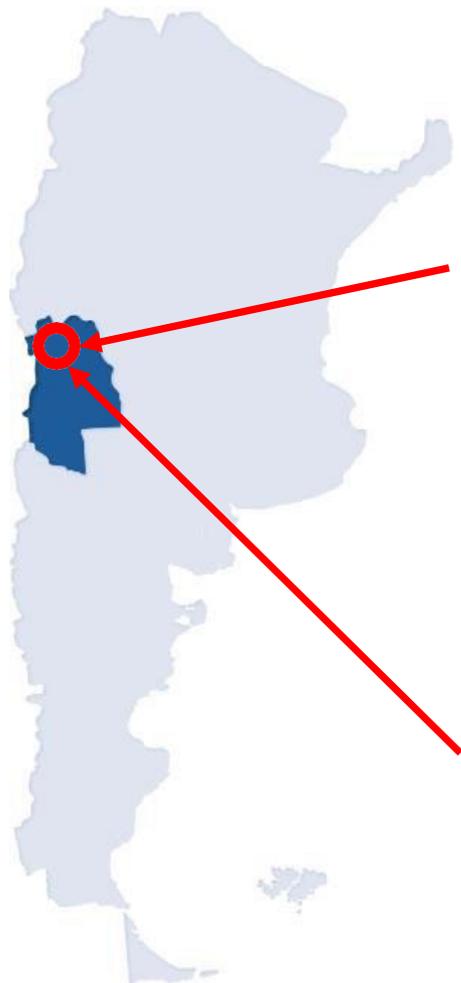


MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL

**RESOLUCIÓN INTEGRAL DE NUDO
VIAL EMBLEMÁTICO DE MENDOZA**



AUTOR: ING. FACUNDO SEBASTIÁN ROSALES

DIRECTOR: MG. ING. OMAR VALDIVIA

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA DEL AUTOR

Les agradezco y dedico a mi familia y a mi esposa por su paciencia y apoyo incondicional en el proceso y desarrollo de esta tesis y cursado de la Maestría, a mi Director de Tesis Mg. Ing. Omar Valdivia por sus aportes y experiencia. Al Dr. Ing. Esteban Anzoise quien me acompañó e incentivó en la última etapa de redacción de esta Tesis. A mis amigos, docentes, colegas y compañeros de trabajo, y al Mg. Ing. Edgardo Espinoza al cual considero un referente tanto en lo profesional como en lo personal.

RESUMEN

Existe una ausencia de estudios académicos longitudinales a nivel regional y provincial de la relación entre la demanda de transporte y la capacidad vial de la calle / camino / intersección y el nivel de congestión del tránsito en intersecciones viales. En particular existe una ausencia de estudios académicos de dicha relación en intersecciones viales ubicadas en zonas industriales en la provincia de Mendoza, Argentina.

Este trabajo busca evaluar la diferencia en el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales bajo estudio, generada por el diseño vial basado en paradigmas actuales o tradicionales y el diseño vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial.

El presente estudio, de tipo descriptivo, experimental, vía simulación, identificará los factores que determinan la demanda de transporte y la capacidad vial de la calle / camino / intersección con el nivel de congestión del tránsito en el análisis del caso particular de la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña en la provincia de Mendoza, Argentina.

Como principales conclusiones se halla que el análisis de los resultados hallados muestra que el nivel de congestión de tránsito en la Red de Intersecciones resultante de un diseño vial integral presenta diferencia respecto del nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional. Así también el análisis de los resultados proyectados al año 2037 muestra que el nivel de congestión de tránsito en la intersección resultante de un diseño vial integral sigue siendo menor respecto del nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional.

El presente trabajo resuelve un problema de diseño vial, generando una solución que reduciría el nivel de congestión de una problemática identificada y no resuelta, entre tres reparticiones (Municipal, Provincial y Nacional) desde el año 2011 dentro de la Provincia de Mendoza.

