24926	19422

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

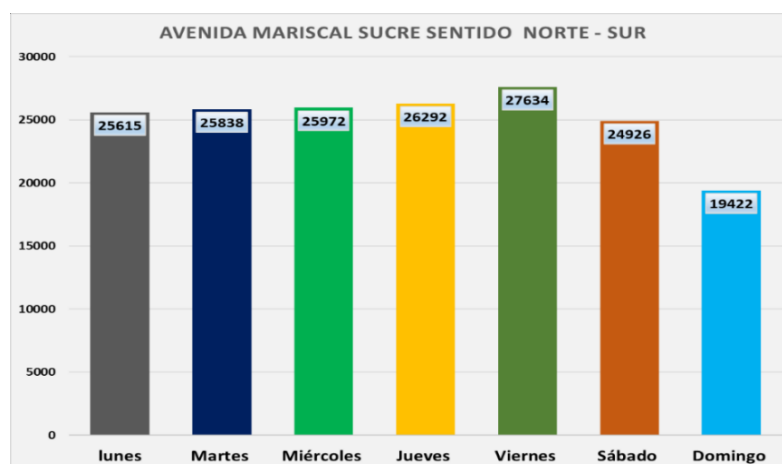


Figura 25. *Gráfica de barras del conteo vehicular semanal en la Avenida Mariscal Sucre sentido Norte-Sur. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel*

3.1.3 Conteo vehicular semanal Avenida San Francisco de Rumihurco

El resultado del conteo vehicular horario semanal en la avenida San Francisco de Rumihurco se indican por un periodo de 24 horas en la tabla 10 y tabla 11. El conteo se realizó en la semana del 7 al 13 de septiembre de 2020 e indica información en días típicos donde se mantuvo una tendencia del volumen vehicular esto en los lunes, martes, miércoles y jueves, y días atípicos donde varía el volumen de tráfico (viernes sábados y domingos). Los datos se presentan en conteo para los dos sentidos de circulación y en las figuras 25 y 26 se representan los datos en gráficos de barras que permite visualizar los datos de forma más dinámica.

Tabla 10. *Conteo vehicular semana en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Sur-Norte*

Hora	Avenida San Francisco de Rumihurco Sur-Norte						
	Día						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
0:00-1:00	11	18	15	20	24	54	46
1:00-2:00	6	10	8	12	15	36	34
2:00-3:00	3	8	6	9	13	33	34
3:00-4:00	6	9	8	10	13	29	26
4:00-5:00	13	18	15	16	22	27	19
5:00-6:00	48	49	49	49	52	44	23
6:00-7:00	189	186	182	191	188	87	34
7:00-8:00	212	211	202	198	212	185	55
8:00-9:00	193	202	190	214	206	200	180
9:00-10:00	189	189	182	193	191	161	160
10:00-11:00	202	190	193	175	197	198	176
11:00-12:00	191	190	189	191	200	195	159
12:00-13:00	203	210	204	215	211	200	189
13:00-14:00	214	212	208	213	218	204	167
14:00-15:00	208	212	205	205	216	185	149
15:00-16:00	205	200	208	201	22	177	149
16:00-17:00	189	184	182	189	188	192	137
17:00-18:00	185	187	184	194	185	166	121
18:00-19:00	199	200	196	198	200	181	125
19:00-20:00	200	184	191	197	208	190	177
20:00-21:00	173	177	175	194	195	155	138
21:00-22:00	120	135	141	142	162	125	92
22:00-23:00	70	76	105	85	112	91	49
23:00-24:00	35	36	72	41	74	63	43
Total	3264	3293	3310	3352	3324	3178	2482

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

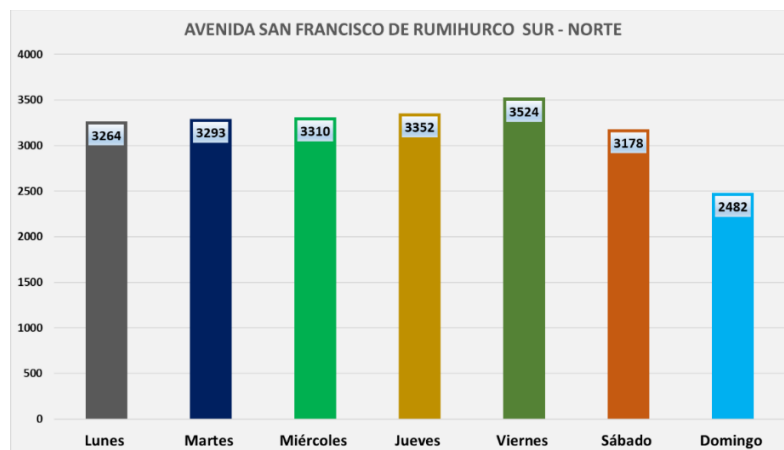


Figura 26. Gráfica de barras del conteo vehicular semanal en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Sur-Norte. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 11. Conteo vehicular semana en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Norte-Sur

Avenida San Francisco de Rumihurco Norte-Sur							
Hora	Día						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
0:00-1:00	47	80	66	84	103	231	197
1:00-2:00	27	42	35	52	63	154	146
2:00-3:00	14	37	25	38	56	142	146
3:00-4:00	27	37	35	45	57	126	110
4:00-5:00	58	76	64	69	94	117	81
5:00-6:00	206	212	211	212	222	191	101
6:00-7:00	814	801	783	823	809	375	147
7:00-8:00	916	910	871	854	915	696	496
8:00-9:00	831	872	817	854	888	796	589
9:00-10:00	816	817	786	833	822	841	581
10:00-11:00	873	819	833	754	848	853	776
11:00-12:00	824	817	814	823	864	864	815
12:00-13:00	877	907	881	929	912	862	687
13:00-14:00	923	915	897	917	939	881	719
14:00-15:00	898	912	882	886	930	796	642
15:00-16:00	882	862	897	867	959	762	643
16:00-17:00	817	794	786	816	810	829	590
17:00-18:00	797	808	794	838	799	717	522
18:00-19:00	859	865	847	854	861	779	539
19:00-20:00	864	792	826	851	897	817	764
20:00-21:00	746	763	754	836	842	669	597
21:00-22:00	517	584	607	612	700	540	398
22:00-23:00	302	327	455	365	484	394	210
23:00-24:00	149	155	312	176	319	271	184
Total	14084	14204	14278	14388	15193	13703	10680

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

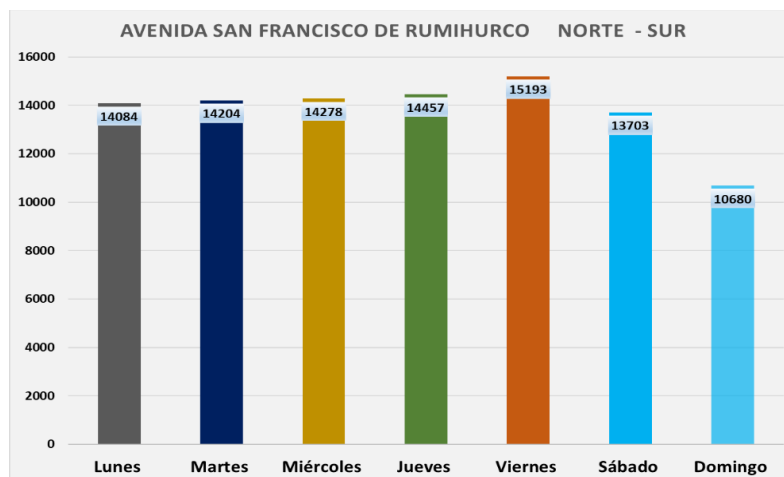


Figura 27. Gráfico de barras del conteo vehicular en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Norte-Sur. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

En el conteo vehicular semanal tanto para la avenida Mariscal Sucre como para la avenida San Francisco de Rumihurco se aprecia que el periodo de mayor demanda recae entre las 07:00 y las 20:00 horas, con una distribución presentada en la tabla 12.

Tabla 12. Periodo de hora máxima de demanda en la Avenida Mariscal Sucre

Mañana	7:00 – 09:00
Tarde	12:00 – 14:00
Noche	18:00 – 20:00

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

El conteo manual es irremplazable pues suministra datos acerca de la constitución del tráfico y los giros permitidos en todos los cruces. Adicionalmente, para un estudio definitivo es necesario implementar el conteo manual a siete días consecutivos en una semana. Se debe asegurar que el conteo no se interrumpa o sea afectado por eventualidades, situaciones o eventos especiales.

Para facilitar el conteo vehicular se utilizó la aplicación “COUNTER” de uso libre en la plataforma Google Play.

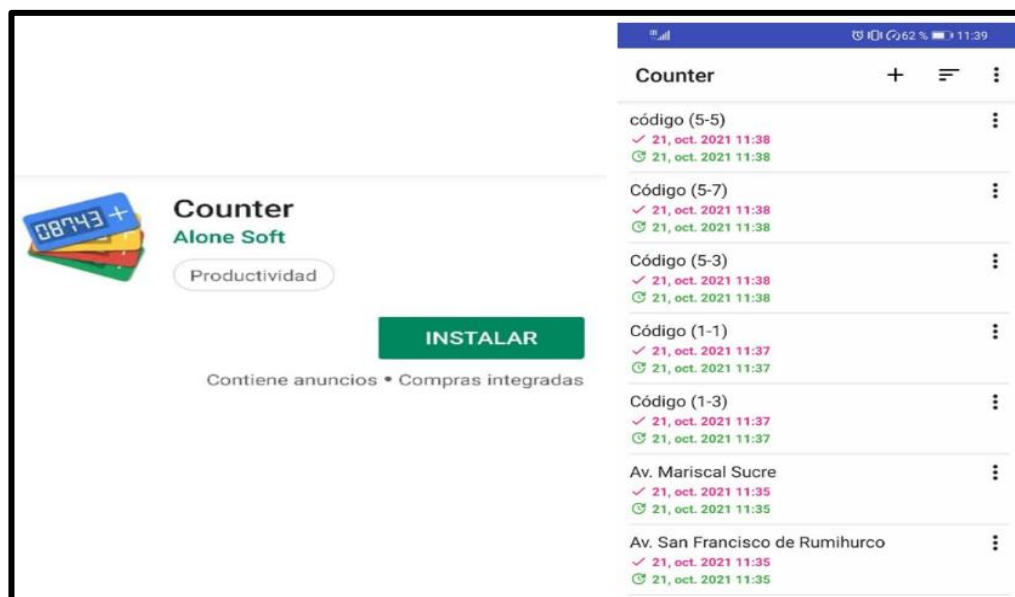


Figura 28. Aplicación Counter. Fuente: Google play, 2022

En las tablas 13 y 14 se registran los resultados del conteo vehicular realizado en las horas pico en la semana del 6 al 12 de septiembre de 2021, en las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco.

Tabla 13. Resultados del conteo vehicular en la semana del 6 al 12 de septiembre de 2021 en la Avenida Mariscal Sucre sentido Sur-Norte

Avenida Mariscal Sucre sentido Sur – Norte							
HORA	DÍA						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
7:00 – 09:00	4610	4550	4516	4536	4874	4006	2836
12:00 – 14:00	4406	4276	4396	4418	4716	3978	3356
18:00 - 20:00	4346	4414	4272	4394	4628	3950	3672

Avenida Mariscal Sucre sentido Norte – Sur							
HORA	DÍA						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
7:00 – 09:00	3332	3312	3168	3358	3586	3126	2196
12:00 – 14:00	3414	3382	3318	3390	3544	3260	2670
18:00 - 20:00	3172	3180	3152	3130	3252	2850	1996

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 14. Resultados del conteo vehicular en la semana del 6 al 12 de septiembre de 2021 en la Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Sur-Norte

Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Sur - Norte							
HORA	DÍA						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
7:00 – 09:00	494	516	434	476	562	406	144
12:00 – 14:00	498	518	446	506	550	438	368
18:00 - 20:00	470	462	412	474	659	410	388

Avenida San Francisco de Rumihurco sentido Norte - Sur							
HORA	DÍA						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
7:00 – 09:00	1902	1914	1772	1926	2004	406	1570
12:00 – 14:00	1916	1924	1824	1914	1956	1792	1472
18:00 - 20:00	1798	1824	1682	1782	1820	1664	1562

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Al analizar los datos obtenidos se puede observar que en la semana en la cual se realizó el conteo, el día de mayor circulación vehicular es el viernes en el horario de 07:00 a 09:00. Sin embargo, en el horario de 18:00 - 20:00 se presenta una mayor densidad de tráfico en la avenida San Francisco de Rumihurco sentido Este-Oeste referenciado con el código de movimiento 7-3.

En las siguientes tablas 15 y 16 se muestra el conteo vehicular en detalle, es decir separado por tipo de movimiento (giro en U, Norte-Sur, Sur-Norte) y el tipo de vehículo correspondiente al viernes 10 de septiembre de 2021.

Tabla 15. Conteo vehicular de los diferentes movimientos permitidos en la intersección, primer horario

Conteo vehicular viernes 07:00 - 09:00							
Vía Principal	Sentido	Código del Movimiento	Total	Livianos	Buses	Camiones	Motos
Av. Mariscal Sucre	Norte – Sur	1-5	3484	2909	167	129	279
Av. Mariscal Sucre	Norte - Oeste	1-3	36	30	2	1	3
Av. Mariscal Sucre	Norte - Este	1-7	54	45	3	2	4
Av. Mariscal Sucre	Norte – Norte (Giro en “U”)	1-1	13	10	1	0	1
Av. Mariscal Sucre	Sur – Norte	5-1	4691	4124	113	84	371
Av. Mariscal Sucre	Sur – Oeste	5-3	73	64	2	1	6
Av. Mariscal Sucre	Sur – Este	5-7	97	86	2	1	8
Av. Mariscal Sucre	Sur – Sur (Giro en “U”)	5-5	12	11	0	0	1
Av. Rumihurco	Este - Oeste	7-3	337	288	3	9	38
Av. Rumihurco	Este - Sur	7-5	96	82	1	2	11
Av. Rumihurco	Este - Norte	7-1	129	110	1	3	14
Av. Rumihurco	Oeste - Este	3-7	862	736	7	22	97
Av. Rumihurco	Oeste - Sur	3-5	581	496	5	15	65
Av. Rumihurco	Oeste - Norte	3-1	561	479	4	15	63

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 16. Conteo vehicular de los diferentes movimientos permitidos en la intersección, segundo horario

Conteo vehicular viernes 18:00 - 20:00							
Vía Principal	Sentido	Código del Movimiento	Total	Livianos	Bus	Camiones	Motos
Av. Mariscal Sucre	Norte – Sur	1-5	4496	3754	216	166	360
Av. Mariscal Sucre	Norte - Oeste	1-3	46	39	2	2	4
Av. Mariscal Sucre	Norte - Este	1-7	69	58	3	3	6
Av. Mariscal Sucre	Norte – Norte (Giro en “U”)	1-1	16	14	1	1	1
Av. Mariscal Sucre	Sur – Norte	5-1	3130	2751	75	56	247
Av. Mariscal Sucre	Sur – Oeste	5-3	49	43	1	1	4
Av. Mariscal Sucre	Sur – Este	5-7	65	57	2	1	5
Av. Mariscal Sucre	Sur – Sur (Giro en “U”)	5-5	8	7	0	0	1
Av. Rumihurco	Este - Oeste	7-3	442	378	4	11	50
Av. Rumihurco	Este - Sur	7-5	92	79	1	2	10
Av. Rumihurco	Este - Norte	7-1	125	106	2	3	14
Av. Rumihurco	Oeste - Este	3-7	725	605	20	19	81
Av. Rumihurco	Oeste - Sur	3-5	557	476	4	14	62
Av. Rumihurco	Oeste - Norte	3-1	538	459	4	14	60

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

3.1.4 Volumen horario de máxima demanda

El volumen horario de máxima demanda por sus siglas VHMD, para los automotores que circulan por la intersección en estudio se lo determina de la siguiente manera:

Avenida Mariscal Sucre ida y vuelta:

$$VHMD = 1742 + 18 + 27 + 6 + 2346 + 37 + 49 + 6 = \mathbf{4230 \text{ vehículos}}$$

mixtos/h

Avenida San Francisco de Rumihurco:

$$VHMD = 169 + 48 + 65 + 431 + 291 + 281 = \mathbf{1283 \text{ vehículos mixtos / hora}}$$

3.1.5 Transito promedio diario anual

Al efectuar un estudio del volumen vehicular, el tráfico promedio diario anual es el parámetro de mayor importancia para el diseño y análisis vial. Para obtener el TPDA se usa la siguiente expresión:

$$T.P.D.A = T_0 * FH * FD * FS * FM$$

Expresión obtenida del Manual de diseño del MTOP (III-1)

Donde:

- **To** = tráfico observado.
- **FH** = Factor horario, permite hacer una transformación del volumen de tráfico horario promedio a volumen de tráfico diario promedio.
- **FD** = Factor diario, permite hacer una transformación del volumen de tráfico diario promedio a volumen de tráfico semanal promedio.
- **FS** = Factor semanal, permite hacer una transformación del volumen de tráfico semanal promedio a volumen de tráfico mensual promedio.
- **FM** = Factor mensual, permite hacer una transformación del volumen de tráfico mensual promedio a volumen de tráfico anual promedio. (T.P.D.A).

Producto del estudio de tráfico se presenta un cuadro resumen (Tabla 17) correspondiente al número de vehículos según su caracterización proporcionado por la EMMOP.

Tabla 17. *Producto del estudio de tráfico, cuadro resumen correspondiente al número de vehículos según su caracterización proporcionado.*

		Valores TPDA 2020				
Vía Principal	Sentido	Total	Livianos	Bus	Camiones	Motos
Av. Mariscal Sucre	Sur-Norte	33200	29182,8	796,8	597,6	2622,8
Av. Mariscal Sucre	Norte-Sur	25100	20958,5	1204,8	928,7	2008
Av. Rumihurco	Norte-Sur	13800	11785,2	110,4	358,8	1545,6
Av. Rumihurco	Sur-Norte	3200	2732,8	25,60	83,2	358,4
		Porcentajes				
Av. Mariscal Sucre	Sur-Norte	100%	88%	2%	2%	8%
Av. Mariscal Sucre	Norte-Sur	100%	84%	5%	4%	8%
Av. Rumihurco	Norte-Sur	100%	85%	1%	3%	11%
Av. Rumihurco	Sur-Norte	100%	85%	1%	3%	11%

Nota: Fuente: Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espine

3.1.6 Variación del volumen de tránsito

Los volúmenes de tránsito en las avenidas estudiadas se consideran dinámicos por que cambian a través del tiempo como se muestra en los aforos realizados. Los volúmenes calculados solo son exactos mientras la capacidad se mantiene, caso contrario tiende a haber variaciones. No obstante, debido las fluctuaciones se producen con más frecuencia rítmicas y repetitivas, y habiendo identificado sus características se programó los aforos vehiculares y peatonales.

3.1.7 Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda

La correspondencia existente entre el volumen por hora de máxima demanda (VHMD) y el volumen máximo (Q_{tmax}) se denomina factor de la hora de máxima demanda (FHMD) así:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{tmax})}$$

Donde:

N: corresponde a la cantidad de periodos en la hora de demanda máxima

t: se refiere a la duración de dicho periodo en minutos

Tabla 18. *Resultados del volumen vehicular por periodos de quince minutos para la Avenida Mariscal Sucre*

Avenida Mariscal Sucre, 2 sentidos	
Periodo (horas: minutos)	Volumen cada 15 min (Q₁₅) Vehículos mixtos
07:00-07:15	1068
07:15-07:30	1063
07:30-07:45	1054
07:45-08:00	1053
08:00-08:15	1061
08:15-08:30	1059
08:30-08:45	1053
08:45-09:00	1049

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

El horario de máxima demanda es de 07:00 a 08:00 en el cual hay un volumen de máxima demanda (VHMD) de 4230 Veh/h calculado anteriormente.

3.1.8 Tasa de flujo máxima dentro de la hora de máxima demanda en la Avenida Mariscal Sucre

Para la tasa de flujo máximo se puede observar que en el horario de 07:00 a 07:15 se tiene el mayor volumen respectivo a la hora de máxima demanda con un total de 1068 vehículos por lo tanto y de acuerdo con la ecuación del libro “*Ingeniería de Tránsito. Rafael Cal y Mayor- James Cárdenas, 2018*”.

$$qt_{max} = N(Qt_{max})$$

$$q_{15 max} = 4(Q_{15 max})$$

$$q_{15 \max} = 4(1068)$$

$$q_{15 \max} = 4272 \text{ veh/h}$$

Cálculo del factor de la hora de máxima demanda

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{t \max})}$$

$$FHMD = \frac{4230}{4(1068)}$$

$$FHMD = 0.990$$

Para la avenida San Francisco de Rumihurco se aplica las mismas ecuaciones propuestas por el libro “*Ingeniería de Tránsito. Rafael Cal y Mayor- James Cárdenas, 2018*”:

Tabla 19. *Resultados del volumen vehicular por periodos de quince minutos para la Avenida San Francisco de Rumihurco*

Avenida San Francisco de Rumihurco	
Periodo (horas: minutos)	Volumen cada 15 min (Q₁₅) Vehículos mixtos
07:00-07:15	338
07:15-07:30	320
07:30-07:45	318
07:45-08:00	315
08:00-08:15	322
08:15-08:30	316
08:30-08:45	325
08:45-09:00	312

Nota: Fuente Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

La hora de demanda máxima es desde las 07:00 a las 08:00 en el cual hay un volumen de máxima demanda (VHMD) de 1283 Veh/h calculado anteriormente.

3.1.9 Tasa de flujo máxima dentro de la hora de máxima demanda en la Avenida San Francisco de Rumihurco

Para la tasa de flujo máximo se puede observar que en el horario de 07:00 a 07:15 se tiene el mayor volumen respectivo a la hora de máxima demanda con un total de 338 vehículos por lo tanto y de acuerdo con la ecuación del libro “*Ingeniería de Tránsito*” escrito por *Rafael Cal y Mayor- James Cárdenas, 2018*”.

$$qt_{max} = N(Qt_{max})$$

$$q_{15\ max} = 4(Q_{15\ max})$$

$$q_{15\ max} = 4(338)$$

$$q_{15\ max} = \mathbf{1352\ veh/h}$$

Cálculo del factor de la hora de máxima demanda

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{t\ max})}$$

$$FHMD = \frac{1283}{4(338)}$$

$$FHMD = \mathbf{0.949}$$

3.1.10 Volúmenes de tránsito futuros

Al no contar con información estadística en las avenidas de estudio, la norma propone la ecuación que se muestra a continuación:

$$Tf = Ta(1 + i)^n$$

Donde:

- T_f = Representa el tráfico futuro o proyectado.
- T_a = Equivale al tráfico actual.
- i = Corresponde a la tasa de crecimiento del tráfico (si no se cuenta con este dato se puede utilizar la tasa de crecimiento poblacional).
- n = Número de años proyectados.

Según el Instituto Nacional De Estadística y Censos las proyecciones de la cantidad de habitantes por años para Quito es la que se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Población para el cantón de Quito

Avenida Mariscal Sucre, 2 sentidos	
Periodo (horas: minutos)	Volumen cada 15 min (Q_{15}) Vehículos mixtos
07:00-07:15	1068
07:15-07:30	1063
07:30-07:45	1054
07:45-08:00	1053
08:00-08:15	1061
08:15-08:30	1059
08:30-08:45	1053
08:45-09:00	1049

Nota: Fuente: Instituto Nacional De Estadística y Censos: Cantón Quito. Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

Por lo que la tasa de crecimiento poblacional se encuentra en el 1.83%.