La Metodología de análisis aplicada marca lineamientos o pautas para resolver futuras problemáticas viales similares.

INDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	20
1.1 EL PROBLEMA DE CONGESTION DE TRÁNSITO EN VÍAS URBANAS.	21
1.2 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	22
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
1.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
1.5 PLANTEO DE LA HIPÓTESIS	25
1.6 ANÁLISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS	26
1.7 IMPACTO ESPERADO DEL PRESENTE TRABAJO	27
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO	28
2.1 INTRODUCCIÓN	28
2.2 EL SISTEMA DE TRANSPORTE	28
2.2.1 EL SISTEMA DE TRANSPORTE Y EL PARADIGMA DE MOVILIDAD.	29
2.2.2 EL SISTEMA DE TRANSPORTE Y EL CAMBIO EN EL PARADIGMA DE SEGURIDAD VIAL	31
2.3 LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.....	32
2.3.1 IMPACTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL	33
2.3.2 IMPACTO DE LOS MEDIOS DE TRANSPORTE.....	33
2.3.3 TRÁNSITO.....	34
2.4 LA INGENIERÍA DEL TRÁNSITO Y LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE	35
2.4.1 CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO COMO MEDIDA DEL IMPACTO EN EL DISEÑO VIAL.....	38
2.4.2 LA PLANIFICACIÓN Y LA GESTIÓN DEL TRÁNSITO.....	39
2.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO	41

2.5 CONGESTION DE TRÁNSITO EN VÍAS URBANAS.....	41
2.5.1 DISEÑO GEOMÉTRICO Y CAPACIDAD VIAL	45
2.5.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO Y CAPACIDAD VIAL ...	48
2.6 ESTUDIOS DE TRÁNSITO	50
2.6.1 MODELACIÓN DE TRÁNSITO.....	51
2.6.2 CLASIFICACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN.....	52
2.7 ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROYECTOS VIALES.....	52
2.7.1 CATEGORÍAS DE COSTOS DE VEHÍCULOS	53
2.7.2 LA BASE ECONÓMICA DEL ANÁLISIS DE BENEFICIOS PARA USUARIOS DE CARRETERAS	54
2.8 EL CASO DE LAS INTERSECCIONES VIALES	55
2.9 FORMULACION Y FUNDAMENTACION DEL PROBLEMA A INVESTIGAR	61
CAPITULO 3: METODOLOGÍA.....	65
3.1 INTRODUCCIÓN.....	65
3.2 OBJETIVOS	65
3.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	65
3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	66
3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN	66
3.4 PLANTEO DE LA HIPÓTESIS	66
3.5 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	67
3.5.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES	67
3.5.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	68
3.6 USO DE HDM-VOC.....	70
3.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	71
3.7.1 ETAPAS DEL ESTUDIO	75

3.7.2 VALIDEZ METODOLÓGICA DEL DISEÑO	76
3.7.3 VALIDEZ DE LOS CONSTRUCTOS OPERACIONALES	77
3.7.4 VALIDEZ INTERNA.....	78
3.7.5 VALIDEZ EXTERNA.....	78
CAPITULO 4: ANALISIS DE DATOS	79
4.1 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO Y ANALISIS DE USUARIOS DE LA RED DE INTERSECCIONES.	79
4.1.1 ESTUDIO DE FLUJO VEHICULAR	79
4.1.2 AJUSTES DE TRÁNSITO VEHICULAR ACTUAL	88
4.1.3 ESTUDIO DE CIRCULACIÓN DE PEATONES Y CICLISTAS	96
4.2 PROGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRÁNSITO UTILIZADO	102
4.2.1 Datos de input del programa	103
4.2.2 Ajuste y calibración del modelo.....	103
4.3 ANTECEDENTES DE PROPUESTAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	104
4.4 PROPUESTA DE CARRIL DE ACELERACIÓN Y ENTRECruzAMIENTO EN RODRIGUEZ PEÑA	111
1.1 Recomendaciones de AASHTO.....	113
4.4.2 Análisis de entrecruzamiento según HCM2000	114
4.5 ESCENARIOS PROPUESTOS PARA LA MODELACIÓN DE TRÁNSITO	
122	
4.5.1 SITUACIÓN ACTUAL (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017).....	124
4.5.2 SITUACIÓN ACTUAL (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037).....	127
4.5.3 PROYECTO ROTONDA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017) ..	129
4.5.4 PROYECTO ROTONDA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037) ..	133
4.5.5 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017).....	134
4.5.6 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA (con flujo	