Tabla 21. *Resultados del tráfico futuro proyectado*

Vía Principal	Sentido	Código del Movimiento	Ta [Veh/h] 2021	i [%]	n [años]	Tf [Veh/h] 2021
Av. Mariscal Sucre	Norte – Sur	1-5	1742	1,83%	20	2504
Av. Mariscal Sucre	Norte - Oeste	1-3	18	1,83%	20	26
Av. Mariscal Sucre	Norte - Este	1-7	27	1,83%	20	39
Av. Mariscal Sucre	Norte – Norte (Giro en “U”)	1-1	6	1,83%	20	9
Av. Mariscal Sucre	Sur – Norte	5-1	2346	1,83%	20	3372
Av. Mariscal Sucre	Sur – Oeste	5-3	37	1,83%	20	53
Av. Mariscal Sucre	Sur – Este	5-7	49	1,83%	20	70
Av. Mariscal Sucre	Sur – Sur (Giro en “U”)	5-5	6	1,83%	20	9
Av. Rumihurco	Este - Oeste	7-3	169	1,83%	20	243
Av. Rumihurco	Este - Sur	7-5	48	1,83%	20	69
Av. Rumihurco	Este - Norte	7-1	65	1,83%	20	93
Av. Rumihurco	Oeste - Este	3-7	431	1,83%	20	619
Av. Rumihurco	Oeste - Sur	3-5	291	1,83%	20	418
Av. Rumihurco	Oeste - Norte	3-1	281	1,83%	20	404

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.2 Factores que generan congestión vehicular

El sistema de transporte de Quito en casi su totalidad depende de la infraestructura vial. Estas calles y avenidas generalmente operan superando su capacidad con el afán de cubrir el incremento en la demanda de las prestaciones de movilización ya sea para el tránsito de los diferentes tipos de vehículos ya caracterizados, originando los problemas de congestión vehicular.

En el año 2012 se terminó la ampliación a 4 carriles de la avenida San Francisco de Rumihurco solucionando de manera temporal el problema de congestión vehicular existente en dicha avenida.

Actualmente, se vuelven a presentar problemas de congestión vehicular que son generados por los siguientes factores:

3.2.1 Transportes

En horas de la mañana es posible verificar un gran volumen de movilizaciones realizadas desde las urbes periféricas de Quito hacia el centro y sur por diversas razones. Los principales motivos de los viajes son: porque en el sector centro se concentran la mayoría de las empresas y los empleados deben movilizarse a dichos lugares, por consiguiente, ahí también se congregan diversos servicios a donde los usuarios deben acercarse para realizar sus trámites, en horas de la tarde por el contrario se generan viajes por el retorno de estos.

3.2.2 Transporte Público

Del aforo vehicular realizado se pudo obtener una subclasificación correspondiente a buses de transporte urbano que circulan por la avenida Mariscal Sucre y su intersección con la avenida San Francisco de Rumihurco.

En la intersección de las avenidas circulan 5 cooperativas de buses de servicio público en 8 rutas distintas, a continuación, se exponen las rutas de cada una de las operadoras.

Tabla 22. *Rutas de cada cooperativa de transporte.*

OPERADORA	RUTA	FRECUENCIA (Bus/hora)
Cooperativa de Transporte Urbano en Buses Paquisha	Ofelia - Colinas Del Norte	10
	Ofelia - Roldós - Pisulí	10
	Ofelia - Planada	10
Compañía de Transporte Ejecutivo Rapitrans S. A	Planada - Marín	7
	Velasco - Ejido	9
Lujo Express Águila Dorada S. A	Roldós – Jardín	9
	Parque Curiquingue - Roldós - Dos Puentes - Magdalena	4
Compañía de Transporte Urbano "Trans San Carlos"		
Transhemisféricos Compañía de Transportes Hemisféricos S. A	Pululahua - Miraflores	3
	TOTAL	62

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.2.3 Transporte privado

La preferencia por el uso de vehículos particulares para el transporte se debe a varios factores, por ejemplo, las limitaciones en cuanto a la capacidad del transporte de usuarios, la falta de aseo en la unidades y mantenimiento de estas, sumado la conducción inapropiada irrespetando las paradas asignadas y la delincuencia, desembocan en un aumento del uso de vehículos privados para la movilización.

Las consecuencias del uso, en su mayoría, de transporte privado es la afectación de forma directa al problema de congestión vehicular.

El uso de vehículos particulares en términos de necesidad y confort es beneficioso para los usuarios en sus viajes, pero su contraparte, en términos de ocupación de espacios viales resulta una solución poco eficiente. Provoca congestión vehicular porque al comparar la capacidad de transporte de un bus urbano con un vehículo particular, en promedio los buses de transporte urbano tienen una capacidad de transporte de aproximadamente 90 pasajeros mientras que los vehículos particulares, en su mayoría camionetas y automóviles, tienen una capacidad de transporte de 5 pasajeros. Si se

realiza una relación por cada bus de transporte urbano se requiere 18 vehículos para transportar el mismo número de pasajeros si ambos circulan a su máxima capacidad.

Del aforo vehicular realizado también se logró observar el número de pasajeros que viajaban en los vehículos caracterizados como automóviles y camionetas, se pudo obtener la siguiente información presentada en las tablas 23 y 24, cuyos datos están tabulados en gráficas de pastel de las figuras 28 y 29.

Tabla 23. Número de pasajeros que viajan en cada vehículo en la Av. Mariscal Sucre

AVENIDA MARISCAL SUCRE		
Pasajero / Vehículo	Horario 07:00 - 09:00	Porcentaje %
1 pasajero / vehículo	4513	62%
2 pasajeros / vehículo	1456	20%
3 pasajeros / vehículo	728	10%
4 pasajeros / vehículo	509	7%
5 pasajeros / vehículo	73	1%
TOTAL	7279	100%

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

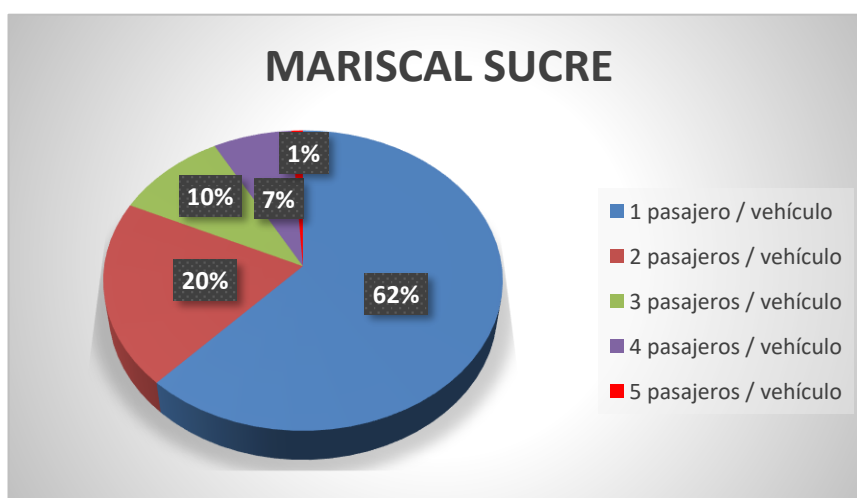


Figura 28. Gráfico de pastel para el número de pasajeros por vehículo en la Av. Mariscal Sucre. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 24. Número de pasajeros que viajan en cada vehículo en la Av. San Francisco de Rumihurco.

Avenida San Francisco de Rumihurco		
Pasajero / Vehículo	Horario 07:00 - 09:00	Porcentaje %
1 pasajero / vehículo	1271	58%
2 pasajeros / vehículo	504	23%
3 pasajeros / vehículo	241	11%
4 pasajeros / vehículo	153	7%
5 pasajeros / vehículo	22	1%
TOTAL	2191	100%

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

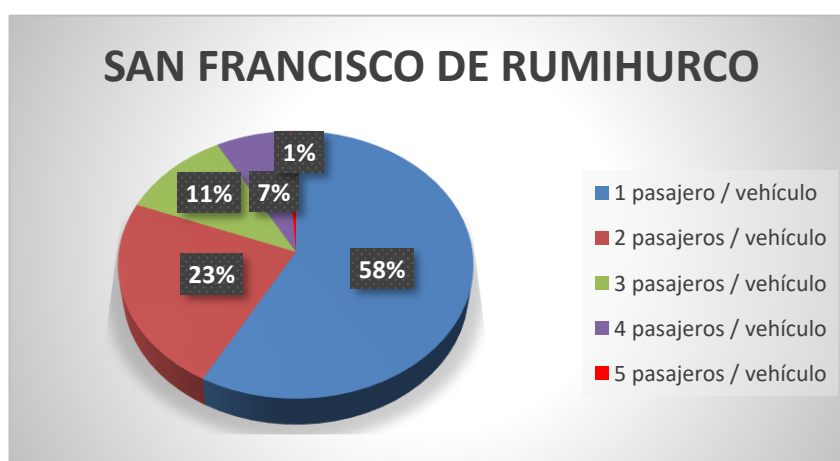


Figura 29. Gráfico de pastel para el número de pasajeros por vehículo en la Av. Francisco de Rumihurco. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

En las gráficas es más visible notar que un alto porcentaje de vehículos que transportan solamente un pasajero, por lo que el sistema de transporte particular se vuelve ineficiente en horas pico. Así mismo se puede observar que solamente el 1% de los vehículos particulares considerados en el aforo circulan a capacidad máxima.

El desequilibrio en cuanto a la eficiencia si se compara el transporte público con el privado es notable ya que los buses de transporte urbano circulaban con un aforo superior al 80% en horas pico.

3.2.4 Sistema vial

Uno de los capitales de mayor valor con los que goza el ilustre municipio de Quito es la red vial, es por eso que su dimensión y nivel de servicio figuran como señales del grado de desarrollo de este.

Haciendo un análisis del estado de la vía tomando en cuenta las condiciones físicas, mantenimientos realizados y señalización que puedan afectar a la óptima circulación de los diferentes usuarios viales y se obtuvo la información presentada en los siguientes apartados.

3.2.4.1 Estado de la vía

La estructura del pavimento en la red vial de las avenidas en estudio por la carga vehicular presenta algunos tipos de fallas en el pavimento. En la figura 30 se muestra el desperfecto en la vía a 200 metros desde la intersección con la Avenida Mariscal Sucre, se observa una falla del tipo piel de cocodrilo.



Figura 30. Imagen de las condiciones físicas del asfalto en la Avenida San Francisco de Rumihurco. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Otra falla del pavimento fue encontrada a 250 metros desde la intersección con la avenida Mariscal Sucre que inicialmente fue del tipo cocodrilo al desprenderse el pavimento por la fricción con los vehículos y la presencia de agua provocaron que se genere un bache que pone en peligro la circulación vehicular (figura 31).



Figura 31. Imagen Avenida San Francisco de Rumihurco. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

En la avenida Mariscal Sucre, en la sección desde el cruce de la calle Catón Cárdenas hasta la Avenida Mariscal Sucre se puede observar que la estructura del pavimento no presenta fisuras por lo que se encuentra en óptimas condiciones (figura 32).



Figura 32. Imagen del estado del pavimento en la avenida Mariscal Sucre. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.2.4.2 Mantenimiento en los sistemas de drenaje

Los sistemas de drenaje son una importante herramienta para mantener el estado de las vías en buenas condiciones. Sin embargo, en las Avenidas estudiadas se observa una decadencia en la eficiencia del drenaje producto de la falta de mantenimiento en las alcantarillas ya que algunas se encuentran tapadas lo que ocasiona un notable deterioro de la superficie de rodadura. La figura 33 muestra el desperfecto en la Av. San Francisco de Rumihurco.



Figura 33. Imagen del mal estado de las alcantarillas. A: Avenida San Francisco de Rumihurco. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Caso contrario, en la avenida Mariscal Sucre no se presenta problemas en el sistema de drenaje, las alcantarillas están destapadas y cumple su función de manera óptima, figura 34.



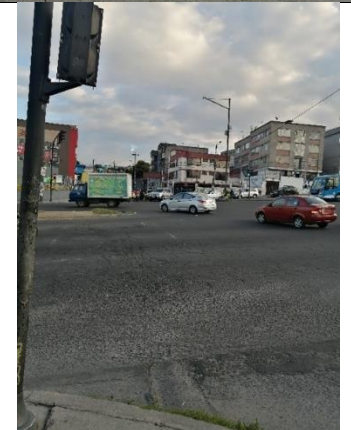
Figura 34. Alcantarilla en la Avenida Mariscal Sucre. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.2.4.3 Señalización vial

En el recorrido realizado en las avenidas Mariscal Sucre en el tramo desde la calle Catón Cárdenas hasta la avenida San Francisco de Rumihurco y por otra parte para la avenida Rumihurco desde la calle José Nogales hasta el redondel del ESMIL se pudo obtener la información de la tabla 25.



Tabla 25. Señalización horizontal en la AV. San Francisco de Rumihurco

NOMBRE	FOTOGRAFÍA	OBSERVACION
Líneas centrales		Las líneas centrales en la avenida San Francisco de Rumihurco se encuentran deterioradas y en ciertos tramos están completamente borradas.
Líneas de borde de pavimento		En la avenida Rumihurco no existe presencia de líneas de borde de pavimento
Líneas de carril		Debido al deplorable estado del pavimento en la avenida San Francisco de Rumihurco en la sección desde la calle José Nogales hasta Mariscal Sucre se puede evidenciar la inexistencia de las líneas de carril.
Demarcación de paraderos de buses		Se pudo observar que no existe la señalización horizontal de demarcación de paraderos de buses lo que ocasiona que los buses no ocupen adecuadamente el espacio correspondiente en la parada.

NOMBRE	FOTOGRAFÍA	OBSERVACION
<p>Flechas</p>		<p>Las flechas marcadas sobre la avenida Rumihurco están en buen estado, se las puede identificar con claridad por lo que cumplen su función.</p>
<p>Líneas de “pare”</p>		<p>En el cruce de las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco se puede encontrar un deterioro significativo de las líneas de pare, su visualización en las noches es nula</p>
<p>Demarcación de pasos peatonales</p>		<p>La señalización horizontal correspondiente a los pasos peatonales en la avenida Mariscal Sucre se encuentran muy deteriorados al nivel de estar borrados en su totalidad, lo que ocasiona que las personas tengan dificultad para cruzar la avenida con seguridad</p>



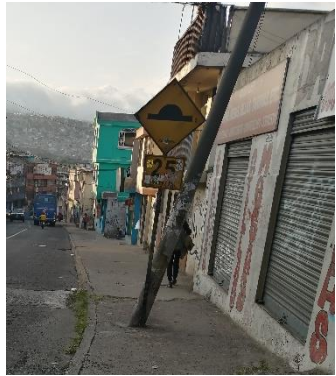
Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 26. *Señalización vertical*

TIPO	FOTOGRAFÍA	OBSERVACION
Señales Regulatorias		<p>En la avenida San Francisco de Rumihurco se encuentra señales verticales del tipo regulatorias, donde se puede evidenciar una falta de mantenimiento</p>
		<p>En esta señal regulatoria en la Avenida Rumihurco se puede observar que la señal se encuentra totalmente oculta cubierta de pintura producto de actos vandálicos</p>
		<p>Aquí se puede observar que la señal vertical fue desprendida de su anclaje producto de un accidente de tránsito y no fue remplazada</p>



Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 27. *Señales preventivas*

TIPO	FOTOGRAFÍA	OBSERVACION
Señales Preventivas		<p>Sobre la avenida Rumihurco se puede encontrar un puente vehicular de acceso al complejo deportivo “Quito tenis” donde se tiene una señal preventiva de altura de puente igual a 4.60 metros.</p>
		<p>Se puede verificar una falta de mantenimiento en la señal preventiva ya que existen rayas y manchas de pintura producto de actos vandálicos</p>
		<p>En esta señal preventiva se puede evidenciar que existen papeles adheridos a la misma que dificultan la visibilidad de los datos informativos.</p>

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 28. *Señales informativas*

NOMBRE	FOTOGRAFÍA	OBSERVACION
Señales Informativas		La señal informativa de parada de bus en la avenida Rumihurco está en buen estado y se puede visualizar de manera clara la información proporcionada.
		En el redondel del barrio Rancho Bajo, junto a la ESMIL se puede observar una señal del tipo informativa que se encuentra en buen estado y la información que muestra es clara

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.2.4.4 Sistema de SemafORIZACIÓN

Tabla 29. *Aforo de los tiempos de semáforos en la intersección en el horario de 07:00 a 09:00*

Distribución del ciclo de semafORIZACIÓN. Horario 07:00-09:00					
Vía Principal	Sentido	Código del Movimiento	Tiempo [Segundos]		
			Rojo	Amarillo	Verde
Av. Mariscal Sucre	Norte – Sur	1-5	122	3	60
Av. Mariscal Sucre	Norte - Este (Giro)	1-7	74	3	15
Av. Mariscal Sucre	Sur – Norte	5-1	122	3	60
Av. Mariscal Sucre	Sur – Oeste (Giro)	5-3	74	3	15
Rumihurco	Este - Oeste	7-3	114	3	20
Rumihurco	Oeste - Este	3-7	104	3	30
Tiempo total del ciclo [s]					137

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 30. Aforo de los tiempos de semáforos en la intersección en el horario de 18:00 a 20:00

Distribución del ciclo de semaforización. Horario 18:00 -20:00					
Via Principal	Sentido	Código del Movimiento	Tiempo [Segundos]		
			Rojo	Amarillo	Verde
Av. Mariscal Sucre	Norte – Sur	1-5	106	4	90
Av. Mariscal Sucre	Norte - Este (Giro)	1-7	256	4	15
Av. Mariscal Sucre	Sur – Norte	5-1	106	4	90
Av. Mariscal Sucre	Sur – Oeste (Giro)	5-3	256	4	15
Rumihurco	Este - Oeste	7-3	270	4	20
Rumihurco	Oeste - Este	3-7	250	4	40
Tiempo total del ciclo [s]					181

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.2.5 Longitud de cola

Para realizar una adecuada medición de la longitud de cola se conoce la hora de máxima demanda, para lo cual se ha realizado mediciones en intervalos de 15 minutos y posteriormente se calculó los valores promedio y la desviación estándar que se usará en la modelación del tráfico en el programa PTV VISSIM.

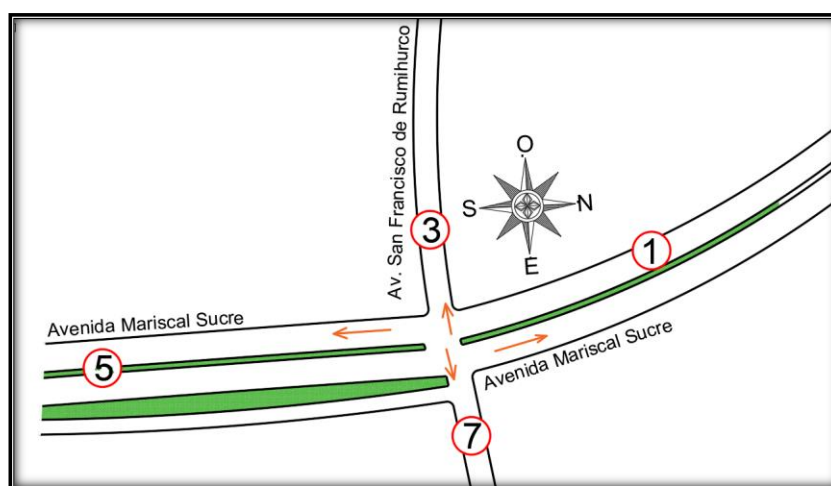


Figura 35. Vista en planta de la intersección. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 31. Longitud de cola de vehículos en el horario de 07:00 a 09:00

LONGITUD DE COLA EN METROS						
Vía Principal	Av. Mariscal Sucre				Av. San Francisco de Rumihurco	
Sentido	Norte – Sur	Norte - Este	Sur – Norte	Sur – Oeste	Este - Oeste	Oeste - Este
Código del Movimiento	1-5	1-7	5-1	5-3	7-3	3-7
07:00	115	48	203	211	360	911
07:15	117	51	207	214	368	913
07:30	116	49	204	213	365	912
07:45	116	49	204	213	365	912
08:00	115	48	202	209	359	910
08:15	115	45	200	208	358	909
08:30	109	47	198	205	363	911
08:45	109	48	199	203	365	912
09:00	112	49	195	210	363	910
Promedio	114	48	201	210	363	911
Des. Estándar	3,03	1,64	3,67	3,75	3,30	1,27

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 32. Longitud de cola de vehículos en el horario de 18:00 a 20:00

LONGITUD DE COLA EN METROS						
Vía Principal	Av. Mariscal Sucre				Av. San Francisco de Rumihurco	
Sentido	Norte – Sur	Norte - Este	Sur – Norte	Sur – Oeste	Este - Oeste	Oeste - Este
Código del Movimiento	1-5	1-7	5-1	5-3	7-3	3-7
18:00	403	45	210	206	406	453
18:15	403	45	210	204	406	450
18:30	403	45	210	204	406	452
18:45	400	43	210	205	406	450
19:00	403	45	210	206	406	453
19:15	400	40	208	206	405	453
19:30	400	40	208	206	405	452
19:45	400	40	208	206	406	453
20:00	402	40	207	206	406	453
Promedio	402	43	209	205	406	452
Des. Estándar	1,51	2,51	1,22	0,88	0,44	1,27

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.2.6 Velocidad promedio

Para obtener la velocidad media de circulación para un vehículo liviano del tipo automóvil siendo este el que predomina en los conteos vehiculares realizados. Se efectuó un aforo considerando el tiempo que le toma al vehículo atravesar la longitud de cola en los diferentes sentidos que permite el cruce entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco.

3.2.7 Resultado del tiempo de viaje del vehículo

Tomando en cuenta la longitud de cola se registraron los datos de los tiempos que le toma a un vehículo desde que detiene su marcha al final de la cola hasta atravesar la intersección entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco.