vehicular proyectado a dic. de 2037).....	136
4.5.7 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur) E INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017).....	137
4.5.8 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur) E INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037).....	141
4.5.9 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur), INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA Y 3° CARRIL EN CALLE INDEPENDENCIA NORTE Y SUR (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017).....	143
4.5.10 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur), INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA Y 3° CARRIL EN CALLE INDEPENDENCIA NORTE Y SUR (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037).....	145
CAPITULO 5: RESULTADOS Y CONCLUSIONES	148
5.1 CONCLUSIONES DE ANÁLISIS DE LA RED DE INTERSECCIONES....	148
5.1.1 ASPECTOS REFERIDOS AL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	170
5.1.1.1 RULO DE BAJADA ACCESO SUR.....	170
5.1.1.2 COLOCACIÓN DE DEFENSA RIGIDA TIPO NEW JERSEY EN RODRIGUEZ PEÑA.....	174
5.1.1.3 CICLOVÍA	174
5.1.2 MEJORAS EN ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EXISTENTE	176
5.1.2.1 ESTUDIO DE SUELO	177
5.1.3 APERTURA DE CALLE LAS MARGARITAS	179

5.1.4	PROPUESTAS PARA CRUCES PEATONALES Y CICLISTAS	182
5.1.5	PASARELA PARA CRUCE DE PEATONES Y CICLISTAS	184
5.1.6	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DRENAJE	186
5.1.7	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	186
5.2	CONCLUSIONES FINALES	187
	APENDICE 1: NIVEL DE SERVICIO EN CALLES URBANAS Y CAPACIDAD EN ENTRECruzAMIENTOS	191
	APENDICE 2: VOLUMEN, VELOCIDAD, DENSIDAD	196
	APENDICE 3: FLUJOS Y CARACTERISTICAS DEL TRÁNSITO	202
	APENDICE 4: INTERSECCIONES	209
	APENDICE 5: CONGESTION VEHICULAR EN INTERSECCIONES	212
	APENDICE 6: CLASIFICACION DE VIAS	221
	APENDICE 7: CENSOS DE TRÁNSITO Y ESTUDIOS DE VELOCIDAD	227
	APENDICE 8: PLANIFICACIÓN	231
	APENDICE 9: SEMÁFOROS	237
	APENDICE 10: SEÑALIZACIÓN	242
	APENDICE 11: SATISFACCIÓN DE MODELOS DE TRÁNSITO	246
	APENDICE 12: CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN	248
	APENDICE 13: HDM-VOC	251
	APENDICE 14: CÁLCULO ESTRUCTURAL DE TRAMO DE RED VIAL EN ESTUDIO	262
	ANEXO A: Planillas para Censos	273
	BIBLIOGRAFÍA	275

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Crecimiento parque automotor Fuente ADEFA.....	89
Tabla 2. Factores de Ajuste Horario (Datos DNV)	91
Tabla 3. Factor de Ajuste Diario (Datos DNV).....	92
Tabla 4. Factor de Ajuste Mensual.....	93
Tabla 5. Valores de constante "k"	96
Tabla 6. Constantes para cálculo de velocidad en cruce en situación de Restringido y No Restringido. Fuente: adaptado de (H. R. Board, 1965)	118
Tabla 7. Número de carriles necesarios para operación no restringida.	118
Tabla 8. Niveles de Servicio en función de la densidad.	119
Tabla 9. Nivel de Servicio.	122
Tabla 10. Resultados Obtenidos SITUACIÓN ACTUAL (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017).....	125
Tabla 11. Resultados Obtenidos SITUACIÓN ACTUAL (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037).....	129
Tabla 12. Resultados Obtenidos PROYECTO ROTONDA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017).....	131
Tabla 13. Resultados Obtenidos PROYECTO ROTONDA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037).....	134
Tabla 14. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)	136
Tabla 15. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)	137
Tabla 16. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur) E INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)	140
Tabla 17. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur) E INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)	142