Tabla 33. *Tiempo de circulación de vehículos en el horario de 07:00 a 09:00*

TIEMPO EN MINUTOS						
Vía Principal	Av. Mariscal Sucre				Av. San Francisco de Rumihurco	
Sentido	Norte – Sur	Norte - Este	Sur – Norte	Sur – Oeste	Este - Oeste	Oeste - Este
Código del Movimiento	1-5	1-7	5-1	5-3	7-3	3-7
07:00	00:05:15	00:02:03	00:05:30	00:15:50	00:19:30	00:14:40
07:15	00:05:16	00:02:03	00:05:43	00:16:01	00:20:04	00:15:06
07:30	00:05:43	00:02:03	00:05:35	00:16:03	00:19:40	00:15:00
07:45	00:05:40	00:02:03	00:05:43	00:16:03	00:19:40	00:15:00
08:00	00:05:43	00:02:03	00:05:43	00:15:42	00:19:20	00:14:39
08:15	00:05:43	00:02:03	00:05:40	00:15:38	00:19:20	00:14:35
08:30	00:05:30	00:02:03	00:05:43	00:15:43	00:19:50	00:14:40
08:45	00:05:40	00:02:03	00:05:20	00:16:03	00:19:40	00:15:00
09:00	00:05:30	00:02:03	00:05:15	00:15:42	00:19:50	00:14:39
Promedio	00:05:33	00:02:03	00:05:35	00:15:52	00:19:39	00:14:49
Des. Estándar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 34. Tiempo de circulación de vehículos en el horario de 18:00 a 20:00

TIEMPO EN MINUTOS						
Vía Principal	Av. Mariscal Sucre				Av. San Francisco de Rumihurco	
Sentido	Norte – Sur	Norte - Este	Sur – Norte	Sur – Oeste	Este - Oeste	Oeste - Este
Código del Movimiento	1-5	1-7	5-1	5-3	7-3	3-7
18:00	00:10:15	00:02:03	00:05:30	00:15:42	00:25:03	00:10:40
18:15	00:10:00	00:02:03	00:05:43	00:16:01	00:25:04	00:10:41
18:30	00:10:08	00:02:03	00:05:35	00:16:03	00:25:05	00:10:40
18:45	00:10:18	00:02:03	00:05:43	00:16:03	00:25:06	00:10:40
19:00	00:10:19	00:02:03	00:05:43	00:15:53	00:25:00	00:09:59
19:15	00:10:20	00:02:03	00:05:40	00:15:38	00:25:08	00:09:58
19:30	00:10:21	00:02:03	00:05:43	00:15:49	00:25:09	00:08:37
19:45	00:09:40	00:02:03	00:05:20	00:16:03	00:25:10	00:10:56
20:00	00:09:50	00:02:03	00:05:15	00:15:59	00:25:11	00:10:48
Promedio	00:10:08	00:02:03	00:05:35	00:15:55	00:25:06	00:10:20
Des. Estándar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 35. Velocidad de circulación de vehículos en el horario de 07:00 a 09:00

VELOCIDAD DE MARCHA [km/h]						
Vía Principal	Av. Mariscal Sucre				Av. San Francisco de Rumihurco	
Sentido	Norte – Sur	Norte - Este	Sur – Norte	Sur – Oeste	Este - Oeste	Oeste - Este
Código del Movimiento	1-5	1-7	5-1	5-3	7-3	3-7
07:00	2,23	1,40	2,21	0,81	1,11	3,73
07:15	2,24	1,49	2,17	0,80	1,10	3,63
07:30	2,07	1,43	2,19	0,80	1,11	3,65
07:45	2,09	1,43	2,14	0,80	1,11	3,65
08:00	2,05	1,40	2,12	0,80	1,11	3,73
08:15	2,05	1,32	2,12	0,80	1,11	3,74
08:30	1,99	1,38	2,08	0,78	1,10	3,73
08:45	1,94	1,40	2,24	0,76	1,11	3,65
09:00	2,08	1,43	2,23	0,80	1,10	3,73
PROMEDIO	2,08	1,41	2,17	0,79	1,11	3,69

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 36. *Velocidad de circulación de vehículos en el horario de 18:00 a 20:00*

VELOCIDAD DE MARCHA [km/h]						
Vía Principal	Av. Mariscal Sucre			Av. San Francisco de Rumihurco		
Sentido	Norte – Sur	Norte - Este	Sur – Norte	Sur – Oeste	Este - Oeste	Oeste - Este
Código del Movimiento	1-5	1-7	5-1	5-3	7-3	3-7
18:00	2,36	1,32	2,29	0,79	0,97	2,55
18:15	2,42	1,32	2,20	0,75	0,97	2,53
18:30	2,39	1,32	2,26	0,76	0,97	2,54
18:45	2,37	1,26	2,20	0,77	0,97	2,53
19:00	2,38	1,32	2,20	0,78	0,97	2,72
19:15	2,32	1,17	2,20	0,79	0,97	2,73
19:30	2,32	1,17	2,18	0,78	0,97	3,15
19:45	2,48	1,17	2,34	0,77	0,97	2,49
20:00	2,59	1,17	2,37	0,77	0,97	2,52
PROMEDIO	2,40	1,25	2,25	0,77	0,97	2,64

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Los vehículos en el tiempo de máxima demanda circulan a velocidades muy bajas en un rango entre 0.76 y 6.54 [km/h] para atravesar la intersección entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco.

3.3 Micro simulación PTV VISSIM

El objetivo del software es ayudar a realizar simulaciones multimodales de tráfico; por lo que es ideal para el estudio de los diferentes movimientos de todos los tipos de transporte, además de tener un apartado exclusivo para estudio de peatones (PTV GROUP, 2015, pp. 5–10). El software utilizado para el modelado y evaluación de la intersección fue PTV VISSIM 2021 en su versión estudiantil.

Para la modelación y análisis generalmente cumple con el siguiente esquema de la figura 36.



Figura 36. Esquema de Modelación del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Al cumplir este esquema se puede realizar simulaciones que se acerquen a la realidad, y de esta manera poder confiar en que los resultados de las simulaciones y de las alternativas propuestas son válidas.

3.3.1 Red Vial

Con la información de campo se procedió a recrear la red vial, concretamente la intersección entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco a través de la herramienta links en el menú “Network Objects”, ver figura 37.

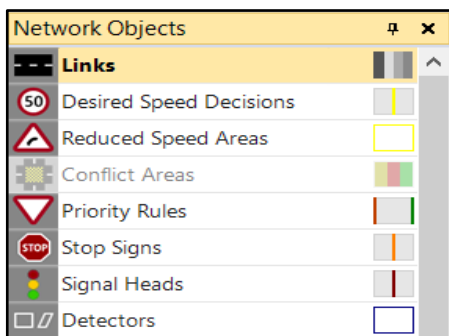


Figura 37. Menú de objetos viales del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Se define a continuación la geometría de las vías, cantidad de carriles, anchura de los mismos y dirección de circulación vehicular. Estas variables se las configura en el menú de link, figura 38.

Count	Index	Width	LinkBehavTy...	BlockedVeh...	DisplayType	NoLnChLAll...	NoLnChRAIl...	NoLnChLVe...	NoLnChRVe...
1	1	3,50				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
2	2	3,50				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
3	3	3,50				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 38. Modelación geométrica de las vías que convergen en la intersección en el software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Como parte final se crearon los enlaces y los giros entre la avenida Mariscal sucre y San Francisco de Rumihurco en el menú “Conector”, figura 39.

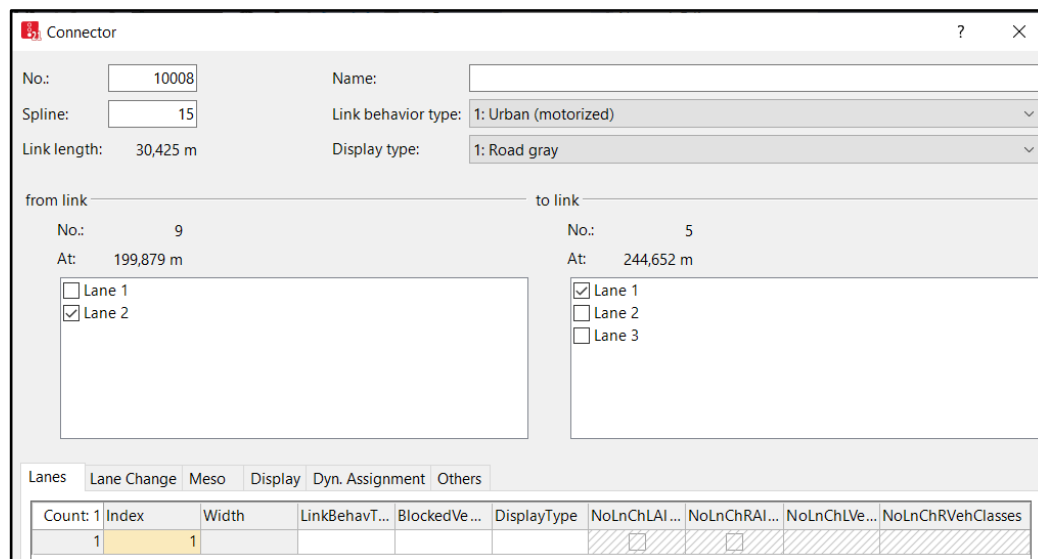


Figura 39. Modelación de los conectores de las vías que convergen en la intersección en el software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.2 Tránsito

Una vez creada la red vial del modelo se procede a ingresar los datos de tránsito obtenidos en campo, refiriéndose al volumen horario, composición vehicular en cada avenida, y los movimientos que corresponden a cada ruta.

Esto se lo realiza de la siguiente manera:

- Figura 40: En la opción “Vehicle inputs” del menú “Network Objects” se crea la composición vehicular refiriendo a la caracterización de automóviles que se movilizan por las avenidas examinadas, así como el porcentaje de cada una de ellas en la opción “RelFlow”.

Count	3	No	Name
1		1	Av. Mariscal Sucre
2		2	Av. Rumihurco
3		3	PEATONES

Count	4	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1		100: Car	60: 60 km/h	0,880
2		200: HGV	50: 50 km/h	0,020
3		300: Bus	50: 50 km/h	0,020
4		610: Bike Man	25: 25 km/h	0,100

Figura 40. Ingreso de los tipos de vehículos en el software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

- Una vez creada la composición vehicular para cada avenida se procede a realizar la asignación respectiva considerando la dirección de circulación
- Al asignar a cada avenida su composición vehicular es necesario ahora establecer el volumen de tráfico horario, ver figura 41.

Vehicle Inputs / Vehicle volumes by time interval						
Count: 11	No	Name	Link	Volume(0-MAX)	VehComp(0-MAX)	
1	1		1: Av. Rumihurco	431,0	2: Av. Rumihurco	
2	4		3: Av. Rumihurco 2.0	169,0	2: Av. Rumihurco	
3	6		5: Av. Mariscal Sucre	2346,0	1: Av. Mariscal Sucre	
10	14		9: Av. Mariscal Sucre lateral 2	20,0	1: Av. Mariscal Sucre	
11	15		6: Av. Mariscal Sucre	1742,0	1: Av. Mariscal Sucre	

Figura 41. Ingreso del volumen vehicular en el software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

- En el menú “Network Objects” se encuentra la opción “Vehicle Routes (Static)”, esta opción permite simular una desviación del tráfico de la avenida principal hacia las diferentes direcciones permitidas en la intersección (figura 42).

Static Vehicle Routing Decisions / Static vehicle routes															
Count: 5	No	Name	Link	Pos	AllVehTypes	VehClasses	RouteChoiceMeth	Count: 3	VehRoutDec	No	Name	Formula	DestLink	DestPos	RelFlow(0-MAX)
1	1		5: Av. Mariscal Sucre	6,923	<input checked="" type="checkbox"/>		Static	1	1	1			2: Av. R...	19,111	0,015
2	3		3: Av. Rumihurco 2.0	126,442	<input checked="" type="checkbox"/>		Static	2	1	2			5: Av....	339,038	0,962
3	4		1: Av. Rumihurco	752,310	<input checked="" type="checkbox"/>		Static	3	1	3			4: Av. R...	43,615	0,020
4	6		9: Av. Mariscal Sucre lateral 2	162,291	<input checked="" type="checkbox"/>		Static								
5	7		6: Av. Mariscal Sucre	147,739	<input checked="" type="checkbox"/>		Static								

Figura 42. Modelación de las decisiones de enrutamiento de vehículos en el software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.3 Control

Para que exista una correcta circulación del tráfico vehicular es necesario colocar dispositivos de control de tal manera que el movimiento de vehículos sea ordenado y continuo en un periodo de tiempo determinado.

Para recrear el funcionamiento de un semáforo se dirige al menú “signal Control”, ver figuras 43 y 44, y se crea una nueva señal con un intervalo de tiempo en verde, en amarillo y en rojo para cada vía en la intersección, de tal manera que al conjugarse se obtiene un ciclo cerrado.

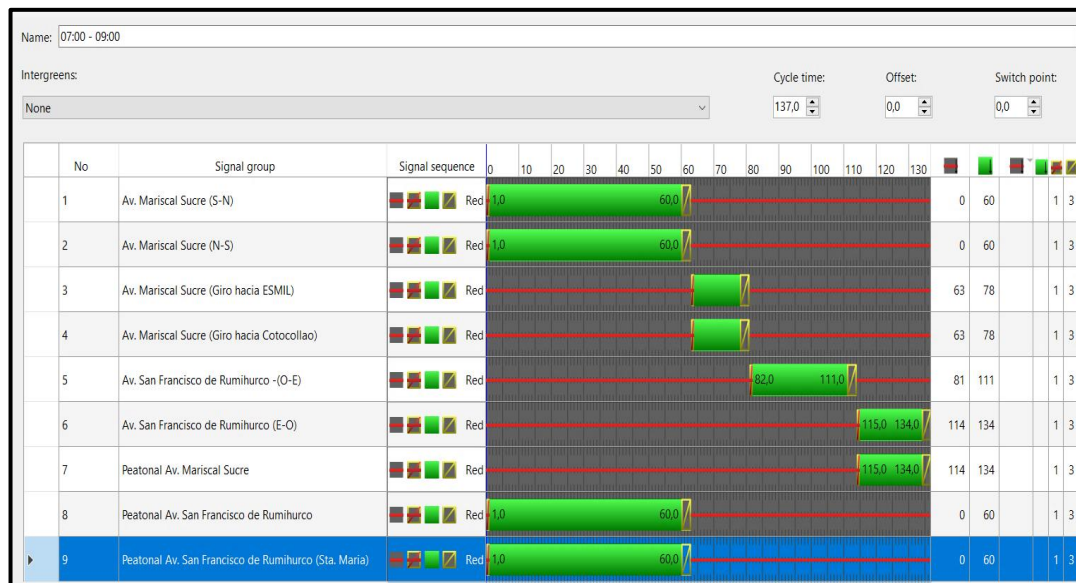


Figura 43. Configuración de los tiempos de verde para las 07:00-09:00 en el software PTV VISSIM.
Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

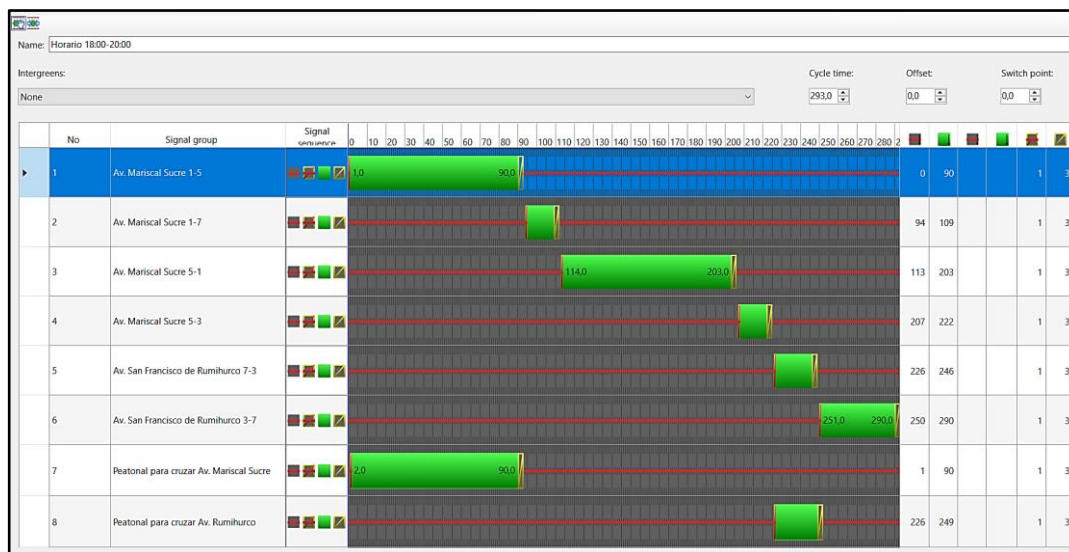


Figura 44. Configuración de los tiempos de verde para las 18:00-20:00 en el software PTV VISSIM
Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.4 Evaluación

Una vez generado el modelo y habiendo realizado una preconfiguración de las diferentes variables establecidas por el programa se procede a simular el modelo y corregir los parámetros para obtener resultados similares a los conseguidos en campo.

3.3.5 Parámetros de la simulación

Es importante configurar en el menú “Simulation”, opción “Parameters” las diferentes variables que se presenta en esa ventana, ver figura 45. Una de las más importantes es la del periodo, ya que es el intervalo de tiempo en el cual el programa realizará la respectiva evaluación y corresponde también al volumen de tráfico ingresado anteriormente en este caso [vehículos /hora]. Por lo que en ese parámetro se colocará 3600 segundos que equivale a una hora.

Simulation parameters

General Meso

Comment:

Period: 3600 s Simulation seconds

Start time: 00:00:00

Start date: 13/10/2021

Simulation resolution: 10 Time step(s) / simulation second

Random Seed: 42

Number of runs: 1

Random seed increment: 1

Dynamic assignment volume increment: 0,00 %

Simulation speed: Factor: 10,0
 Maximum

Retrospective synchronization

Break at: 0 s Simulation seconds

Number of cores: use all cores

OK Cancel

Figura 45. Configuración de los parámetros de simulación en el software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.6 Parámetros de evaluación y resultados

Una vez ajustados los parámetros de simulación se procede a ejecutar el programa obteniendo resultados que pueden ser escogidos de un menú de tal manera que el usuario pueda visualizarlos según su necesidad, estos resultados deben ser similares a los datos obtenidos en campo, ver figura 46.

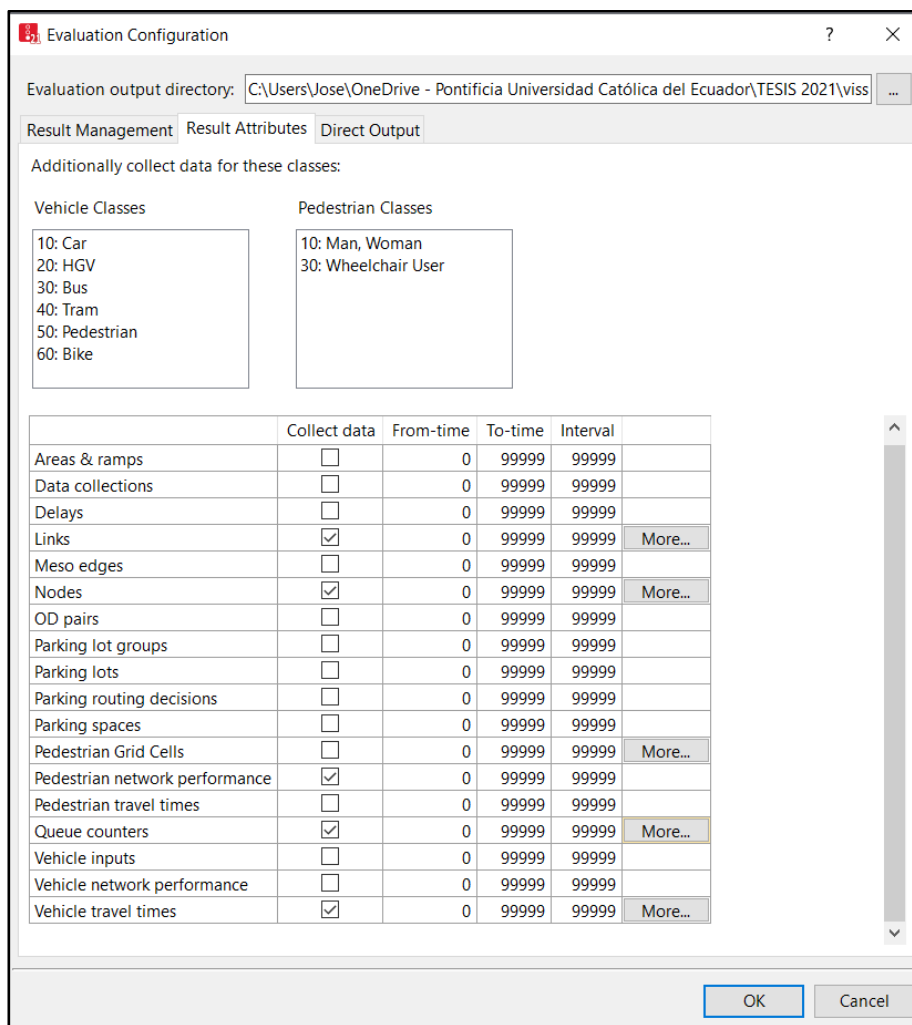


Figura 46. Configuración de los parámetros de evaluación en el software PTV VISSIM.

Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.7 Simulaciones multimodales de tráfico

Dependiendo de los objetos de red utilizados, se generan varios datos durante las simulaciones, por ejemplo, información sobre vehículos, enlaces, áreas, nodos, atascos de tráfico, distribución del tiempo en los sistemas de semaforización. Estos pueden ser datos sin procesar o datos agregados. Dependiendo del tipo de datos y el uso posterior deseado, puede mostrar evaluaciones en listas o ventanas y guardarlas en archivos de texto y archivos de base de datos. Para ello, se selecciona en el menú de “Evaluation Configuration” los resultados que mostrará el programa una vez terminado la simulación, ver figura 47.