Tabla 18. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur), INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA Y 3° CARRIL EN CALLE INDEPENDENCIA NORTE Y SUR (con flujo vehicular proyectado a diciembre 2017)	144
Tabla 19. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur), INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA Y 3° CARRIL EN CALLE INDEPENDENCIA NORTE Y SUR (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037).....	145
Tabla 20. Indicadores de congestión para el diseño actual al año 2017 para cada contador	148
Tabla 21. Indicadores de congestión para la Propuesta de Diseño 1 para las condiciones de tráfico al año 2017 para cada contador.	151
Tabla 22. Indicadores de congestión para la Propuesta de Diseño 2 para las condiciones de tráfico al año 2017 para cada contador.	153
Tabla 23. Indicadores de congestión para la Propuesta de Diseño 3 para las condiciones de tráfico al año 2017 para cada contador.	155
Tabla 24. Comparativo de la longitud de cola promedio [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual al 2017	157
Tabla 25. Comparativo de la longitud de cola máxima [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual al 2017.....	158
Tabla 26. Comparativo de la velocidad promedio [km/h] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual al 2017.....	159
Tabla 27. Indicadores de congestión proyectados al año 2037 para el diseño actual para cada contador	162
Tabla 28. Comparativo Actual 2017_2037.....	164
Tabla 29. Comparativo Longitud Cola Promedio año 2037.....	165
Tabla 30. Comparativo Longitud Cola Máxima año 2037	166
Tabla 31. Comparativo Velocidad Promedio año 2037	167
Tabla 32. Criterios de LOS en Intersecciones señalizadas	194
Tabla 33. Adaptado del Manual on Uniform Control Devices, departamento de Transporte de Estados Unidos, Administración federal de carreteras, Washington, D.C, 2000.....	240

Tabla 34. Adaptado del Manual on Uniform Control Devices, departamento de Transporte de Estados Unidos, Administración federal de carreteras, Washington, D.C, 2000.....240

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre variables de estudio.....	24
Figura 2. Cambio en el Paradigma de Movilidad.....	31
Figura 3. Cambio en paradigmas de Movilidad y Seguridad Vial.	37
Figura 4. Modelo de Congestión Vehicular.....	44
Figura 5. Ubicación de Intersección de Departamento de Godoy Cruz.	56
Figura 6. Referencias de Locales y centros de atracción en Zona Industrial Godoy Cruz sobre Carril Rodríguez Peña.	57
Figura 7. Punto de atracción Puerto Seco - Godoy Cruz.....	58
Figura 8. Punto de atracción Mercado Cooperativo de Godoy Cruz.	58
Figura 9. Área de Influencia e Intersecciones en Estudio.	59
Figura 10. Red bajo análisis.	59
Figura 11. Rulo de bajada Nor-Este de Acceso Sur.	60
Figura 12. Intersección Rodríguez Peña y Calle Diamante.....	60
Figura 13. . Intersección Rodríguez Peña y Calle Venezuela.	60
Figura 14. Intersección Rodríguez Peña y Calle Independencia.	61
Figura 15. Relación entre variables de Estudio.	64
Figura 16: Perfil de velocidad ilustrativo del tiempo de viaje.....	69
Figura 17: Diagrama ilustrativo de tiempo de viaje y demoras.....	70
Figura 18. Cámaras de video utilizadas para mediciones de tránsito en la Ciudad de Mendoza 81	81
Figura 19. Planilla con datos de censo obtenidos DPV Rodríguez Peña y Calle Diamante.....	83
Figura 20. Planilla de Censo Intersección Rodríguez Peña y Calle Independencia diciembre 2017 84	84
Figura 21. Planilla de Censo Intersección Rodríguez Peña y Calle Venezuela diciembre 2017 85	85
Figura 22. Movimientos censados en Intersección Rodriguez Peña y Calle Diamante y Lateral Acceso Sur.....	86
Figura 23. Movimientos censados en Intersección Rodríguez Peña y Calle Venezuela 86	86
Figura 24. Movimientos censados en Intersección Rodríguez Peña y Calle Independencia.....	87