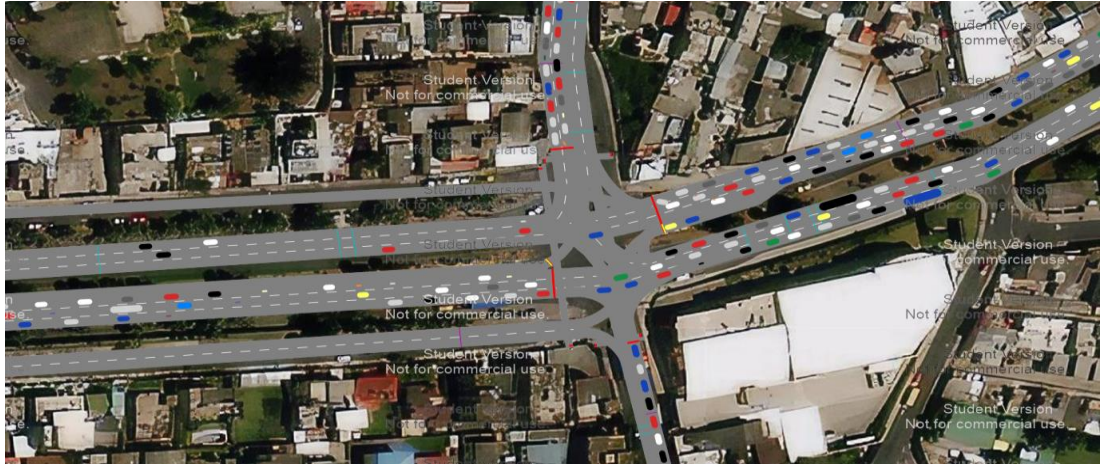


Figura 47. Vista en planta del modelo de tráfico para la intersección semafORIZADA través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.8 Resultados obtenidos en la simulación

3.3.8.1 Tiempo de Circulación

Vehicle Travel Time Measurements						
Count	No	Name	StartLink	StartPos	EndLink	EndPos
1	1	Tiempo Rumihurco	1: Av. Rumihurco	8,250	4: Av. Rumihurco 2.0	53,178
2	2	Tiempo Rumihurco (regreso)	3: Av. Rumihurco 2.0	3,328	3: Av. Rumihurco 2.0	159,203
3	3	Mariscal Sucre (S-N)	5: Av. Mariscal Sucre	20,295	5: Av. Mariscal Sucre	380,757
4	4	Mariscal Sucre (N-S)	6: Av. Mariscal Sucre	11,555	6: Av. Mariscal Sucre	453,154

Figura 48. Tiempo de Circulación en la Intersección semafORIZADA. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

– Horario de 07:00 a 09:00

Vehicle Travel Time Results						
Count	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	2	0-3600	1: Tiempo Rumihurco	431	889,70	919,91
2	2	0-3600	2: Tiempo Rumihurco (regreso)	169	1169,24	360,87
3	2	0-3600	3: Mariscal Sucre (S-N)	2346	360,32	220,46
4	2	0-3600	4: Mariscal Sucre (N-S)	1742	339,33	141,60

Figura 49. Tiempo de Circulación en la Intersección semafORIZADA en horario 07:00-09:00 través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

– **Horario de 18:00 a 20:00**

Vehicle Travel Time Results						
Count: 28	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	2	0-3600	1: Tiempo Rumihurco	363	629,70	469,91
2	2	0-3600	2: Tiempo Rumihurco (regreso)	221	1529,24	409,87
3	2	0-3600	3: Mariscal Sucre (S-N)	1565	348,32	240,46
4	2	0-3600	4: Mariscal Sucre (N-S)	2248	639,33	441,60

Figura 50. Tiempo de Circulación en la Intersección semaforizada en horario 18:00-20:00 través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.8.2 Resultados de Longitud de Cola

Queue Counters				
Count: 4	No	Name	Link	Pos
1	1		5: Av. Mariscal Sucre	218,424
2	2		6: Av. Mariscal Sucre	226,260
3	3		1: Av. Rumihurco	791,131
4	4		3: Av. Rumihurco 2.0	157,099

Figura 51. Longitud de Cola en la Intersección semaforizada. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

– **Horario de 07:00 a 09:00**

Queue Results						
Count: 32	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
1	1	0-3600	1: 5-1	224,19	229,77	229
2	1	0-3600	2: 1-5	114,79	124,58	104
3	1	0-3600	3: 3-7	967,45	1003,57	903
4	1	0-3600	4: 7-3	365,57	435,01	335

Figura 52. Longitud de Cola en la Intersección semaforizada en horario 07:00-09:00 través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

– **Horario de 18:00 a 20:00**

Queue Results						
Count	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
1	1	0-3600	1: 5-1	204,19	229,77	209
2	1	0-3600	2: 1-5	414,79	424,58	404
3	1	0-3600	3: 3-7	447,45	467,57	433
4	1	0-3600	4: 7-3	435,57	442,01	445

Figura 53. Longitud de Cola en la Intersección semaforizada en horario 18:00-20:00 través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.8.3 Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible

– **Horario de 07:00 a 09:00**

Node Results				
Count	Movement	EmissionsCO	EmissionsNOx	FuelConsumption
1	1: interseccion - 1: Av. Rumihurco@767.4 - 4: Av. Rumihurco 2.0@30.9	147,173	28,634	2,105
2	1: interseccion - 1: Av. Rumihurco@767.4 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6	89,184	17,352	1,276
3	1: interseccion - 1: Av. Rumihurco@767.4 - 6: Av. Mariscal Sucre@308.0	78,672	15,307	1,125
4	1: interseccion - 3: Av. Rumihurco 2.0@134.4 - 2: Av. Rumihurco@29.5	111,479	21,690	1,595
5	1: interseccion - 3: Av. Rumihurco 2.0@134.4 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6	39,153	7,618	0,560
6	1: interseccion - 3: Av. Rumihurco 2.0@134.4 - 6: Av. Mariscal Sucre@308.0	17,895	3,482	0,256
7	1: interseccion - 5: Av. Mariscal Sucre@169.2 - 4: Av. Rumihurco 2.0@30.9	3,969	0,772	0,057
8	1: interseccion - 5: Av. Mariscal Sucre@169.2 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6	552,837	107,562	7,909
9	1: interseccion - 6: Av. Mariscal Sucre@192.0 - 2: Av. Rumihurco@29.5	280,736	54,621	4,016
10	1: interseccion - 6: Av. Mariscal Sucre@192.0 - 6: Av. Mariscal Sucre@308.0	264,955	51,551	3,790
11	1: interseccion - 6: Av. Mariscal Sucre@192.0 - 7: Av. Mariscal Sucre lateral@42.9			
12	1: interseccion - 9: Av. Mariscal Sucre lateral 2@149.8 - 4: Av. Rumihurco 2.0@30.9	0,282	0,055	0,004
13	1: interseccion - 9: Av. Mariscal Sucre lateral 2@149.8 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6	1,272	0,248	0,018
14	1: interseccion - 10: virar hacia Rumihurco@147.7 - 2: Av. Rumihurco@29.5			
15	1: interseccion - 10015@5.7 - 4: Av. Rumihurco 2.0@30.9			
16	1: interseccion - 10015@5.7 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6			
17	1: interseccion	1588,846	309,132	22,730

Figura 54. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustibles en la Intersección semaforizada en horario 07:00-09:00 través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

– Horario de 18:00 a 20:00

Node Results				
Count	Movement	EmissionsCO	EmissionsNOx	FuelConsumption
1	1: interseccion - 1: Av. Rumihurco@767.4 - 4: Av. Rumihurco 2.0@30.9	140,800	27,394	2,014
2	1: interseccion - 1: Av. Rumihurco@767.4 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6	78,075	15,191	1,117
3	1: interseccion - 1: Av. Rumihurco@767.4 - 6: Av. Mariscal Sucre@308.0	74,181	14,433	1,061
4	1: interseccion - 3: Av. Rumihurco 2.0@134.4 - 2: Av. Rumihurco@29.5	115,000	22,375	1,645
5	1: interseccion - 3: Av. Rumihurco 2.0@134.4 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6	39,379	7,662	0,563
6	1: interseccion - 3: Av. Rumihurco 2.0@134.4 - 6: Av. Mariscal Sucre@308.0	17,866	3,476	0,256
7	1: interseccion - 5: Av. Mariscal Sucre@169.2 - 4: Av. Rumihurco 2.0@30.9	3,733	0,726	0,053
8	1: interseccion - 5: Av. Mariscal Sucre@169.2 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6	520,466	101,264	7,446
9	1: interseccion - 6: Av. Mariscal Sucre lateral 2@192.0 - 2: Av. Rumihurco@29.5	291,507	56,717	4,170
10	1: interseccion - 6: Av. Mariscal Sucre@192.0 - 6: Av. Mariscal Sucre@308.0	278,498	54,186	3,984
11	1: interseccion - 6: Av. Mariscal Sucre@192.0 - 7: Av. Mariscal Sucre lateral@42.9			
12	1: interseccion - 9: Av. Mariscal Sucre lateral 2@149.8 - 4: Av. Rumihurco 2.0@30.9	0,282	0,055	0,004
13	1: interseccion - 9: Av. Mariscal Sucre lateral 2@149.8 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6	1,245	0,242	0,018
14	1: interseccion - 10: virar hacia Rumihurco@147.7 - 2: Av. Rumihurco@29.5			
15	1: interseccion - 10015@5.7 - 4: Av. Rumihurco 2.0@30.9			
16	1: interseccion - 10015@5.7 - 5: Av. Mariscal Sucre@287.6			
17	1: interseccion	1566,581	304,800	22,412

Figura 55. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustibles en la Intersección semaforizada en horario 18:00-20:00 través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.9 Estudio de peatones

El comportamiento de peatones en cuanto a sus movimientos en el programa PTV VISWALK está basado en el Modelo de Fuerza Social de Helbing y Molnár en 1995 (Seer et al., 2014, p. 3,4).

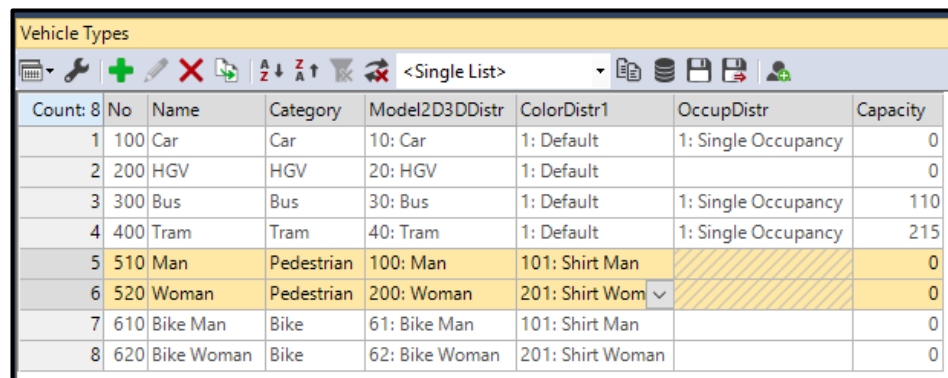
El principio consiste en un vector resultante equivalente a la sumatoria de las fuerzas sociales, psicológicas y físicas. Esta resultante es un parámetro físico correspondiente a la aceleración.

3.3.9.1 Parámetros de calibración del modelo

Tau (τ): Este parámetro se corresponde con la aceleración o reacción que tienen los peatones en la vía que se está simulando. Si el valor es menor mayor será la aceleración y densidad peatonal.

Lambda (λ): se relaciona con cómo influye sobre un peatón el resto de los peatones en función de su posición relativa sea ésta al frente a un lado o atrás. Mientras aumenta el valor de λ mayor influencia tienen los peatones de atrás y esto lleva a mayores densidades y flujos.

En el menú “Base data” en la opción vehicle Types se agrega la información recogida en campo correspondiente a la cantidad de personas que circulan por los diferentes pasos peatonales habilitados en la intersección entre las Avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco, figura 56.



Count	No	Name	Category	Model2D3DDistr	ColorDistr1	OccupDistr	Capacity
1	100	Car	Car	10: Car	1: Default	1: Single Occupancy	0
2	200	HGV	HGV	20: HGV	1: Default		0
3	300	Bus	Bus	30: Bus	1: Default	1: Single Occupancy	110
4	400	Tram	Tram	40: Tram	1: Default	1: Single Occupancy	215
5	510	Man	Pedestrian	100: Man	101: Shirt Man		0
6	520	Woman	Pedestrian	200: Woman	201: Shirt Wom		0
7	610	Bike Man	Bike	61: Bike Man	101: Shirt Man		0
8	620	Bike Woman	Bike	62: Bike Woman	201: Shirt Woman		0

Figura 56. Tipo de vehículos que circulan en la intersección modelado a través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

En el menú “Vehicle Inputs” se ingresa los datos correspondientes al volumen de personas que circularon por los pasos peatonales en el horario de 07:00 a 09:00 que concierne a la hora pico figura 57.

Count	No	Name	Link	Volume(0-MAX)	VehComp(0-MAX)
1	1		1: Av. Rumihurco	431,0	2: Av. Rumihurco
2	4		3: Av. Rumihurco 2.0	282,0	2: Av. Rumihurco
3	6		5: Av. Mariscal Sucre	2438,0	1: Av. Mariscal Sucre
4	8		11: PEATONAL	420,0	3: PEATONES
5	9		8: PEATONAL	357,0	3: PEATONES
6	10		12: PEATONAL	123,0	3: PEATONES
7	11		13: PEATONAL	157,0	3: PEATONES
8	12		14: PEATONAL	53,0	3: PEATONES
9	13		15: PEATONAL	67,0	3: PEATONES
10	14		9: Av. Mariscal Sucre lateral...	20,0	1: Av. Mariscal Sucre
11	15		6: Av. Mariscal Sucre	1793,0	1: Av. Mariscal Sucre

Count	Cont	TimeInt	Volume	VehComp	VolType
1	<input type="checkbox"/>	0-MAX	357,0	3: PEATO...	Stocha...
2	<input type="checkbox"/>	0-MAX	123,0	3: PEATO...	Stocha...
3	<input type="checkbox"/>	0-MAX	157,0	3: PEATO...	Stocha...
4	<input type="checkbox"/>	0-MAX	53,0	3: PEATO...	Stocha...
5	<input type="checkbox"/>	0-MAX	67,0	3: PEATO...	Stocha...

Figura 57. Volumen de peatones que circulan en la intersección modelado a través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.3.9.2 Semaforización peatonal

Al igual que los vehículos se realizaron aforos de los ciclos de semaforización peatonal. Estos datos se los ingresa en el programa (vea la figura 58) de tal manera que el modelo se ajuste a la realidad, estos datos se los ingresa en el menú “Signal Controllers”.

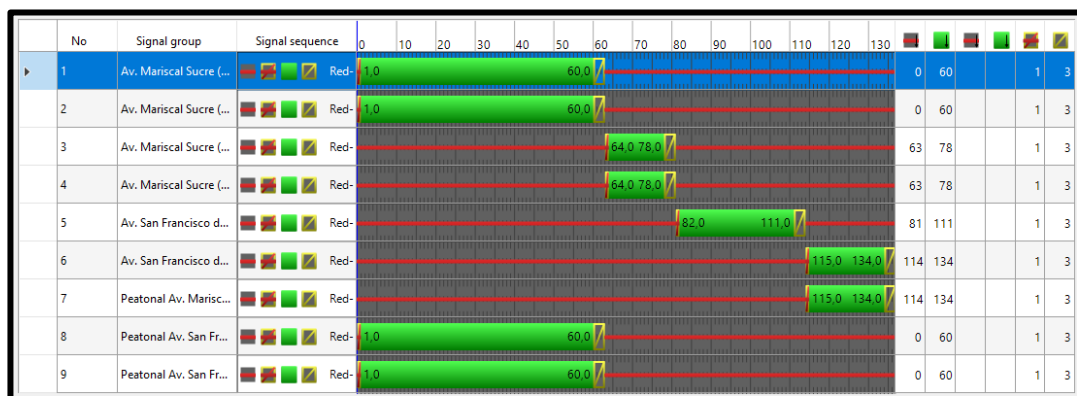


Figura 58. Programación del tiempo de verde de los semáforos a través del software PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Finalmente se corre el programa y visualiza que el modelo se ajusta a la realidad e interpreta correctamente el sentido del viaje de cada persona, vea figura 59.



Figura 59. Vista tridimensional de la interacción de los peatones en la intersección PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

3.4 Nivel de servicio para cruces semaforizados

3.4.1 Determinación del nivel de servicio del cruce

Para hallar el nivel de servicio del cruce entre la Avenida Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco, se debe utilizar las demoras que implican para el conductor en una vía como una pérdida. Las pérdidas se reflejan en el combustible pues existe mayor consumo, en el tiempo extendido del viaje y la insatisfacción e incomodidad durante el trayecto. Para este objeto, el nivel de servicio será expresado como la demora media por automotor debido a controles de tráfico como señales pare y semáforos.

Para el análisis y clasificación del nivel de servicio de la intersección propuesta y de acuerdo al manual de capacidad vial HCM 2010 donde se analizan previamente seis niveles de servicio (A - F) los cuales se definen según las condiciones de circulación y operación.

De los datos aforados y resultados obtenidos se tiene lo siguiente:

- Cálculo de las tasas de flujo por carriles analizados
 - Sentido del flujo hacia el Este (código 3-7) Avenida San Francisco de Rumihurco.

$$\vartheta = \frac{V}{FHMD} = \frac{431}{0.95} = 454 \text{ (Ec. 12.33 "Ingeniería de tránsito Cal y Mayor")}$$

- Determinación de las tasas de flujo de saturación ajustadas

$$S_i = S_o N_i \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_L \cdot f_R \cdot f_{Lpb} \cdot f_{RPB}$$

(Ec. 12.34 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor)

Tabla 37. Módulo de tasas de flujo ajustadas

Vía Principal	Módulo de Tasas de Flujo Ajustadas					
	Av. Mariscal Sucre				Av. San Francisco de Rumihurco	
Sentido	Norte-Sur	Norte-Este	Sur-Norte	Sur-Oeste	Este-Oeste	Oeste-Este
Código del Movimiento	1-5	1-7	5-1	5-3	7-3	3-7
Volúmenes	1742	27	2346	37	169	431
FHMD	0,99	0,99	0,99	0,99	0,95	0,95
Flujo ajustado	1760	27	2370	37	178	454
Número de Carriles	3	1	3	1	1	2

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

- Flujo de saturación base

$$s_o = 1900 \text{ autos/h/carril}$$

Exhibit 18-13 Lane Width Adjustment Factor	Average Lane Width (ft)	Adjustment Factor (f_w)
	<10.0 ^a	0.96
≥10.0–12.9	1.00	
>12.9	1.04	

Note: ^a Factors apply to average lane widths of 8.0 ft or more.

Figura 60. Factor de ajuste según el ancho de carril. Tomado de Highway Capacity Manual, por Transportation Research Board, 2010

- Ajuste por ancho de carriles

Cuadro tomado del manual Highway Capacity Manual 2010

$$f_w = 1 \quad (\text{cuadro 18-13 HCM 2010})$$

- Ajuste por vehículos pesados

$$f_{HW} = \frac{100}{100 + P_{HV} \cdot (E_T - 1)} \quad (\text{Ec. 12.35 "Ingeniería de tránsito Cal y Mayor"})$$

$$f_{HW} = \frac{100}{100 + 5(2 - 1)} = 0.953$$

- Ajuste por pendiente del acceso

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad (\text{Ec. 12.36 "Ingeniería de tránsito Cal y Mayor"})$$

$$f_g = 1 - \frac{0}{200} = 1$$

- Ajuste por estacionamiento

$$f_p = \frac{N_i - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N_i} \quad (\text{Ec. 12.37 "Ingeniería de tránsito Cal y Mayo" r})$$

$$f_p = \frac{2 - 0.1 - \frac{18 * 0}{3600}}{2} = 0.95$$

Al no existir estacionamientos en la avenida Rubio se considera f_p igual a 1

- A ajuste por parada de buses

$$f_{bb} = \frac{N_i - \frac{14.4 * N_b}{3600}}{N_i} \quad (\text{Ec. 12.38 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor})$$

$$f_{bb} = \frac{2 - \frac{14.4 * 7}{3600}}{2} = 0.858$$

- Ajuste por tipo de área

Al encontrarse la intersección en un área central a la ciudad el factor f_a Es de 0.90

- Ajuste por uso de carriles

$$f_{LU} = \frac{V_i}{V_1(N_I)} \quad (\text{Ec. 12.39 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor})$$

$$f_{LU} = 1$$

- Ajuste por peatones y bicicletas

Al no existir conflictos vehiculares con peatones o ciclistas el factor f_L Es igual

a 1

Tabla 38. *Tasas de flujo de saturación ajustadas*

Acceso Código		3-7
Número de carriles	N_i	2
Flujo de saturación base	S_o	1900
Factor de ajuste por ancho de carriles	f_w	1
Factor de ajuste por vehículos pesados	f_{HV}	0,953
Factor de ajuste por pendiente de acceso	f_g	1
Factor de ajuste por estacionamiento	F_p	0,95
Factor de ajuste por bloqueo de buses	F_{bb}	0,858
Factor de ajuste por tipo de área	f_a	0,90
Factor de ajuste por utilización de carriles	f_{LU}	1
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda	f_L	1
Factor de ajuste por vueltas a la derecha	f_R	1
Factor de ajuste izquierdo por peatones y ciclistas	f_{Lpb}	1
Factor de ajuste derecho por peatones y ciclistas	f_{Rpb}	1
Flujo de saturación ajustado (vehículos/h verde)	S_i	2657

Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

- Determinación de la proporción de llegadas durante el verde

$$P_i = R_{pi} * \left(\frac{g_i}{C}\right) \quad (\text{Ec. 12.42 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor})$$

$$R_{pi} = 1$$

$$g_i = 30 \text{ segundos}$$

$$C = 141 \text{ segundos}$$

$$P_i = 1 * \left(\frac{30}{141}\right) = 0.212$$

- Determinación de la capacidad

$$C_i = S_i * \left(\frac{g_i}{C}\right) \quad (\text{Ec. 12.43 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor})$$

$$C_i = 2657 * \left(\frac{30}{141}\right) = 566 \text{ veh/h}$$

- Relación volumen capacidad

$$X_i = \frac{V_i}{c_i} \quad (\text{Ec. 12.44 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor})$$

$$X_i = \frac{454}{566} = 0.80$$

- Relación de flujo

$$\text{Relación de flujo} = \frac{V_i}{s_i}$$

$$\text{Relación de flujo} = \frac{454}{2657} = 0.17$$

- Determinación del nivel de servicio

- Cálculo de demoras

$$d_i = d_1 * (PF) + d_2 + d_3 \quad (\text{Ec. 12.47 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor})$$

- Factor de ajuste por coordinación

$$PF = \frac{(1-P_i).f_{PA}}{1-\left(\frac{g_i}{C}\right)} \quad (\text{Ec. 12.48 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor})$$

$$PF = \frac{(1 - 0.212) \cdot 1.00}{1 - (0.2127)} = 1.00$$

- Demora uniforme

$$d1 = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g_i}{C}\right)}{1 - \left[\min(X_i - 1) * \frac{g_i}{C}\right]} \quad (\text{Ec. 12.49 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor})$$

$$d1 = \frac{0.5 * 141 * \left(1 - \frac{30}{141}\right)}{1 - [0.80 * 0.2127]} = 66.88 \text{ s/veh}$$

- Demora incremental

$$d2 = 900 * T * \left[(X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \frac{8 * k l X_i}{C_i * T}} \right]$$

(Ec. 12.49 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor)

$$l = 1 - 0.91 * (X_u^{2.68}) \quad (\text{Ec. 12.49 Ingeniería de tránsito Cal y Mayor})$$

$$l = 1 - 0.91 * (0.50^{2.68}) = 0.858$$

$$d2 = 900 * 0.25 * \left[0.80 + \sqrt{(0.80 - 1)^2 + \frac{8 * 0.5 * 0.858 * 0.80}{566 * 0.25}} \right] = 9.84 \text{ s/veh}$$

Se supone que no existe cola inicial por lo que $d3=0$

$$d_i = 66.88 * (1) + 9.84 + 0 = 76.72 \text{ s/veh}$$

Nivel de servicio	Demora por control (segundos/vehículo)
A	≤10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

Figura 61. Relación entre el nivel de servicio y la demora por control. Tomado de Highway Capacity Manual, (p.123) por Transportation Research Board, 2010

Por lo que la Avenida San Francisco de Rumihurco en la dirección de Oeste hacia el Este, con código (3-7) tiene un Nivel de Servicio E. Para el estudio de las vías que confluyen con la intersección de análisis se usará el software propuesto en el texto de “Ingeniería de Tránsito” de los ingenieros Rafael Cal y Mayor Reyes y el Mgtr. James Cárdenas Grisales, el software propuesto es el SIDRA INTERSECTION, que incorpora el método de estudio del HCM 2010.

El software SIDRA INTERSECTION ayuda al estudio para el diseño y evaluación de cruces con o sin sistemas de control (semáforos), el software es un programa analítico avanzado que permite determinar la capacidad y niveles de servicio de los cruces semaforizados entre otras funciones. En la figura 62 se puede observar la interfaz del programa SIDRA.

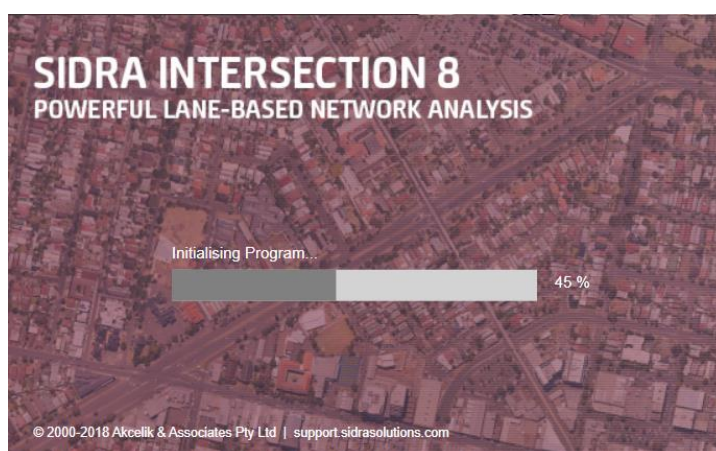


Figura 62. Interfaz del programa SIDRA INTERSECTION.
Tomando de: Sidra Intersection

3.4.2 Modelación de la intersección

En el menú “*add new site*” se tiene varias opciones en la lista y se escoge “*signals*” ya que la intersección estudiada es semaforizada.

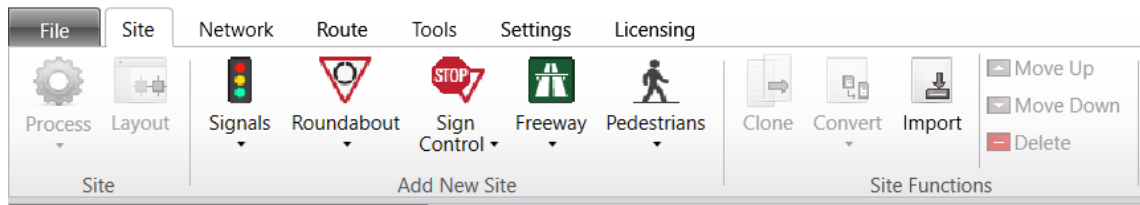


Figura 63. Menú “*Add New Site*” en el software Sidra Intersection, Tomando de: Sidra Intersection

A continuación, se despliega una lista y se escoge la opción “*select template*” donde se puede seleccionar el tipo de intersección que se ajusta a la necesidad actual.

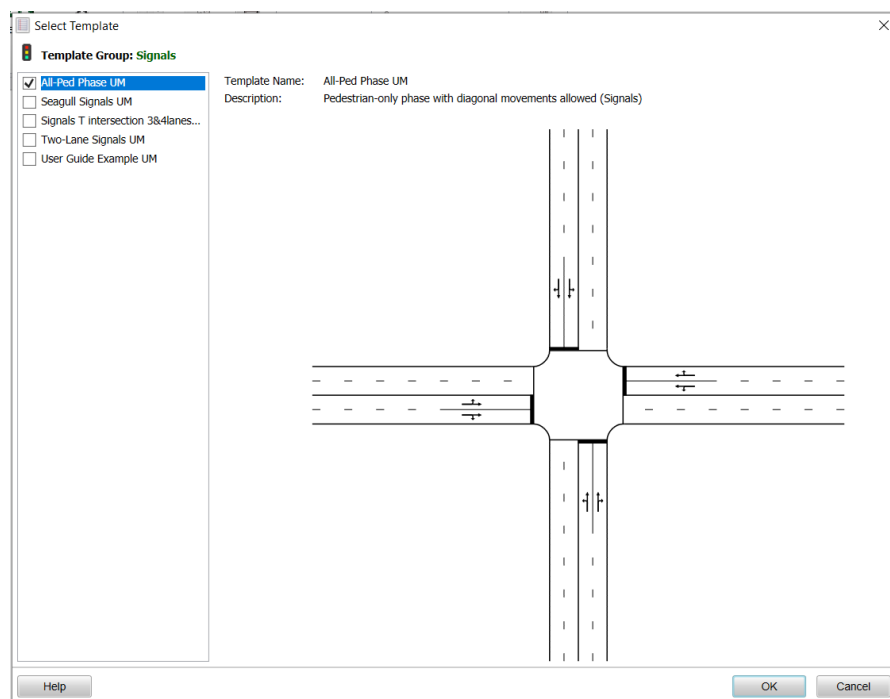


Figura 64. Menú “*select template*” en el software Sidra Intersection, Tomando de: Sidra Intersection

Seguido en la parte derecha se carga un menú llamado “*Site Input*” donde se ingresa de forma ordenada los parámetros de modelación tales como las medidas y geometría

de las vías convergentes en la intersección, volumen de tráfico, ciclos de semafORIZACIÓN, volumen de peatones entre otros.

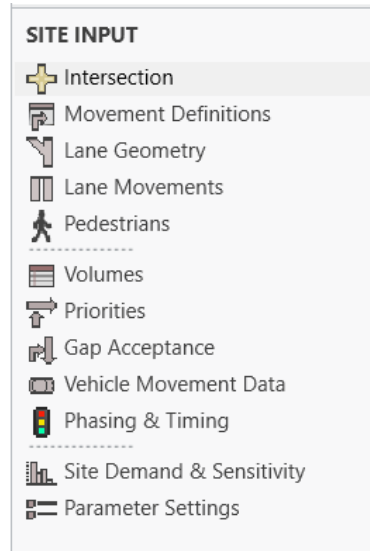


Figura 65. "Site Input" en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

En la opción "Intersection" se ingresan los nombres de las diferentes vías, longitudes y ajuste por tipo de área.

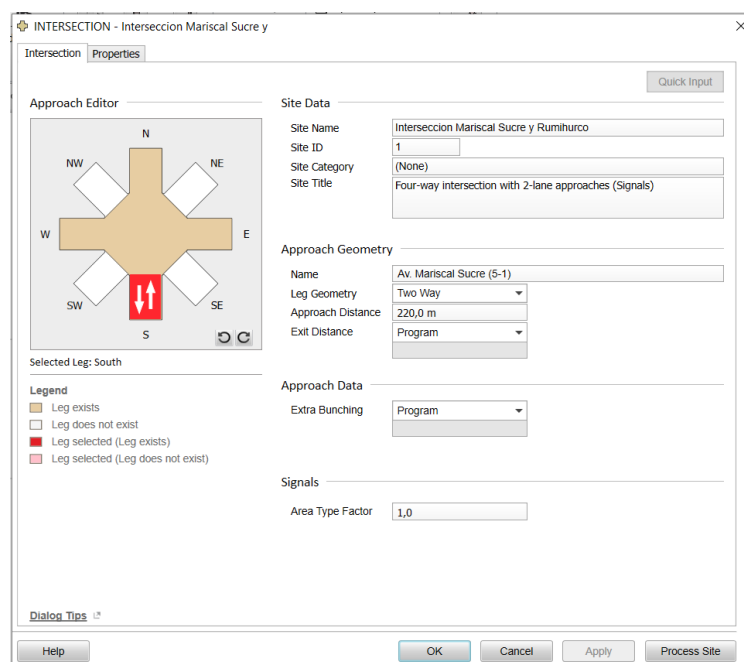


Figura 66. Menú "Intersection" en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

Posteriormente, en el menú “*Site Input*” se tiene la opción “*Movement Definitions*” dónde se puede indicar al programa los posibles movimientos y giros que pueden realizar los vehículos en las diferentes vías convergentes en la intersección.

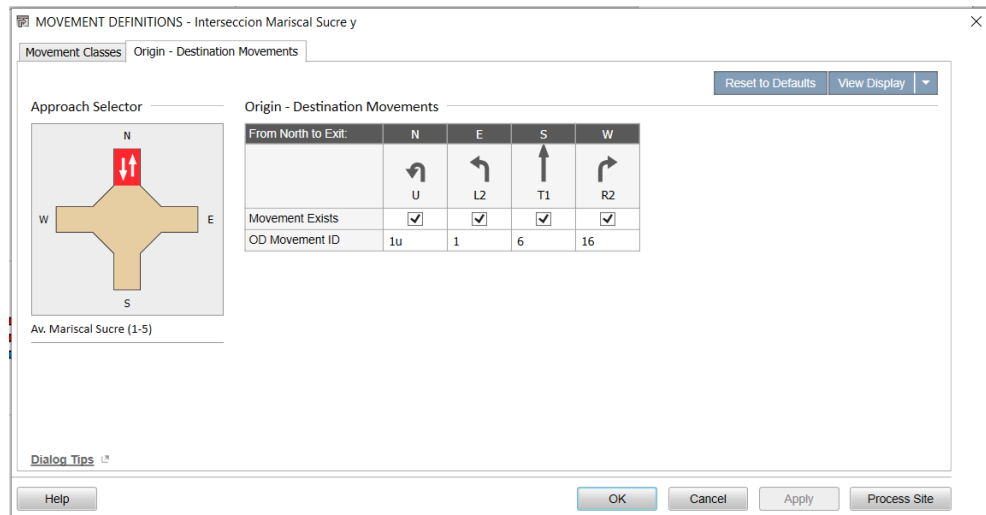


Figura 67. Menú “*Movement Definitions*” en el software *Sidra Intersection*. Tomando de: *Sidra Intersection*

Luego como se observa en la figura 68, en el menú “*Site Input*”, se tiene la opción “*Lane Geometry*” en la cual se puede indicar al programa el movimiento que puede hacer el usuario de la vía según el carril de circulación en el que se encuentre además del tipo de vehículo que circula por cada carril en estudio.

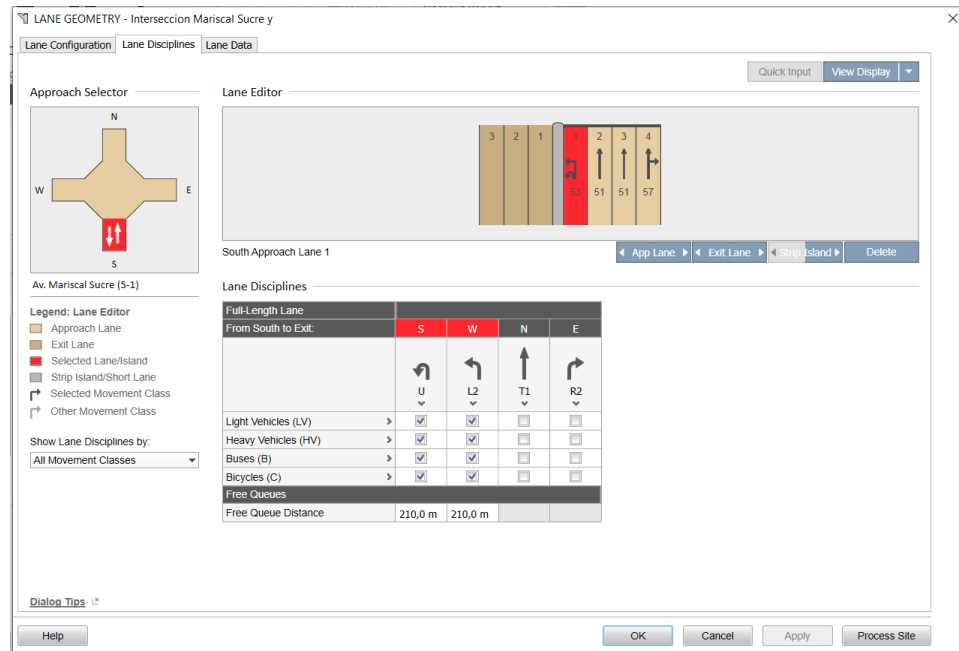


Figura 68. Menú “Lane Geometry” en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

A continuación, en el menú “Site Input” se tiene la opción “Lane Movements” donde se ingresan las proporciones de flujo vehicular por cada carril y movimientos permitidos en el carril según el tipo de vehículo que circule sobre la vía (figura 69).

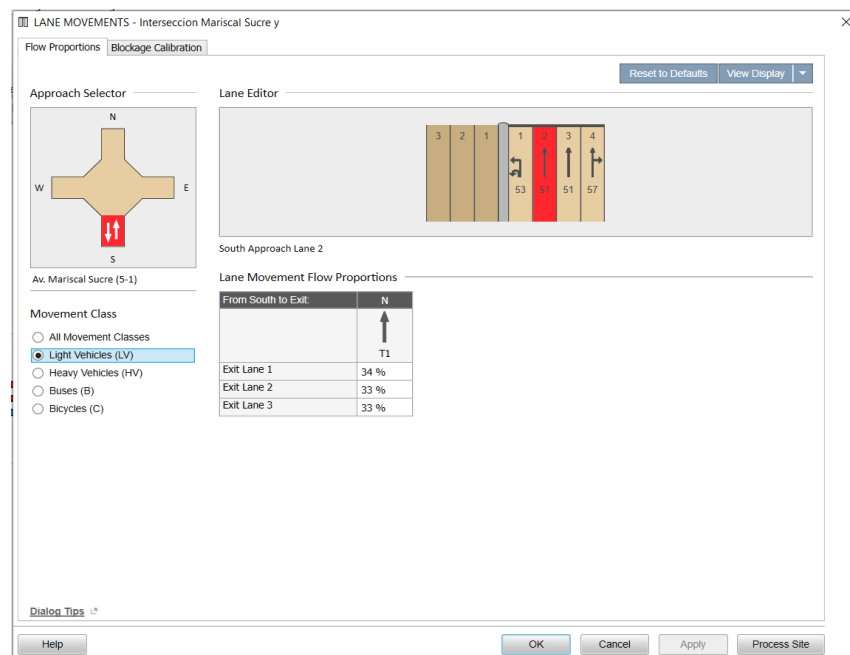


Figura 69. Menú “Lane Movements” en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

En el menú “*Site Input*”, ver figura 70, se tiene la opción “*Pedestrians*” donde se pueden ingresar datos cómo ubicación de los cruces peatonales, volumen de peatones, rapidez de la caminata de las personas entre otros parámetros

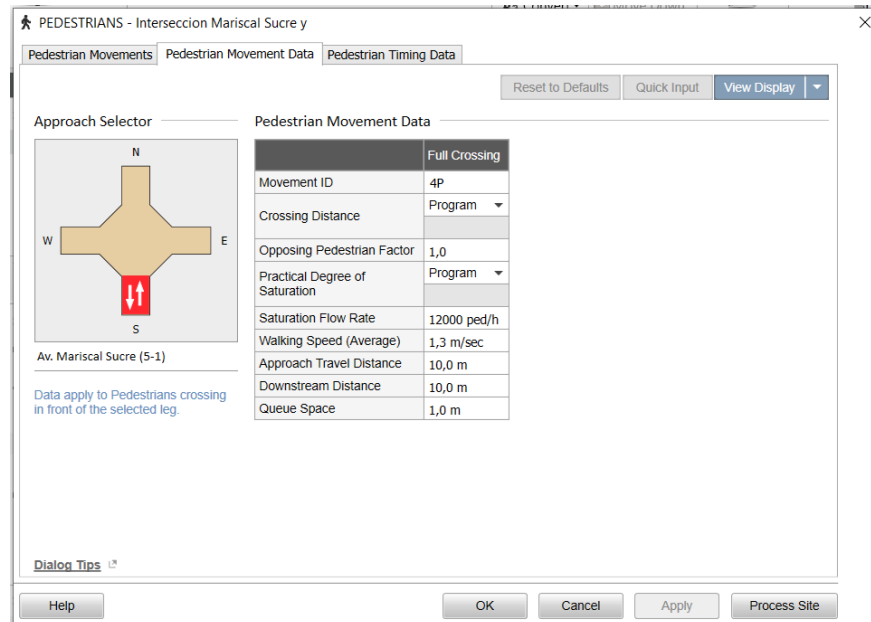


Figura 70. Menú “*Pedestrians*” en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

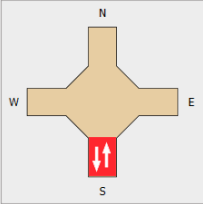
Para ingresar los volúmenes de tráfico se dirige al menú “*Site Input*” donde se tiene la opción “*Volumes*”, Los valores correspondientes al volumen de tráfico se deben ingresar para cada vía y para cada movimiento permitido en la intersección.

VOLUMES - Interseccion Mariscal Sucre y

Vehicle Volumes | Volume Factors

Import Volume Data Quick Input View Display

Approach Selector



Av. Mariscal Sucre (5-1)

Specify the Volume Data Settings before entering Movement Volumes.

The Unit Time for Volumes and Peak Flow Period apply to both Vehicle and Pedestrian movements.

Volume Data Settings for Site

Unit Time for Volumes: 60

Peak Flow Period: 15 minutes

Volume Data Method: Separate

The Peak Flow Period parameter for the Site will not affect Network analysis results. The corresponding parameter appears in the Network Data dialog.

Movement Volumes for Selected Approach (Per 60 Minutes)

From South to Exit:	S	W	N	E
	U	L2	T1	R2
Total (veh) *	6	37	2345	49
Light Vehicles (veh)	6	32	2062	43
Heavy Vehicles (veh)	0	1	42	1
Buses (veh)	0	1	56	1
Bicycles (veh)	0	3	185	4
Input Check	OK	OK	OK	OK

* Total (veh) values are calculated from other volumes specified

Dialog Tips

Help OK Cancel Apply Process Site

Figura 71. Menú “Volumes” en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

Finalmente, en el menú (ver figura 72) “Site Input” opción “PHASING & TIMING” se ingresan los datos correspondientes a los tiempos del ciclo de semaforización, así como la ubicación de los semáforos, aquí de igual manera se ingresan los tiempos de semáforos peatonales.

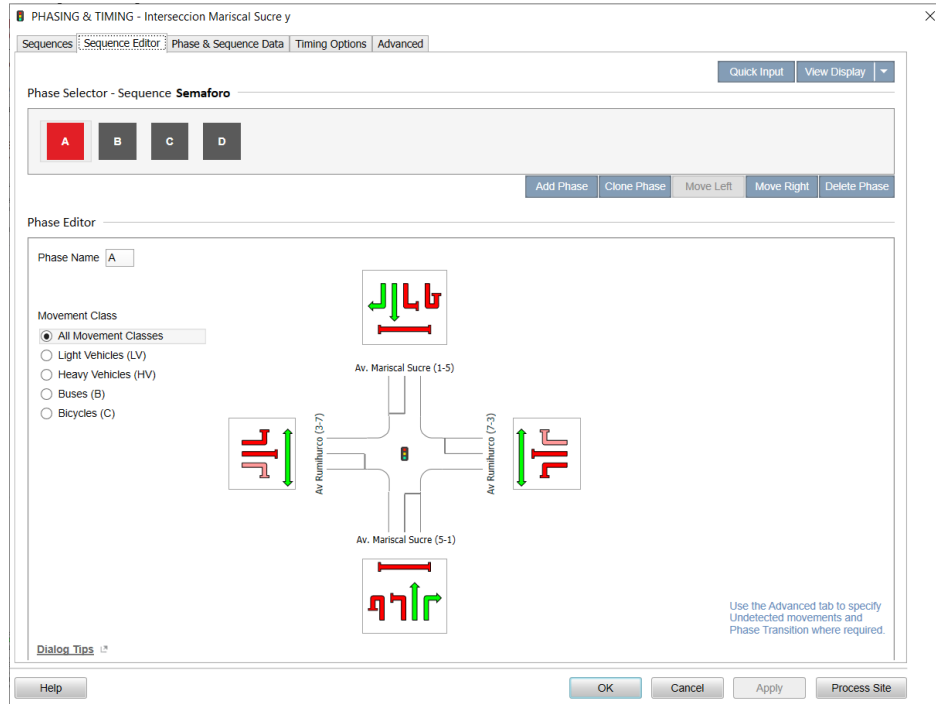


Figura 72. Menú “PHASING & TIMING” en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

Una vez ingresados todos los parámetros de calibración del modelo se procede a ejecutar el programa y obtener los resultados correspondientes a los niveles de servicio de cada vía convergente en el cruce figura 73 y figura 74.

LEVEL OF SERVICE

Movement Level of Service

Site: 1 [Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumiurco]

Interseccion Semaforizada

Site Category: Quito Norte
 Signals - Fixed Time Isolated Cycle Time = 934 seconds (Minimum Cycle Time)

All Movement Classes

	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
LOS	F	F	F	E	F

Figura 73. Resultado de la simulación en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

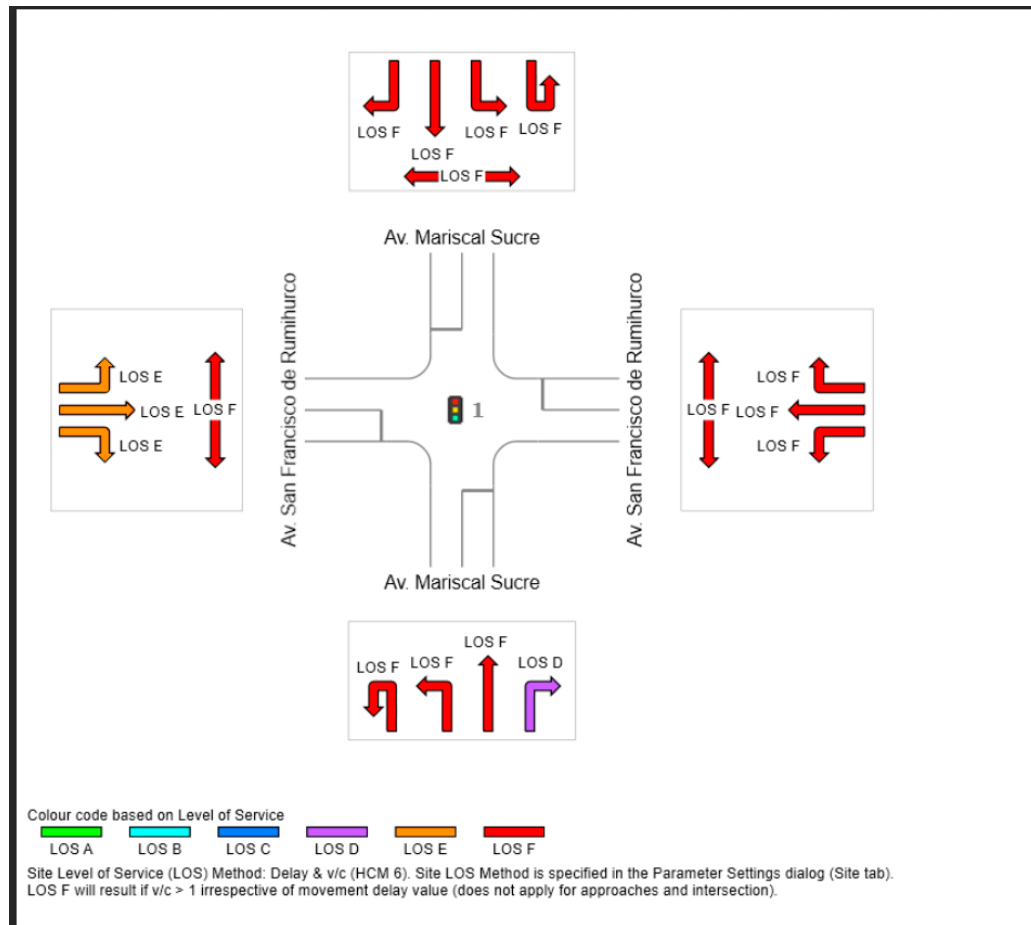


Figura 74. Nivel de servicio obtenido en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

De igual manera se procede a ingresar los datos y parámetros de calibración para el modelo correspondiente al horario de 18:00 a 20:00 donde se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 75 y 76.