Figura 25. Rutas y Movimientos de Red de Intersecciones en estudio	87
Figura 26. Datos de Censo Ruta Nacional N°40 DNV.....	88
Figura 27. Ubicación de Estaciones Permanentes.....	90
Figura 28. Curvas de Variación de Tránsito en ciudades de México.....	95
Figura 29. Ubicación de paradores de Transporte público y de colegio. Fuente: Elaboración propia, imágenes GoogleEarth	97
Figura 30. Ubicación de Estación N°1 y paradores de Transporte público.....	98
Figura 31. Planilla de Conteos correspondiente a Estación N°1.....	98
Figura 32. Planilla de Conteos correspondiente a Estación N°2.....	99
Figura 33. Planilla de Conteos máximos dirección Este-Oeste y Oeste-Este correspondiente a Estación N°1. Fuente: Elaboración propia	100
Figura 34. Planilla de conteos máximos dirección Este-Oeste y Oeste-Este correspondiente a Estación N°2.....	100
Figura 35. Planilla de conteos máximos dirección Norte-Sur y Sur-Norte correspondiente a Estación N°2. Fuente: Elaboración propia	101
Figura 36. Cruces Peatonales a lo largo de Carril Rodríguez Peña.....	102
Figura 37. Siniestros de Tránsito.....	104
Figura 38. Proyecto Municipalidad de Godoy Cruz – DNV.....	105
Figura 39. Expropiación en Calle Las Margaritas.....	106
Figura 40. Propuesta de DNV sobre Calle Diamante.....	107
Figura 41. Propuesta DNV de Apertura de Calles en Barrio TAC.....	108
Figura 42. Propuesta Municipio Godoy Cruz - Reunión de Consorcio Mixto Zona Industrial Mendoza.....	110
Figura 43. Rulo de Bajada con carril de entrecruzamiento insuficiente.....	111
Figura 44. Longitud de entrecruzamiento en intercambiador.....	111
Figura 45. Identificación de Carril para entrecruzamiento.....	112
Figura 46. Longitud máxima posible para el carril en cuestión.....	113
Figura 47. Longitud de Entrecruzamiento según AASHTO.....	113
Figura 48. Longitud de entrecruzamiento de proyecto.....	114
Figura 49. Recomendaciones de Capacidad según AASHTO y HCM.....	115
Figura 50. Tipo de configuración.....	115
Figura 51. Ubicación de contadores de longitudes de Colas máximas.....	124
Figura 52. Intersección Calle Diamante y Rodríguez Peña.....	126
Figura 53. Afectación cola de Carril Rodríguez Peña en Acceso Sur.....	126

Figura 54. Formación de cola en Rulo Nor-Este de Acceso Sur.....	127
Figura 55. Simulación en curso.	127
Figura 56. Proyección de censo Vehicular.	128
Figura 57. Simulación en curso.	129
Figura 58. Proyecto DNV - Municipalidad de Godoy Cruz.....	130
Figura 59. Situación con proyecto – Modelación de Tránsito.....	131
Figura 60. Congestionamientos sobre Rodríguez Peña hacia el Este.....	132
Figura 61. Dimensiones vehículo WB-19.	132
Figura 62. Radios de giro para camión tipo WB-19.....	133
Figura 63. Modelación Situación 2037 con Proyecto Rotonda.	133
Figura 64. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña intersección Calle Diamante.....	135
Figura 65. Conexión entre Calles Diamante y Calle Independencia a través de Calle Las Margaritas.	135
Figura 66. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña, aumento de longitud de.....	138
Figura 67. Calle Venezuela y Calle Independencia Semaforizadas.	139
Figura 68. Ingreso a Calle Venezuela Desde Calle Independencia y Lateral Acceso Sur.....	139
Figura 69. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña, aumento de longitud de Rama de bajada RN N°40 (Acc. Sur), incorporación de 3° carril y apertura Calle Venezuela año 2017.	140
Figura 70. Tránsito que Ingresaba desde Rodríguez Peña hacia Lateral de RN N°40 (Acc. Sur).	141
Figura 71. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña, aumento de longitud de Rama de bajada RN N°40 (Acc. Sur), incorporación de 3ª carril y apertura Calle Venezuela año 2037.	142
Figura 72. Adición de Carril de giro en Calle Independencia.	143
Figura 73. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña, aumento de longitud de Rama de bajada RN N°40 (Acc. Sur), incorporación de 3°Carril y apertura Calle Venezuela + 3°Carril en Calle Independencia año 2017. Fuente: Elaboración propia, imagen Software VISSIM.	144
Figura 74. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña, aumento de longitud de Rama de bajada RN N°40 (Acc. Sur), incorporación de 3°Carril y apertura Calle Venezuela + 3°Carril en Calle Independencia año 2037. Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM	146

Figura 75. Tiempos de semáforos en Intersecciones de Carril Rodríguez Peña con Independencia y Venezuela. Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM	147
Figura 76. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de Cola Máxima resultante Diseño Actual 2017.....	149
Figura 77. Valores de Velocidad Promedio a lo largo de la Red Vial considerada diseño actual 2017.	149
Figura 78. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de Cola Máxima resultante para Propuesta de Diseño 1 al año 2017.	151
Figura 79. Valores de Velocidad Promedio a lo largo de la Red Vial considerada para Propuesta de diseño 1 al año 2017.....	152
Figura 80. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de Cola Máxima resultante para Propuesta de Diseño 2 al año 2017.	153
Figura 81. Valores de Velocidad Promedio a lo largo de la Red Vial considerada para Propuesta de diseño 2 al año 2017.....	154
Figura 82. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de Cola Máxima resultante para Propuesta de Diseño 3 al año 2017.	155
Figura 83. Valores de Velocidad Promedio a lo largo de la Red Vial considerada para Propuesta de diseño 2 al año 2017.....	156
Figura 84. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de cola máxima resultante -Diseño actual proyectado al año 2037.....	163
Figura 85. Valores de velocidad promedio a lo largo de la red vial considerada- Diseño actual proyectado al año 2037.....	163
Figura 86. Longitudes de colas máximas. Situación 2037.	168
Figura 87. Comparación de velocidades medias de marcha en la Red. Situación Año 2037.	168
Figura 88. Planimetría de Rulo de Bajada Acceso Sur.	171
Figura 89. Altimetría Rulo de Bajada.....	172
Figura 90. Perfiles transversales de Rulo de Bajada. Fuente: elaboración propia utilizando Software AutoCAD Civil3d	173
Figura 91. Perfil Tipo Carril Rodríguez Peña con defensa rígida central y protección ciclovía.	174
Figura 92. Ciclovía planteada en Red de Estudio.....	175
Figura 93. Alcantarilla de Cruce en altimetría de Rulo. Fuente Elaboración Propia,	