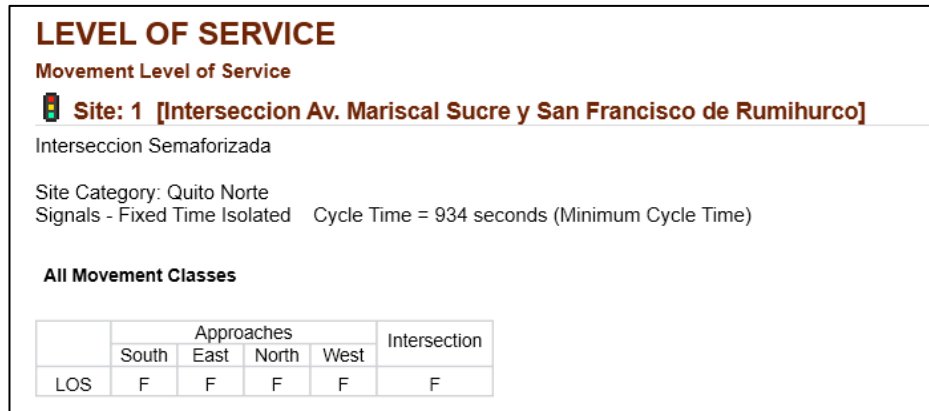


Figura 75. Resultado de la simulación en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

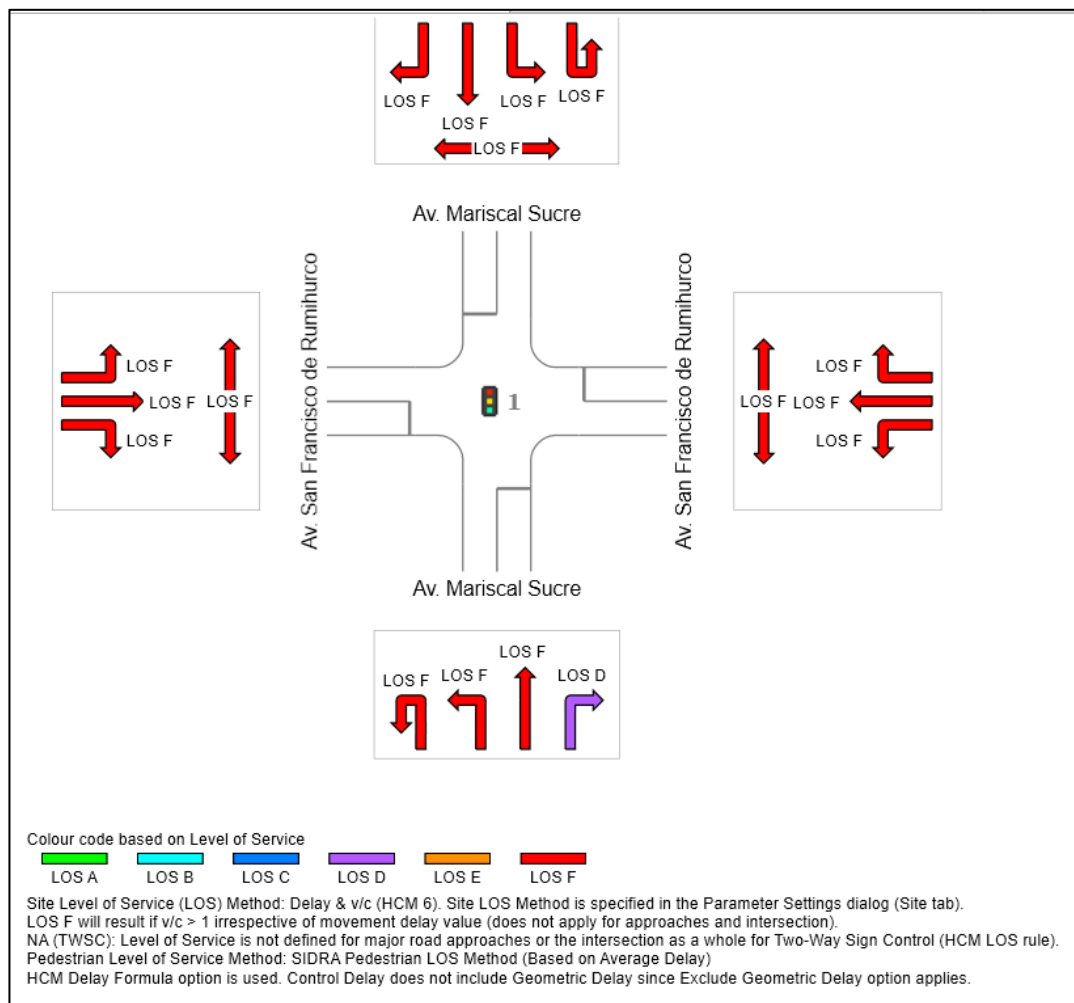


Figura 76. Resultado de la simulación en el software Sidra Intersection. Tomando de: Sidra Intersection

El nivel de servicio en la avenida San Francisco de Rumihurco en el sentido Oeste-Este, código (3-7) cambia de nivel E a F debido a que el ciclo total del sistema de semáforos aumenta de 141 segundos a 181 segundos aumentando el tiempo de espera.

4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Tipos de intersecciones propuestas

4.1.1 Intersección de tipo redondel



Figura 77. Simulación de la intersección entre las Avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco. Realizado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

La AASHTO realiza un cuestionamiento acerca de la implementación de redondeles (ver figura 77) para tránsitos vehiculares inferiores a 500 vehículos por hora, o cuando se superan los 5000 vehículos por hora debido a que podrían no operar satisfactoriamente, en el caso de la intersección entre las Avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco se puede evidenciar que los volúmenes de tráfico se encuentran dentro del rango propuesto por la AASHTO. Dadas las condiciones geométricas de la intersección y cumpliendo satisfactoriamente con los volúmenes de tráfico se considera implementar un redondel que ayude a mitigar los conflictos de tránsito vehicular existente en la intersección mencionada.

4.1.1.1 Resultados obtenidos en la Simulación

4.1.1.1.1 Tiempo de Circulación

Vehicle Travel Time Results							
Count	4	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	1	0-3600	1: Mariscal Sucre (5-1)	202	109,02	280,57	
2	1	0-3600	2: Mariscal Sucre (1-5)	261	34,23	436,62	
3	1	0-3600	3: Rumihurco (3-7)	6	356,39	914,24	
4	1	0-3600	4: Rumihurco (7-3)	16	53,88	227,02	

Figura 78. Tiempo de circulación para la simulación. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.1.1.2 Resultados de Longitud de Cola

Queue Results							
Count	4	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
1	1	0-3600	1: Mariscal Sucre (5-1)	114,58	201,29	685	
2	1	0-3600	2: Mariscal Sucre (1-5)	71,51	218,91	342	
3	1	0-3600	3: Rumihurco (7-3)	63,72	127,36	41	
4	1	0-3600	4: Rumihurco (3-7)	23,70	77,30	42	

Figura 79. Resultados de longitud de cola. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.1.1.3 Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible

Node Results				
Count: 26	Movement	EmissionsCO	EmissionsNOx	FuelConsumption
1	1: INTER ROTONDA -...			
2	1: INTER ROTONDA -...	37,163	7,231	0,532
3	1: INTER ROTONDA -...	1031,188	200,632	14,752
4	1: INTER ROTONDA -...	0,989	0,192	0,014
5	1: INTER ROTONDA -...	4,713	0,917	0,067
6	1: INTER ROTONDA -...			
7	1: INTER ROTONDA -...	12,263	2,386	0,175
8	1: INTER ROTONDA -...	6,261	1,218	0,090
9	1: INTER ROTONDA -...	179,686	34,960	2,571
10	1: INTER ROTONDA -...	21,245	4,133	0,304
11	1: INTER ROTONDA -...			
12	1: INTER ROTONDA -...	11,295	2,198	0,162
13	1: INTER ROTONDA -...	15,981	3,109	0,229
14	1: INTER ROTONDA -...	5,508	1,072	0,079
15	1: INTER ROTONDA -...			
16	1: INTER ROTONDA -...			
17	1: INTER ROTONDA -...			
18	1: INTER ROTONDA -...			
19	1: INTER ROTONDA -...	16,298	3,171	0,233
20	1: INTER ROTONDA -...	20,663	4,020	0,296
21	1: INTER ROTONDA -...			
22	1: INTER ROTONDA -...			
23	1: INTER ROTONDA -...			
24	1: INTER ROTONDA -...			
25	1: INTER ROTONDA -...			
26	1: INTER ROTONDA	1331,071	258,978	19,042

Figura 80. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible.

Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.1.1.4 Nivel de servicio


LEVEL OF SERVICE					
Movement Level of Service					
 Site: 1 [REDONDEL MARISCAL SUCRE Y RUMIHURCO]					
Roundabout with 2 & 3-lane approaches and circulating road					
MUTCD (FHWA 2009) example number: 3C-10					
Roundabout Guide (TRB 2010) example number: A-11					
Site Category: (None)					
Roundabout					
All Movement Classes					
	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
LOS	E	E	D	F	E

Figura 81. Nivel de Servicio del redondel de la Mariscal Sucre y Rumihurco. Realizado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

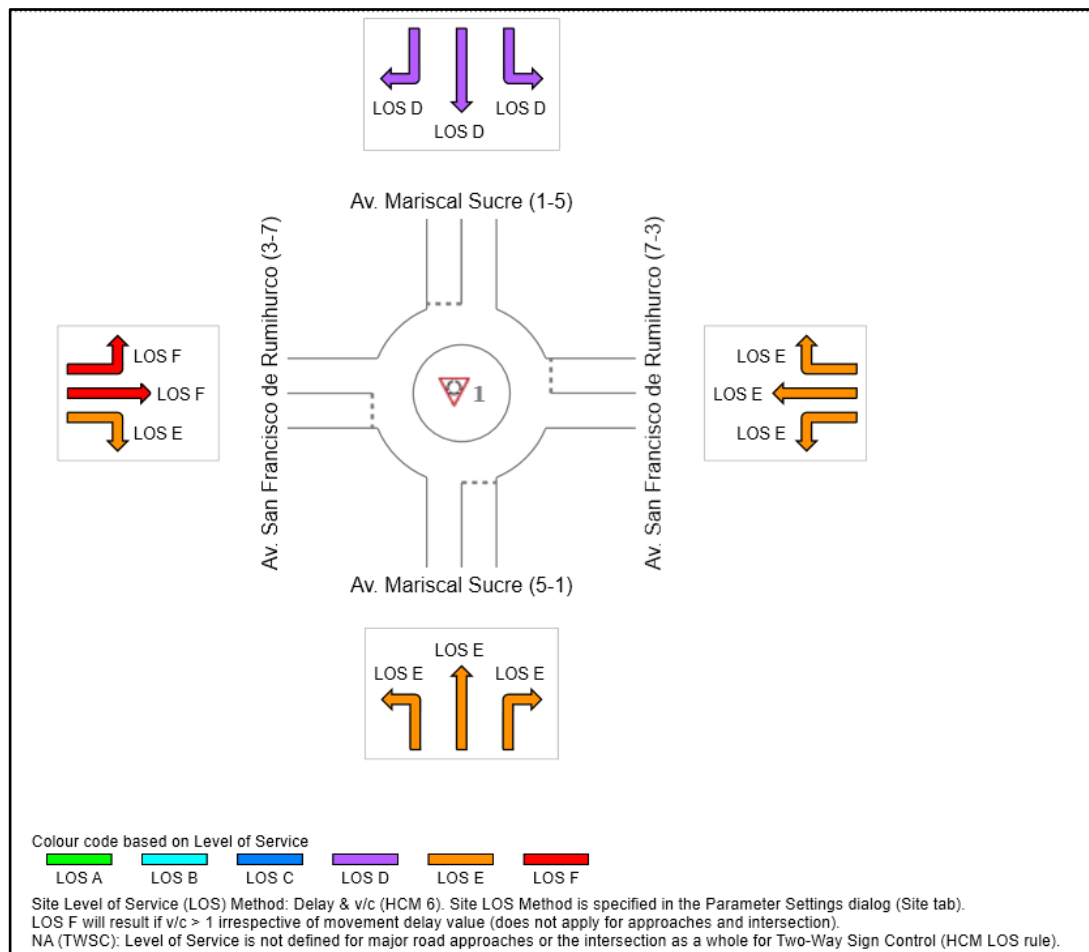


Figura 82. Resultado de la simulación tipo redondel en el software Sidra Intersection. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.2 Intersección tipo paso inferior o deprimido semaforzado



Figura 83. Intersección tipo paso inferior avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco. Realizado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco se forma un cruce el mismo que posee un alto TPDA, para mantener un tránsito fluido, constante y seguro se debe eliminar las interferencias al flujo vehicular causadas por los diferentes movimientos y giros que se producen en la intersección. Por lo cual se plantea la implementación de un intercambiador de tráfico a desnivel.

La propuesta de un intercambiador de tráfico en la intersección mencionada tiene por objetivo permitir el paso de los flujos vehiculares de forma consecutiva y agilizada sin disminuir la velocidad y sin perder tiempo en las colas de tráfico.

Se sabe que las intersecciones a desnivel solucionan de manera satisfactoria la mayoría de problemas en las intersecciones, pero su alto costo de construcción limita su uso en la magnitud que sería aconsejable (Guavita et al., 2016, p. 8). Para justificar la propuesta de la implementación de un intercambiador en la intersección de estudio se tiene indicadores que muestran si es conveniente la solución propuesta. El indicador más efectivo según la Norma de Diseño de Carreteras del Ministerio de transporte y Obras Públicas del Ecuador es el volumen de tránsito sea al de menos 4000 vehículos, es decir en el que la sumatoria de los volúmenes de tránsito pertenecientes a cada posible giro y movimiento en la intersección sea correspondiente a la trigésima hora (Ministerio de Obras Públicas, 2013, p. 160).

4.1.2.1 Resultados obtenidos en la Simulación

4.1.2.1.1 Tiempo de Circulación

Vehicle Travel Time Results						
Count	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	1	0-3600	1: Tiempo (5-1)	372	41,25	584,51
2	1	0-3600	2: Tiempo (5-7)	4	26,71	287,91
3	1	0-3600	3: Tiempo (5-3)	7	49,07	298,10
4	1	0-3600	4: Tiempo (1-5)	262	42,57	613,29
5	1	0-3600	5: Tiempo (1-7)	3	68,18	513,23
6	1	0-3600	6: Tiempo (1-3)	7	33,23	476,75
7	1	0-3600	7: Tiempo (3-7)	59	52,16	650,64
8	1	0-3600	8: Tiempo (3-5)	50	63,96	734,19
9	1	0-3600	9: Tiempo (3-1)	43	60,01	831,49
10	1	0-3600	10: Tiempo (7-1)	9	64,51	642,60
11	1	0-3600	11: Tiempo (7-3)	19	44,60	444,93
12	1	0-3600	12: Tiempo (7-5)	5	68,23	549,38

Figura 84. Tiempo de circulación. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.2.1.2 Resultados de Longitud de Cola

Queue Results						
Count	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
1	1	0-3600	1: Longitud de cola Mariscal Sucre (5-1)	0,00	0,00	0
2	1	0-3600	2: Longitud de cola Mariscal Sucre (1-5)	0,00	0,00	0
3	1	0-3600	3: Longitud de cola San Francisco de Rumihurco (3-7)	5,60	31,39	50
4	1	0-3600	4: Longitud de cola San Francisco de Rumihurco (7-3)	2,98	21,91	17

Figura 85. Resultados de longitud de cola. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.2.1.3 Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible

Node Results						
Count	TimeInt	Movement	Vehs(All)	EmissionsCO	EmissionsNOx	FuelConsumption
1	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 1: A...	4	2,311	0,450	0,033
2	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 1: A...	7	8,590	1,671	0,123
3	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 1: A...	370	306,028	59,542	4,378
4	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 2: A...	4	6,522	1,269	0,093
5	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 2: A...	262	239,707	46,638	3,429
6	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 3: A...	59	61,378	11,942	0,878
7	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 3: A...	43	51,048	9,932	0,730
8	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 3: A...	50	82,134	15,980	1,175
9	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 4: A...	19	22,309	4,341	0,319
10	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 4: A...	9	14,503	2,822	0,207
11	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 4: A...	5	9,360	1,821	0,134
12	0-3600	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco	832	779,425	151,648	11,151

Figura 86. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustibles. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.2.1.4 Nivel de servicio

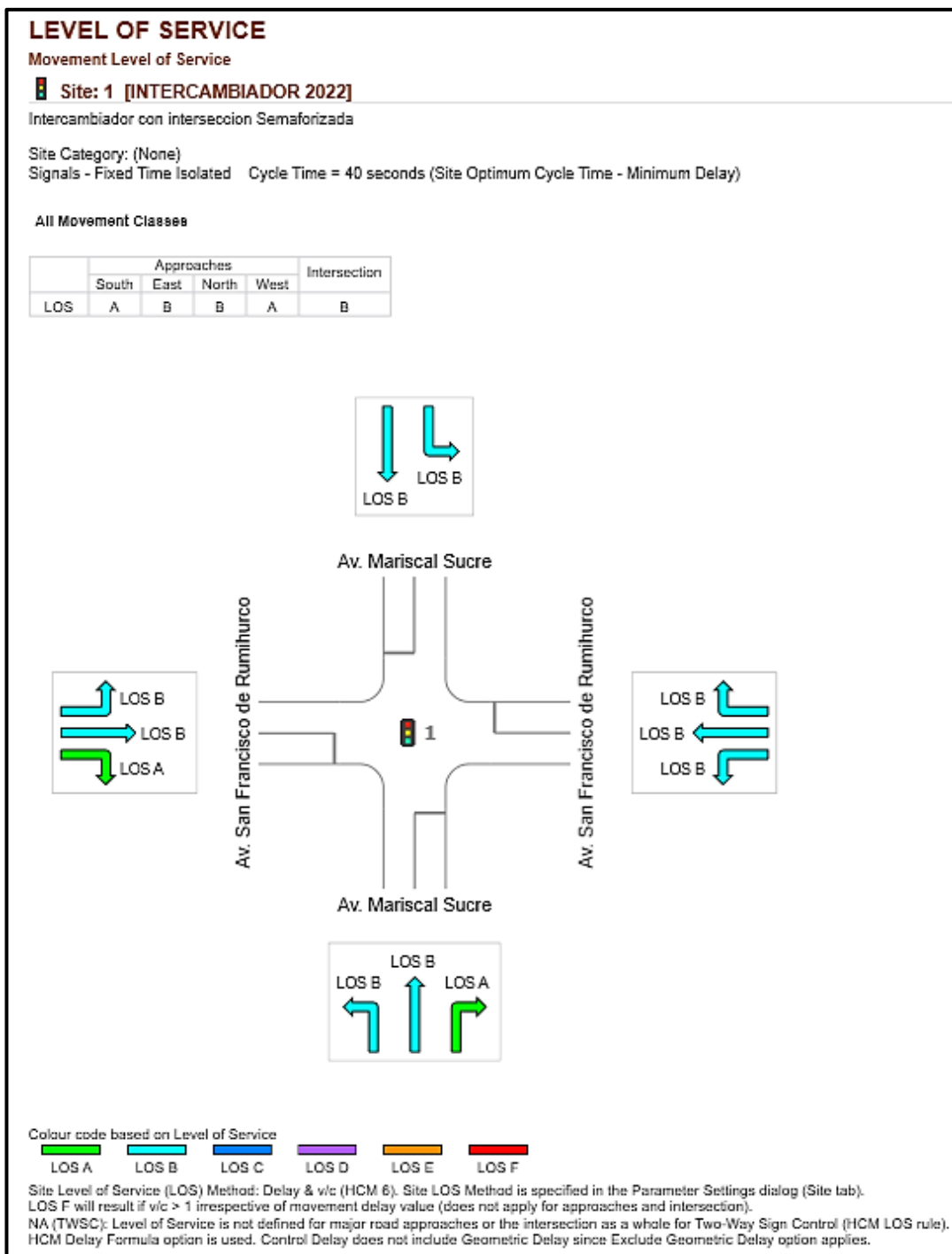


Figura 87. Resultado de la simulación tipo redondel en el software Sidra Intersection. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.3 Intersección tipo paso inferior con rotonda



Figura 88. Intersección tipo paso inferior. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Existen otros tipos de intercambiadores en cuanto a su geometría, por ejemplo, los intercambiadores con rotonda a nivel. Estos tipos de intercambiadores permiten una buena interacción de los vehículos permitiendo un flujo continuo en el paso inferior o desnivel, y a nivel una rotonda que interactúa con los diferentes giros permitidos en la intersección (Melián, 2021, p. 2).

Factores que se tomaron en cuenta para la implementación de la rotonda

- Correcta separación entre conexiones
- Continuidad de circulación del tránsito
- Se verificó la ubicación de la rotonda en función de la topografía
- Volúmenes de tránsito

Para conseguir una correcta continuidad en el flujo vehicular, así como una óptima separación entre conexiones se implementaron carriles de aceleración para incorporarse a la avenida Mariscal Sucre.