utilizando Software AutoCAD Civil 3d	175
Figura 94. Ubicación de ciclovía debajo de Puente de Acceso Sur. Fuente: Elaboración propia.....	176
Figura 95. Deterioros en Carril Rodríguez Peña.	176
Figura 96. Resumen de Estudio de Suelo.....	177
Figura 97. Perfil Estructural Carril Rodriguez Peña.....	178
Figura 98. Perfil Estructural Carril de Aceleración Rulo sobre Rodriguez Peña y Rulo de Bajada Acceso Sur. Fuente: Elaboración Propia	178
Figura 99. Perfil Estructural Ciclovía.....	179
Figura 100. Expropiación y continuidad Calle Las Margaritas.....	179
Figura 101. Perfil Tipo Propuesto Calle Las Margaritas.....	180
Figura 102. Intersección Calle Las Margaritas y Calle Diamante.....	180
Figura 103. Verificación de radio de Giro en Calle Diamante.....	181
Figura 104. Verificación de radio de giro en Calle Venezuela.	181
Figura 105. Verificación de radio de giro en Calle Independencia.	181
Figura 106. Propuesta de Mejoras de isletas peatonales.	182
Figura 107. Semáforo con protección al peatón.	183
Figura 108. Barrera para encauce peatonal.	184
Figura 109. Ubicación de Pasarela.	185
Figura 110. Vista Lateral de Pasarela.....	185
Figura 111. Corte y Vista de Pasarela.	186

INDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1. Variación Horaria de Flujo Vehicular en Mendoza	80
Grafico 2. Longitudes de colas máximas. Situación 2017.	160
Grafico 3. Comparación de velocidades medias de marcha en la Red. Situación Año 2017.	160

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Tránsito vehicular urbano.....	34
Imagen 2. Densidad o concentración (Mayor et al., 1994).....	197
Imagen 3. Velocidad vs Densidad (Garber & Hoel, 2002)	198
Imagen 4. Velocidad vs Flujo (Garber & Hoel, 2005)	199
Imagen 5. Flujo vs Densidad (Garber & Hoel, 2005)	201
Imagen 6. Tipos de Intersecciones	209
Imagen 7. Tipos de Intersecciones a Nivel.....	210
Imagen 8. Diferentes Tipos de Distribuidores.....	211
Imagen 9. Puntos de conflictos en Intersecciones.	212
Imagen 10. Elementos de un Área funcional en una Intersección.....	215
Imagen 11. Incongruencia de Señalización Vial.	217
Imagen 12. Comparativa de Accidentes Viales entre Argentina y otros Países.....	218
Imagen 13. Características de la carretera o camino.	253
Imagen 14. Mediciones de IRI para el tramo en estudio.	254
Imagen 15. Tipo de vehículo.	254
Imagen 16. Características estandarizadas del vehículo adoptado.....	255
Imagen 17. Características estandarizadas del vehículo adoptado.....	255
Imagen 18. Datos de utilización de vehículos.	256
Imagen 19. Costos de lubricantes y combustibles.....	257
Imagen 20. Coeficientes Adicionales.	258
Imagen 21. Opciones Adicionales.....	259
Imagen 22. Costo de operación vehicular para velocidad 30Km/h.....	259
Imagen 23. Costo de operación vehicular para velocidad 40Km/h.....	260

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Volumen Horario de Proyecto	95
Ecuación 2. Ecuaciones de Factor de Intensidad de entrecruzamiento W_i y Velocidad de vehículos entrecruzados S_i	117
Ecuación 3. Velocidad en el entrecruzamiento S	118
Ecuación 4. Densidad D	119
Ecuación 5. Cálculo de densidad	196
Ecuación 6. Ec. General del Flujo Vehicular	197
Ecuación 7. Cálculo de la velocidad de acuerdo al modelo Greenshield	198
Ecuación 8. Ecuación que relaciona Velocidad con Densidad.....	199
Ecuación 9. Tasa de flujo de Saturación.....	202
Ecuación 10. Capacidad de acceso vehicular	203
Ecuación 11. Grado de Saturación	203
Ecuación 12. calculo de Demoras de vehículos en acceso o Intersección	204
Ecuación 13. Determinación de la Velocidad Promedio de vehículos.....	230

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La planificación es una de las características esenciales de toda obra de Ingeniería Civil, esta etapa es esencial desarrollarla si se quiere lograr el objetivo de un proyecto.