4.1.3.1 Resultados obtenidos en la Simulación

4.1.3.1.1 Tiempo de Circulación

Vehicle Travel Time Results						
Count: 11	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	1	0-3600	1: Tiempo (5-1)	372	41,07	583,62
2	1	0-3600	2: Tiempo (5-7)	5	26,80	285,25
3	1	0-3600	3: Tiempo (5-3)	7	37,47	340,79
4	1	0-3600	4: Tiempo (1-5)	265	42,61	613,29
5	1	0-3600	5: Tiempo (1-7)	5	42,13	560,87
6	1	0-3600	6: Tiempo (1-3)	3	35,25	476,75
7	1	0-3600	7: Tiempo (3-7)	62	43,05	661,45
8	1	0-3600	8: Tiempo (3-5)	57	50,91	740,02
9	1	0-3600	10: Tiempo (7-1)	7	54,91	766,02
10	1	0-3600	11: Tiempo (7-3)	18	30,94	452,06
11	1	0-3600	12: Tiempo (7-5)	8	41,04	587,10

Figura 89. Tiempo de circulación. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.3.1.2 Resultados de Longitud de Cola

Queue Results						
Count: 4	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
1	1	0-3600	1: Longitud de cola Mariscal Sucre (5-1)	0,00	0,00	0
2	1	0-3600	2: Longitud de cola Mariscal Sucre (1-5)	0,00	0,00	0
3	1	0-3600	3: Longitud de cola San Francisco de Rumihurco (3-7)	1,37	39,94	14
4	1	0-3600	4: Longitud de cola San Francisco de Rumihurco (7-3)	0,06	6,95	1

Figura 90. Resultados de longitud de cola. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.3.1.3 Emissiones de gases contaminantes y consumo de combustible

Node Results						
Count: 19	Movement	TimeInt	LOS(All)	EmissionsCO	EmissionsNOx	FuelConsumption
1	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 1: A...	0-3600	LOS_A	4,625	0,900	0,066
2	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 1: A...	0-3600	LOS_B	7,629	1,484	0,109
3	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 1: A...	0-3600	LOS_A	305,796	59,497	4,375
4	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 1: A...	0-3600	LOS_A			
5	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 1: A...	0-3600	LOS_A			
6	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 2: A...	0-3600	LOS_A	3,940	0,767	0,056
7	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 2: A...	0-3600	LOS_A			
8	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 2: A...	0-3600	LOS_A	246,188	47,899	3,522
9	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 2: A...	0-3600	LOS_A			
10	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 2: A...	0-3600	LOS_A			
11	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 3: A...	0-3600	LOS_A	34,773	6,766	0,497
12	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 3: A...	0-3600	LOS_A			
13	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 3: A...	0-3600	LOS_B	45,394	8,832	0,649
14	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 3: A...	0-3600	LOS_A	47,077	9,159	0,673
15	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 4: A...	0-3600	LOS_A			
16	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 4: A...	0-3600	LOS_A	12,878	2,506	0,184
17	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 4: A...	0-3600	LOS_A	10,857	2,112	0,155
18	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco - 4: A...	0-3600	LOS_A	7,869	1,531	0,113
19	1: Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco	0-3600	LOS_A	716,544	139,413	10,251

Figura 91. Emissiones de gases contaminantes y consumo de combustibles. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.1.3.1.4 Nivel de servicio

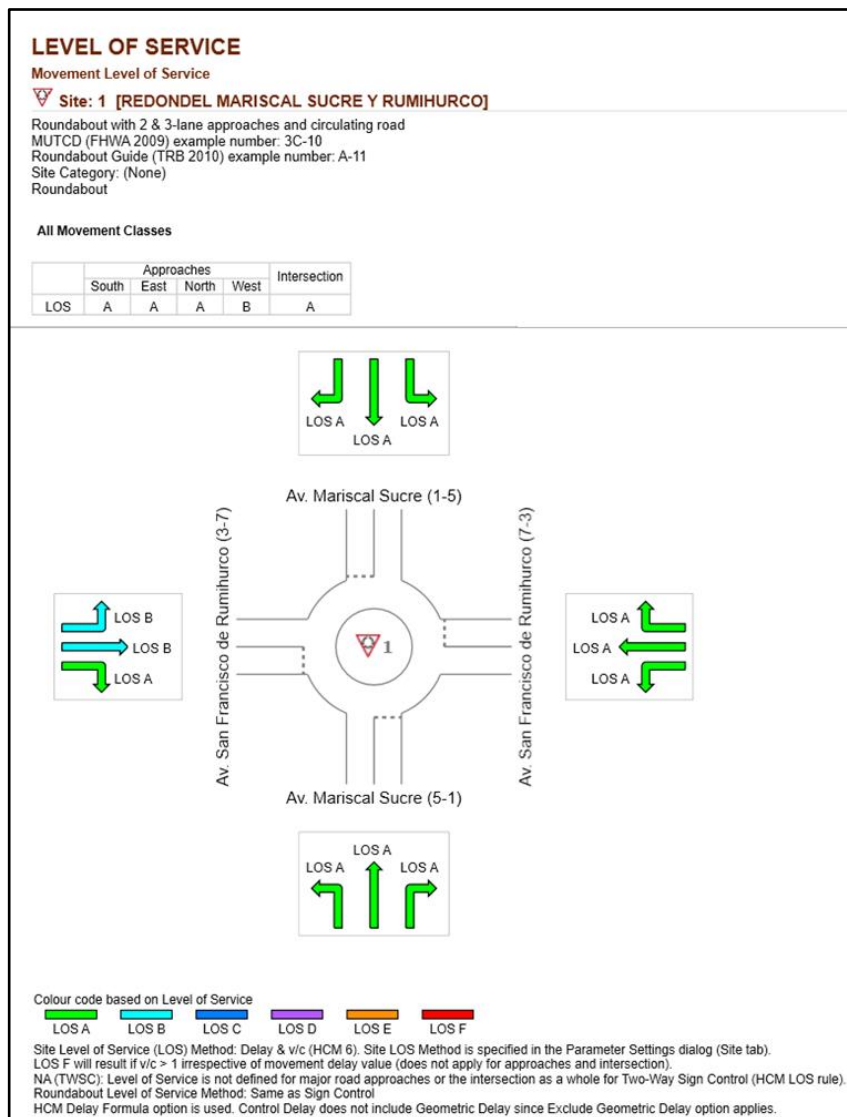


Figura 92. Resultado de la simulación tipo redondel en el software Sidra Intersection. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

4.2 Análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones

Tabla 39. Cuadro comparativo de los resultados de los diferentes tipos de intersección

Tipo de intersección	Hora pico	Nivel de servicio	Tiempo de circulación [s]	Longitud de cola [m]	Emisión CO [gr]	Emisión NOx [gr]	Consumo de combustible [gal]
Intersección semaforizada (actualidad)	07:00 - 09:00	F	2758,59	1672	1588,85	309,13	22,73
	18:00 - 20:00	F	3146,59	1502	1566,58	304,80	22,41
Intersección tipo Rotonda	07:00 - 09:00	E	553,52	624,86	1331,07	258,978	19,04
Intersección tipo paso inferior semaforizada	07:00 - 09:00	B	180,58	8,58	779,425	151,648	11,15
Intersección tipo paso inferior con rotonda	07:00 - 09:00	A	157,67	1,43	716,54	139,41	10,25

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Para realizar un análisis de los resultados obtenidos se procede a ejecutar un cotejo cuantitativo entre los resultados obtenidos en campo y los entregados por los programas de simulación PTV VISSIM y SIDRA INTERSECTION si se consideran los parámetros de evaluación correspondientes a tiempo de circulación, longitud de cola y nivel de servicio, donde se puede observar que existe similitud entre los mismos.

La intersección entre la avenida Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco está expuesta a un nivel alto de flujo vehicular debido a que diariamente circulan 83000 vehículos compuestos en promedio, por lo que resulta ineficiente controlar la circulación vehicular y peatonal con un sistema de semaforización solamente. Resultado de esto se tiene que actualmente el cruce tiene un nivel de servicio de tipo F.

5 CAPITULO V: ALTERNATIVAS DE SOLUCION AL TRÁFICO EXISTENTE

5.1 Mejora en los ciclos de semáforos

Se sabe que para lograr minimizar las demoras cada fase del semáforo debe contener la máxima cantidad viable de movimientos paralelos. De esta manera se podrá admitir en la intersección un mayor volumen de vehículos.

Se procede a ingresar los datos correspondientes en el programa SIDRA INTERSECTION y se optimizan los ciclos de los diferentes semáforos consecuentes a cada giro.

Cuando se selecciona la opción Tiempo de ciclo óptimo, el programa calculará un tiempo de ciclo que optimiza una medida de rendimiento seleccionada (retraso mínimo predeterminado). La medida de rendimiento utilizada para determinar el tiempo de ciclo óptimo se especifica en el cuadro de diálogo Configuración de parámetros, pestaña Opciones. Cuando se utiliza la opción “Optimum Cycle Time”, el programa determina tiempos verdes que satisfacen el grado práctico de saturación para movimientos críticos para cada tiempo de ciclo durante la búsqueda de un valor óptimo del mismo.

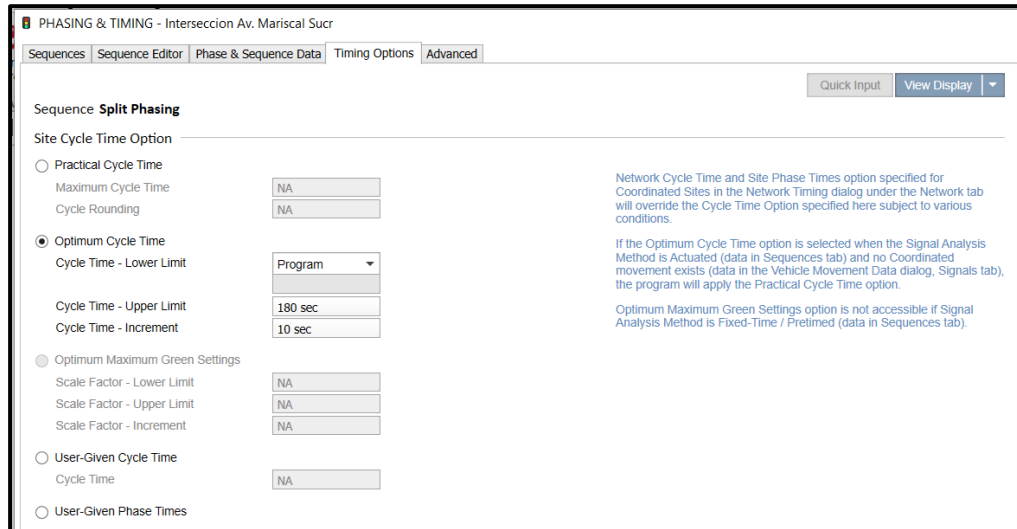


Figura 93. Menú “Phasing & Timing del software Sidra Intersection. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

PHASING SUMMARY

Site: 1 [Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco]

Interseccion Semaforizada

Site Category: Quito Norte
 Signals - Fixed Time Isolated Cycle Time = 934 seconds (Minimum Cycle Time)

Timings based on settings in the Site Phasing & Timing dialog
Phase Times determined by the program
Phase Sequence: Split Phasing
Reference Phase: Phase A
Input Phase Sequence: A, B, C, D
Output Phase Sequence: A, B, C, D

PHASE TIMING SUMMARY

Phase	A	B	C	D
Phase Change Time (sec)	0	292	408	674
Green Time (sec)	18	6	6	6
Phase Time (sec)	128	266	260	280
Phase Split	14 %	28 %	28 %	30 %

See the Phase Information section in the Detailed Output report for more detailed information including input values of Yellow Time and All-Red Time, and information on any adjustments to Intergreen Time, Phase Time and Green Time values in cases of Pedestrian Actuation, Phase Actuation and Phase Frequency values (user-specified or implied) less than 100%.

Figura 94. Resultado de la optimización del ciclo de los semáforos a través del software Sidra Intersección. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

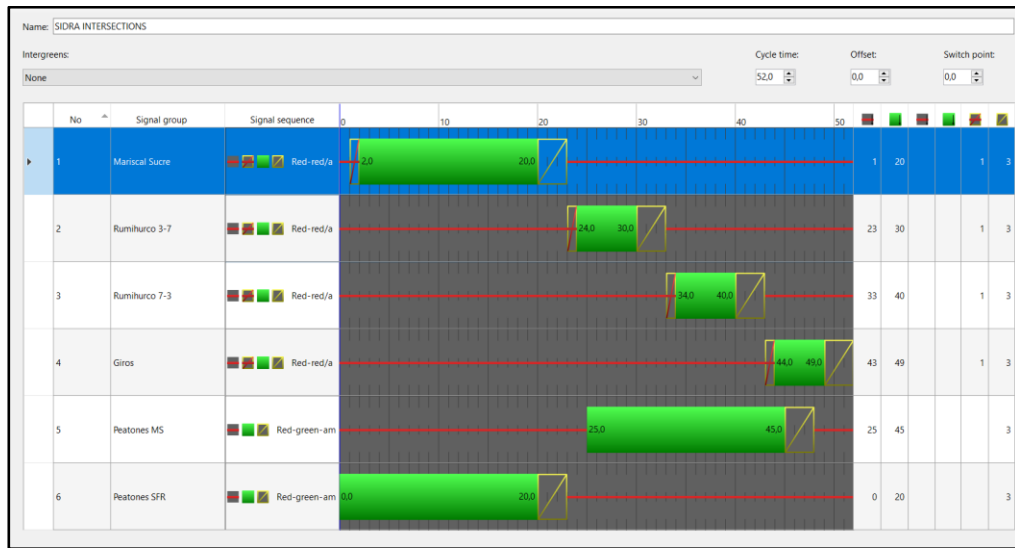


Figura 95. Programación del ciclo de semáforos en el programa PTV VISSIM. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.1.1 Resultados obtenidos en la Simulación

5.1.1.1 Tiempo de Circulación

Vehicle Travel Time Results						
Count	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	1	0-3600	1: Av. Mariscal Sucre (5-1)	2353	365,60	231,45
2	1	0-3600	2: Av. Mariscal Sucre (1-5)	1789	377,66	159,91
3	1	0-3600	3: Av. Rumihurco (3-7)	529	953,12	977,23
4	1	0-3600	4: Av. Rumihurco 7-3	232	1208,89	399,26

Figura 96. Tiempo de circulación. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.1.1.2 Resultados de Longitud de Cola

Queue Results						
Count	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
1	1	0-3600	1: Cola Av. Mariscal Sucre (5-1)	201,53	218,45	182
2	1	0-3600	2: Cola Av. Mariscal Sucre (1-5)	105,18	105,93	391
3	1	0-3600	3: Cola Av. San Francisco de Rumihurco (3-7)	943,61	994,49	830
4	1	0-3600	4: Cola Av. San Francisco de Rumihurco (7-3)	334,80	406,39	290

Figura 97. Resultados de Longitud de Cola. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.1.1.3 Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible

Node Results						
Count	SimRun	TimeInt	Movement	EmissionsCO	EmissionsNOx	FuelConsumption
1	1	0-3600	1: Interse ...	403,464	78,499	5,772
2	1	0-3600	1: Interse ...	5,818	1,132	0,083
3	1	0-3600	1: Interse ...	8,284	1,612	0,119
4	1	0-3600	1: Interse ...	264,621	51,486	3,786
5	1	0-3600	1: Interse ...	5,589	1,087	0,080
6	1	0-3600	1: Interse ...	12,521	2,436	0,179
7	1	0-3600	1: Interse ...	5,780	1,124	0,083
8	1	0-3600	1: Interse ...	12,119	2,358	0,173
9	1	0-3600	1: Interse ...	65,835	12,809	0,942
10	1	0-3600	1: Interse ...	137,170	26,688	1,962
11	1	0-3600	1: Interse ...	204,438	39,776	2,925
12	1	0-3600	1: Interse ...	213,955	41,628	3,061
13	1	0-3600	1: Interse ...			
14	1	0-3600	1: Interse ...	21,050	4,096	0,301
15	1	0-3600	1: Interse ...	1410,036	274,342	20,172

Figura 98. Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible.

Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.1.1.4 Nivel de servicio

LEVEL OF SERVICE					
Movement Level of Service					
 Site: 1 [Interseccion Av. Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco]					
Interseccion Semaforizada					
Site Category: Quito Norte					
Signals - Fixed Time Isolated Cycle Time = 934 seconds (Minimum Cycle Time)					
All Movement Classes					
	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
LOS	F	F	F	F	F

Figura 99. Nivel de servicio. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

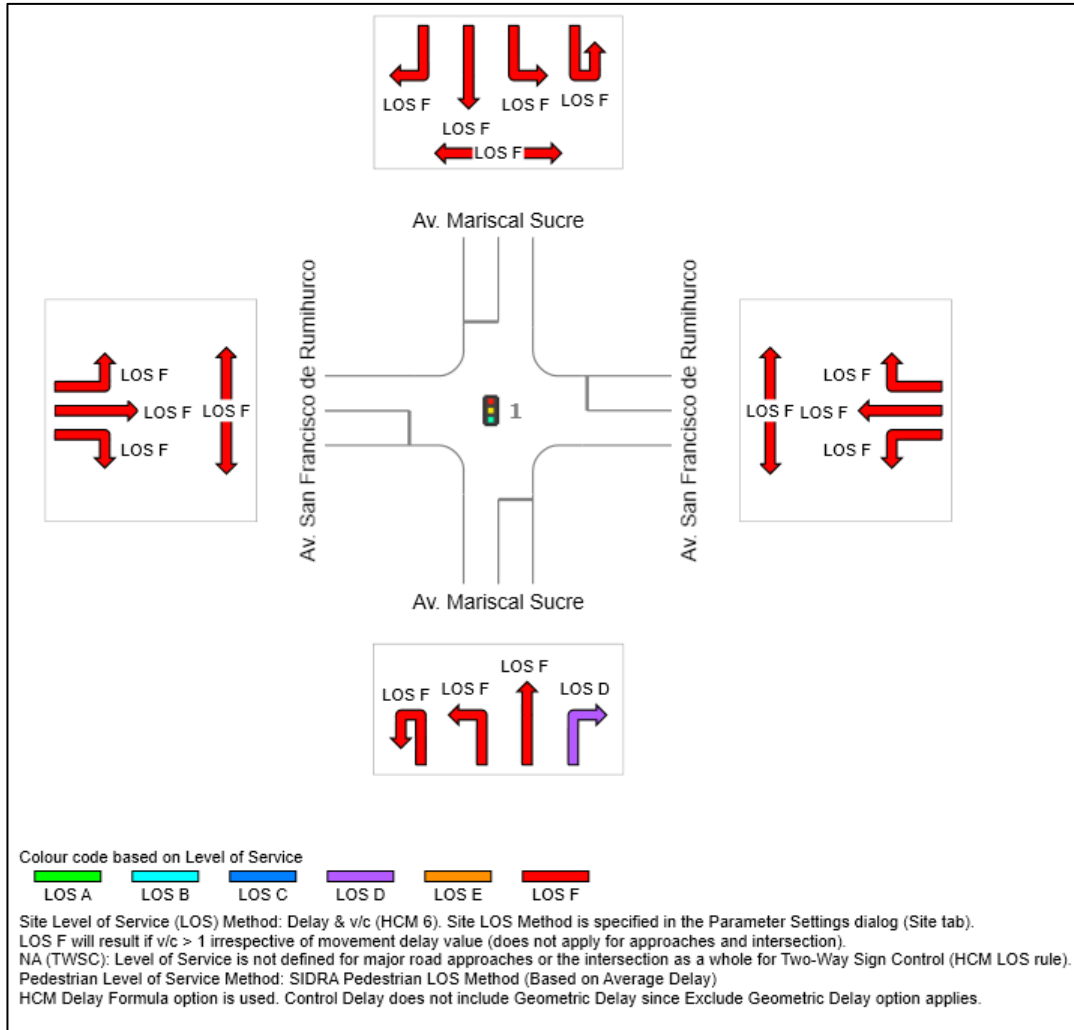


Figura 100. Resultado de la simulación tipo redondel en el software Sidra Intersection. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel.

Tabla 40. Resultados de la intersección

Tipo de intersección	Año	Nivel de servicio	Tiempo de circulación [s]	Longitud de cola [m]	Emisión CO [gr]	Emisión (NOx) [gr]	Consumo de combustible [gal]
Intersección semaforizada (situación actual)	2021	F	2758,59	1672	1588,85	309,13	22,73
Mejora de ciclos de semáforo	2021	F	2905,27	1585,12	1410,036	274,34	20,17

Nota: Fuente: Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

No se realiza la modelación de esta solución para el año 2041 ya que el nivel de servicio es F por el volumen de tráfico existente.

5.2 Implementación de una rotonda en la intersección

Se sabe que la implementación de la rotonda permitió un flujo de tránsito continuo y que el nivel de servicio mejoró de F a E para las condiciones actuales, sin embargo, es necesario evaluar el modelo para una proyección en el futuro.

5.2.1 Resultados obtenidos en la Simulación

5.2.1.1 Tiempo de Circulación para el año 2041

Vehicle Travel Time Results						
Count: 4	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	1	0-3600	1: Mariscal Sucre (5-1)	255	125,84	280,57
2	1	0-3600	2: Mariscal Sucre (1-5)	169	157,58	436,91
3	1	0-3600	3: Rumihurco (3-7)	13	342,55	914,90
4	1	0-3600	4: Rumihurco (7-3)	1	249,88	226,88

Figura 101. Tiempo de circulación para el año 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.2.1.2 Resultados de Longitud de Cola para el año 2041

Queue Results						
Count: 4	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
1	1	0-3600	1: Mariscal Sucre (5-1)	148,84	198,84	1185
2	1	0-3600	2: Mariscal Sucre (1-5)	220,16	376,32	1155
3	1	0-3600	3: Rumihurco (7-3)	101,77	127,38	21
4	1	0-3600	4: Rumihurco (3-7)	205,24	510,21	248

Figura 102. Longitud de cola para 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.2.1.3 Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible para el año 2041

Node Results						
Count: 26	SimRun	TimeInt	Movement	EmissionsCO	EmissionsNOx	FuelConsumption
1	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 1: Maris...			
2	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 1: Maris...	35,080	6,825	0,502
3	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 1: Maris...	1414,841	275,277	20,241
4	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 1: Maris...	3,336	0,649	0,048
5	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 1: Maris...	9,565	1,861	0,137
6	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 2: Maris...			
7	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 2: Maris...	19,362	3,767	0,277
8	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 2: Maris...	7,844	1,526	0,112
9	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 2: Maris...	1360,451	264,694	19,463
10	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 2: Maris...	32,625	6,348	0,467
11	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 3: RUMI...			
12	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 3: RUMI...	6,671	1,298	0,095
13	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 3: RUMI...			
14	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 3: RUMI...			
15	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 3: RUMI...			
16	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 5: RUMI...			
17	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 5: RUMI...			
18	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 5: RUMI...	6,560	1,276	0,094
19	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 5: RUMI...	81,737	15,903	1,169
20	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 5: RUMI...	68,693	13,365	0,983
21	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 10: Mari...			
22	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 10: Mari...			
23	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 10: Mari...			
24	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 10: Mari...			
25	1	0-3600	1: INTER ROTONDA - 10: Mari...			
26	1	0-3600	1: INTER ROTONDA	3210,063	624,562	45,924

Figura 103. Emisiones de gases contaminantes para el año 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.2.1.4 Nivel de servicio para el año 2041

LEVEL OF SERVICE					
Movement Level of Service					
Site: 1 [REDONDEL MARISCAL SUCRE Y RUMIHURCO] Roundabout with 2 & 3-lane approaches and circulating road MUTCD (FHWA 2009) example number: 3C-10 Roundabout Guide (TRB 2010) example number: A-11 Site Category: (None) Roundabout					
All Movement Classes					
	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
LOS	F	F	F	F	F

Figura 104. Nivel de servicio para el año 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

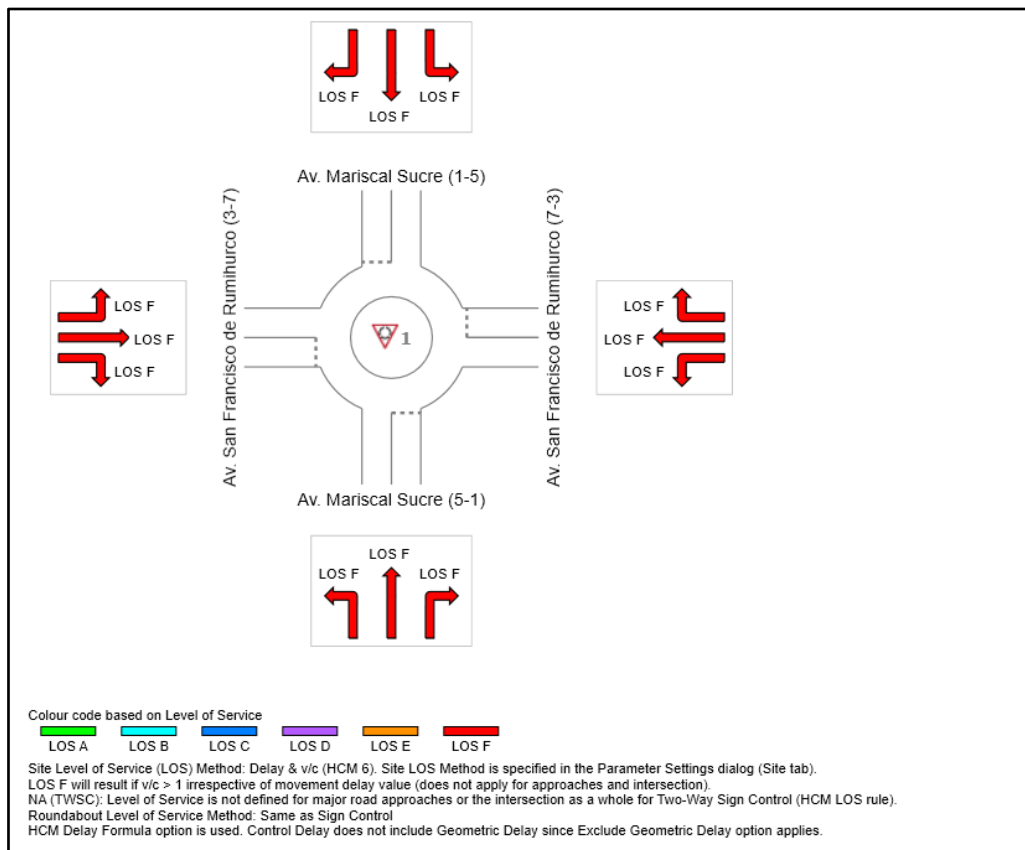


Figura 105. Resultado de la simulación tipo redondel para una proyección de tráfico al año 2041 en el software Sidra Intersection. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 41. Resultados de la intersección

Tipo de intersección	Año	Nivel de servicio	Tiempo de circulación [s]	Longitud de cola [m]	Emisiones (CO) [gr]	Emisiones (NOx) [gr]	Consumo de combustible [gal]
Intersección tipo Rotonda	2021	E	553,52	624,86	1331,07	258,978	19,04
Intersección tipo Rotonda	2041	F	875,85	675,38	3210,063	624,562	45,92

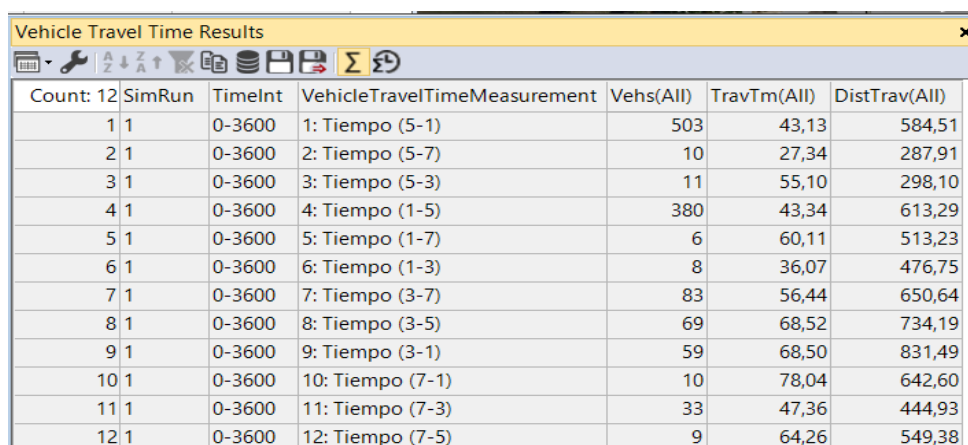
Nota: Fuente: Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

5.3 Paso inferior o deprimido

La implementación de un paso inferior en la intersección entre las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco ofrece un nivel de servicio del tipo A, debido a que tiene una mayor capacidad para recibir volúmenes de tráfico, pero es necesario evaluar para un horizonte futuro de al menos 20 años.

5.3.1 Resultados obtenidos en la Simulación

5.3.1.1 Tiempo de Circulación para el año 2041



Count	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	1	0-3600	1: Tiempo (5-1)	503	43,13	584,51
2	1	0-3600	2: Tiempo (5-7)	10	27,34	287,91
3	1	0-3600	3: Tiempo (5-3)	11	55,10	298,10
4	1	0-3600	4: Tiempo (1-5)	380	43,34	613,29
5	1	0-3600	5: Tiempo (1-7)	6	60,11	513,23
6	1	0-3600	6: Tiempo (1-3)	8	36,07	476,75
7	1	0-3600	7: Tiempo (3-7)	83	56,44	650,64
8	1	0-3600	8: Tiempo (3-5)	69	68,52	734,19
9	1	0-3600	9: Tiempo (3-1)	59	68,50	831,49
10	1	0-3600	10: Tiempo (7-1)	10	78,04	642,60
11	1	0-3600	11: Tiempo (7-3)	33	47,36	444,93
12	1	0-3600	12: Tiempo (7-5)	9	64,26	549,38

Figura 106. Tiempo de circulación para el año 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.3.1.2 Resultados de Longitud de Cola para el año 2041

Queue Results						
Count	SimRun	TimeInt	QueueCounter	QLen	QLenMax	QStops
1	1	0-3600	1	0,00	0,00	0
2	1	0-3600	2	0,00	0,00	0
3	1	0-3600	3	12,98	81,79	84
4	1	0-3600	4	7,06	40,89	34

Figura 107. Resultados de longitud de cola para el año 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.3.1.3 Emisiones de gases contaminantes y consumo de combustible para el año 2041

Node Results						
Count	SimRun	TimeInt	Movement	EmissionsCO	EmissionsNOx	FuelConsumption
1	1	0-3600	1: Interse ...	6,697	1,303	0,096
2	1	0-3600	1: Interse ...	17,969	3,496	0,257
3	1	0-3600	1: Interse ...	426,206	82,924	6,097
4	1	0-3600	1: Interse ...	7,806	1,519	0,112
5	1	0-3600	1: Interse ...	351,719	68,432	5,032
6	1	0-3600	1: Interse ...	100,242	19,503	1,434
7	1	0-3600	1: Interse ...	87,360	16,997	1,250
8	1	0-3600	1: Interse ...	126,207	24,555	1,806
9	1	0-3600	1: Interse ...	40,646	7,908	0,581
10	1	0-3600	1: Interse ...	21,136	4,112	0,302
11	1	0-3600	1: Interse ...	18,634	3,625	0,267
12	1	0-3600	1: Interse ...	1163,943	226,461	16,652

Figura 108. Contaminantes para el año 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

5.3.1.4 Nivel de servicio para el año 2041

Movement Level of Service					
Site: 1 [INTERCAMBIADOR 2041]					
Intercambiador con interseccion Semaforizada					
Site Category: (None)					
Signals - Fixed Time Isolated Cycle Time = 80 seconds (Site Optimum Cycle Time - Minimum Delay)					
All Movement Classes					
	Approaches				Intersection
	South	East	North	West	
LOS	D	D	D	C	D

Figura 109. Nivel de Servicio para el año 2041. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

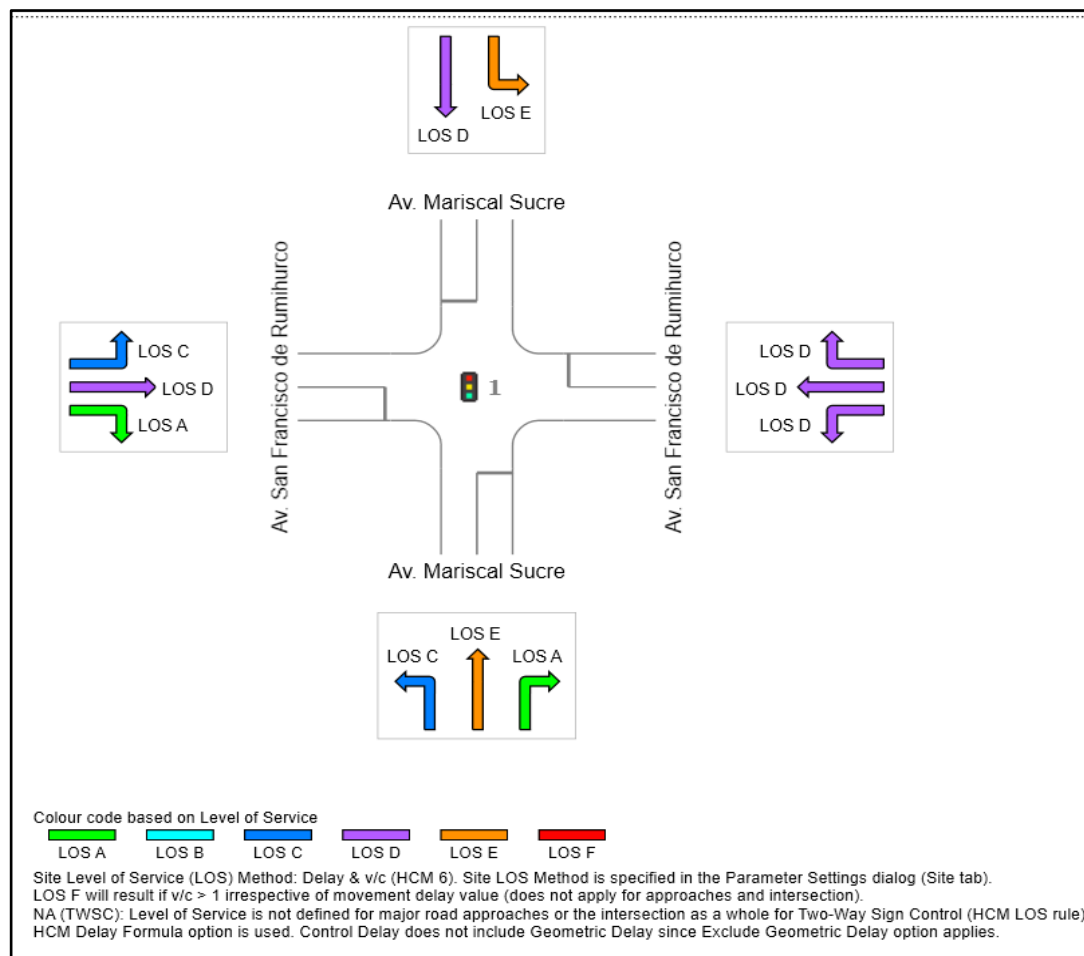


Figura 110. Resultado de la simulación tipo redondel para una proyección de tráfico al año 2041 en el software Sidra Intersection. Elaborado por: José Jaramillo y Ángel Espinel

Tabla 42. Resultados de la intersección

Tipo de intersección	Año	Nivel de servicio	Tiempo de circulación [s]	Longitud de cola [m]	Emisión (CO) [gr]	Emisión (NOx) [gr]	Consumo de combustible [gal]
Intersección tipo paso inferior Semaforizada	2021	B	180,58	8,58	779,425	151,648	11,15
Intersección tipo paso inferior Semaforizada	2041	D	190,27	20,4	1163,94	226,461	16,65

Nota: Fuente: Elaborado por José Jaramillo y Ángel Espinel

6 CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Al efectuar el estudio y la construcción del modelo de flujo vehicular en el software PTV VISSIM se puede evidenciar que en las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco la demanda de vehículos es superior a la capacidad actual de la infraestructura (oferta), por lo que el flujo es forzado generándose colas y demoras en la circulación
- Al efectuar las simulaciones del tráfico multimodal en el software VISSIM, se pudo obtener resultados muy relevantes que se utilizaron para descartar posibles soluciones como fue el caso de mejorar la eficiencia de los ciclos de los sistemas de control (semáforos). Provocando la búsqueda de un enfoque diferente en las nuevas alternativas de solución que mediante la creación de modelos de flujo vehicular se pudo demostrar que la cuarta alternativa (Paso inferior o deprimido con rotonda) ofrece un nivel de servicio A que equivale a excelente.
- Al tener una demanda vehicular mayor a la oferta vial en las avenidas Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco se procedió a calcular el nivel de servicio para el volumen de tráfico actual (2021), y siguiendo el procedimiento propuesto por el HCM 2010 se obtuvo que la intersección ofrece un nivel de servicio F.
- Una vez ejecutada la auditoría vial sobre las calles se pudo visualizar que en la Av. San Francisco de Rumihurco se presentan varios problemas en la estructura del pavimento, donde se evidencia la presencia de grietas, baches y zonas con fallas del tipo piel de cocodrilo, posiblemente provocadas por la ausencia de mantenimientos preventivos en vía, lo que ocasiona que los usuarios circulen a una rapidez muy inferior a la de diseño generando demoras en la circulación. En los sistemas de drenaje también se puede observar una

falta de mantenimiento ya que varias alcantarillas estaban obstruidas con desechos sólidos lo que genera daños a las estructuras del pavimento. Otro factor que genera congestión vehicular es la falta de mantenimiento en la señalización, por la ausencia de las líneas longitudinales divisorias de carril en algunos tramos, ya que crea confusión en los usuarios viales.

- La creación de una rotonda en el cruce de las avenidas genera una circulación más fluida y continua no obstante el volumen vehicular en promedio es de 5600 [Veh/h] en horas pico, lo que podría causar una saturación y demoras en la rotonda. Sin embargo, en los resultados de la modelación en el software PTV VISSIM se obtiene mejores resultados en cuanto a Nivel de servicio, longitudes de cola y tiempo de circulación si se los compara con el sistema de semáforos que funcionan en la actualidad.
- Las emisiones de gases contaminantes están relacionadas fuertemente con el volumen de tráfico que se moviliza por la intersección y el tiempo que les toma a los vehículos atravesar la misma.

TIPO DE INTERSECCION	AÑO	NIVEL DE SERVICIO	TIEMPO DE CIRCULACION [s]	EMISIONES (CO) [gr]	EMISIONES (NOx) [gr]
Intersección semaforizada (situación actual)	2021	F	2758,59	1588,85	309,13
Intersección tipo Rotonda	2021	E	553,52	1331,07	258,978
Intersección tipo paso inferior Semaforizada	2021	B	180,58	779,425	151,648
Intersección tipo paso inferior con Rotonda	2021	A	157,67	716,54	139,41

Si se suman las emanaciones de óxido de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) se tiene que actualmente se produce 1897,98 [gr] y si se

compara con las emisiones de la intersección tipo paso inferior con rotonda que suman 855,95[gr] se puede concluir que se reduce un 45% las emisiones contaminantes para el medio ambiente.

- Al mejorar las condiciones de circulación implementando el paso inferior a desnivel con rotonda (alternativa 4) para los diferentes giros se disminuye las demoras y con esto el tiempo de viaje de los automóviles disminuyendo el uso de combustible de 22,73 a 10,25 galones US en la hora de máxima demanda si se lo compara con el estado actual de la intersección.

TIPO DE INTERSECCION	AÑO	NIVEL DE SERVICIO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE [gal]
Intersección semaforizada (situación actual)	2021	F	22,73
Intersección tipo Rotonda	2021	E	19,04
Intersección tipo paso inferior Semaforizada	2021	B	11,15
Intersección tipo paso inferior con Rotonda	2021	A	10,25

6.2 RECOMENDACIONES

- Una vez realizado el diagnóstico y análisis de resultados se puede recomendar la construcción de un paso inferior con rotonda a nivel (alternativa 4) ya que ofrece a los conductores un excelente nivel de servicio, una disminución de emisiones contaminantes, así también un bajo consumo de combustibles.
- Es necesario realizar de manera urgente mantenimientos en los sistemas de drenaje y en la parte estructural del pavimento de la Av. San Francisco de Rumihurco ya que el mal estado de la vía acrecienta el riesgo de accidentes de tránsito, así como daños a los vehículos de los usuarios.

- De manera complementaria para la construcción del paso inferior es necesaria la construcción de un paso peatonal elevado sobre la avenida Mariscal Sucre para brindar un óptimo nivel de servicio, así como seguridad a los peatones.
- Es necesario considerar la construcción de otras vías de acceso para los barrios ubicados al noroccidente de Quito ya que las únicas vías de acceso para los barrios Colinas del norte, Pisulí, Jaime Roldós, Rancho Bajo, Tiwintza, La Paz, Consejo Provincial, Catzuquí de Velasco, Catzuquí de Moncayo, La Planada y Caminos a la Libertad son la calle Catón Cárdenas y la Avenida San Francisco de Rumihurco.

BIBLIOGRAFIA

- Agosta, R., González, R., & Vergara, M. (2019). Experiencia de aplicación de modelos de transporte: simulación de tránsito urbano. *Universidad Católica de Argentina*. <https://www.acyaglobal.com/wp/wp-content/uploads/2019/01/15.pdf>
- Bouhaloufa, A., Zellat, K., & Kadri, T. (2018). La evaluación probabilística del Flujo de Tráfico y Seguridad de Puentes. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(2). <https://doi.org/10.4067/s0718-50732018000200147>
- Bullough, J. (2016). «*Road Lighting*». *Encyclopedia of Color Science and Technology*.
- Cabeza Quintero, G., Leyva Vázquez, M., & Córdova Rizo, F. (2018). Evaluación Tráfico vehicular para conocer Nivel de Servicio de Avenida Francisco de Orellana, Ciudad Guayaquil. *Science and Research*, 3(ICCE), 69–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3issICCE2018.2018pp84-89p>
- Cabrera Montes, F., Cortez Vélez, M., Flor Chávez, G., Marca Zuñiga, M., Stay Coello, D., & Yáñez Escobar, A. (2019). *Análisis del Nivel de Servicio en la Avenida Pedro J. Menéndez Gilbert al estar operativo un Nuevo Puente sobre el rio Daule*. <https://doi.org/10.18687/laccei2019.1.1.376>
- Cal, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones* (9na ed.). Alfaomega Colombiana S.A.
- Camargo, S., & Sanchez, L. (2007). Modelación con software PTV VISSIM del plan de manejo de tráfico del proyecto de transporte masivo en Cartagena. *Fase I Tramo Amparo-Cuatro*.
- Cerquera, F. Á. (2007). Capacidad Y Niveles De Servicio De La Infraestructura Vial. In *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*.
- Chasiluisa, L. (2015). *Propuesta del rediseño geométrico del intercambiador de tránsito en las avenidas Mariscal Sucre y Mariana de Jesús* [Universidad Internacional del Ecuador]. <https://1library.co/document/yng1m30z-propuesta-redisen-geometrico-intercambiador-transito-avenidas-mariscal-mariana.html>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2002). *Hacia la reducción de la congestión vehicular: la CEPAL contribuye con nuevos talleres*. CEPAL.

<https://www.cepal.org/es/publicaciones/36111-la-reduccion-la-congestion-vehicular-la-cepal-contribuye-nuevos-talleres>

De Solminihac, H., Eechhaveguren, T., & Chamorro, A. (2019). Gestión de estructura vial. In *Gestión Esctructural Vial*. <https://doi.org/10.2307/j.ctvkjb4dw>

Elescano, A. (2019). *Capacidad Vial Y Niveles De Servicio Del Cruce De La Av. Néstor Gambeta Con Av. Atalaya* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60151>

Expreso. (2022). *El mal estado de las calles causa malestar a conductores y residentes de un barrio del sur*. <https://www.expreso.ec/guayaquil/mal-calles-causa-malestar-conductores-residentes-barrio-sur-119322.html>

Guamán, D. (2016). *Diagnóstico del problema de congestión vehicular en el intercambiador Fernández Salvador: intersección AV. Mariscal Sucre, AV. Fernández Salvador y calle Melchor de Valdéz* [Pontífica Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12455>

Guavita, C., López, L., & Garzón, N. (2016). Capacidad en intersecciones a desnivel para zonas urbanas: un estado del arte. *Ingeniería Gran Colombiana*. https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4981/Capacidad_intersecciones_desnivel_zonas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Instituto Nacional de Vías. (2020). *Manual de capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles*. Universidad del Cauca.

La Hora. (2022). *Pocas opciones de movilidad en Quito*. <https://www.lahora.com.ec/pais/quito-movilidad-problemas/>

León, V. (2018). *Evaluación y diagnóstico de accidentalidad, aplicado a la seguridad vial del corredor de la AV. Simón Boliva, tramo autopista general Rumiñahui –intersección ruta viva* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <https://docplayer.es/123123116-Universidad-de-las-fuerza-armadas-espe-trabajo-de-titulacion-previo-a-la-obtencion-del-titulo-de-ingeniero-civil.html>

Maquera Cruz, P. V., & Cabrera Zuñiga, L. A. (2020). Evaluación del nivel de servicio de flujos vehiculares, en dos intersecciones semaforizadas caso: Alto Alianza – Tacna. *REVISTA VERITAS ET SCIENTIA - UPT*, 8(2). <https://doi.org/10.47796/ves.v8i2.139>

- Melián, J. (2021). Rotondas cerradas mejoran la Seguridad Vial. *Asociación Nacional de Consumidores Por La Seguridad Vial*, 26. <https://www.ancosev.org/rotondas-cerradas-mejoran-la-seguridad/>
- Ministerio de Obras Públicas. (2013). *MTOP, NEVI 12 – Norma Para estudios y Diseños Viales Volumen 2*. Subsecretaria de Infraestructura del Transporte.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carrteras*. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3580.pdf
- Morales, H. (2006). *Ingeniería vial I* (Búho (ed.)).
- Moyano, C. (2017). *Estimación de la contaminación del aire generada por efecto de la circulación vehicular motorizada en la A. 10 de Agosto de la Ciudad de Cuenca-Ecuador, usando la herramienta de microsimulación de tránsito Aimsun 8.1* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7226/1/13172.pdf>
- Mozo, J. (2011). "Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MathCad" [Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3541577>
- Municipio de Quito. (2012). *Plan Metropolitano de Desarrollo*. TORRES & CORDERO IMPRESORA. https://www.quito.gob.ec/documents/Plan_Metropolitano_desarrollo_2012-2022.pdf
- Municipio de Quito. (2021). *Quito tendrá 830,96 millones de presupuesto para el 2022*. <http://www.quitoinforma.gob.ec/2021/12/07/quito-tendra-83096-millones-de-presupuesto-para-el-2022/>
- PTV GROUP. (n.d.). *Was ist Personenströmsimulation?* <https://www.PTVGROUP.com/de/loesungen/produkte/PTV-VISWALK/>
- PTV GROUP. (2015). *PTV VISSIM 10 User Manual*. PTV AG. <https://usermanual.wiki/Document/VISSIM20102020Manual.1098038624.pdf>
- PTV GROUP. (2022). *PTV VISSIM*. <https://www.PTVGROUP.com/es/soluciones/productos/PTV-VISSIM-nuevo/>
- Rivera, A., Cabezas, F., & Miranda, S. (2021). Siniestrabilidad en Av. Mariscal Sucre u

Occidental. *Buen Viaje*. <https://revistabuenviaje.mas.ec/siniestrabilidad-en-av-mariscal-sucre-u-occidental/>

Ruíz Morillas, E. (2020). Estadística aplicada a experimentos y mediciones. *Diaz de Santos*.

Seer, S., Rudloff, C., Matyus, T., & Brändle, N. (2014). Validating social force based models with comprehensive real world motion data. *Transportation Research Procedia*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.080>

Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). *Norma Técnica Ecuatoriana*. INEN. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/NTE-INEN-2248-ESTACIONAMIENTOS.pdf>

Transportation Research Board. (1994). *Highway Capacity Manual (HCM)*. The National Academies Press.

Transportation Research Board. (2000). Manual de Capacidad de Carreteras. *McTrans*.

Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manage*. The National Academies Press.

Transportation Research Board. (2016). *Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis* (T. N. A. Press (ed.); 6th ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.17226/24798>

Vázquez, L. (2018). Más accidentes se registraron en la Mariscal Sucre en 2018. *El Comercio*.

Vega, Z. (2018). *Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional* [Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1834/TESIS_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y