Nos enfocamos en la inversión a pequeña escala, donde se puede identificar un problema respecto a la planificación de una red viaria, donde se ubican ciertas intersecciones, desde la perspectiva de Gestión Nacional, Provincial y Municipal, que adolecen de un correcto estudio sobre Planificación Urbana que conlleve a un correcto diseño y manejo de las intersecciones, debido a diferentes problemas como pueden ser: fallas en el manejo administrativo, falta de conocimiento sobre análisis del tránsito moderno y/o conocimientos dentro de la ingeniería vial en general, etc.

El Análisis de Intersecciones Viales carece de un estudio Integral desde varios aspectos. Se busca analizar y resolver de manera Integral un Nudo Vial emblemático de la Provincia de Mendoza, compuesto por una Red de Intersecciones, considerando aspectos de Diseño Geométrico, Capacidad Vial, aspectos Económicos y de Seguridad Vial, garantizando una solución integral bajo estos aspectos. De esta manera se establece una Metodología para análisis de Intersecciones ya sea en Etapa de Proyecto como en Etapa de Operación.

La Red Vial de Análisis y Estudio se encuentra en el Departamento de Godoy Cruz, Provincia de Mendoza, Argentina. La ubicación de la misma corresponde a tres jurisdicciones; Nacional (Ruta Nacional N°40, también denominada Acceso Sur), Provincial (Ruta Provincial N°4, también denominada Carril Rodríguez Peña) y Municipal (Calles municipales que forman parte de las Intersecciones restantes de la red).

La Red Vial en Estudio comprende, en definitiva, cuatro Intersecciones las cuales actualmente presentan graves problemas de congestión vehicular y seguridad vial a los distintos usuarios. Los usuarios de autos, bicicletas y peatones de esta red, son los principales interesados y se debe centrar la búsqueda y realización de una mejora en la red, en la medida de lo posible, para cubrir las expectativas de los mismos tanto en la posibilidad de generar un descongestionamiento del tránsito como en seguridad vial.

La presente Tesis está conformada por cinco Capítulos: En el Capítulo uno, se detalla el planteamiento del problema a investigar, el tipo de investigación, Objetivo General y Objetivos Específicos. En el Capítulo dos se desarrolla el Marco Teórico, en donde se definen los conceptos teóricos necesarios para la realización de esta tesis. El Capítulo tres, incluye la Metodología de investigación, se realiza el diagnóstico de la situación actual de la red viaria y el área de influencia, en donde se desarrollará una descripción, diagnóstico actual, con la finalidad de plantear el modelado de la situación actual. En el Capítulo cuatro, se realiza el análisis de datos, se simulan y se desarrollan propuestas de solución para la red viaria y sus intersecciones. En el Capítulo cinco, se analiza y desarrolla la solución elegida en condiciones actuales de tránsito y condición futura, conclusiones.

1.1 EL PROBLEMA DE CONGESTION DE TRÁNSITO EN VÍAS URBANAS

La congestión creciente del tránsito impacta negativamente en el producto resultante del Diseño Vial que debe dar respuesta en forma concurrente a los requerimientos de la provisión de un sistema seguro del tránsito en las carreteras; velocidad adecuada; confort y conveniencia del usuario; economía; impacto ambiental; movilidad y accesibilidad.

Según (CEPAL;GTZ, 2003) la congestión de tránsito ha ido en aumento en gran parte del mundo, desarrollado o no, y todo indica que seguirá agravándose, constituyendo un peligro cierto que se cierne sobre la calidad de vida urbana (movilidad y accesibilidad). Su principal manifestación es la progresiva reducción de las velocidades de circulación, que se traduce en incrementos de tiempos de viaje, de

consumo de combustibles, de otros costos de operación y de contaminación atmosférica, con respecto a un flujo vehicular libre de circulación.

1.2 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los cambios en los sistemas de transporte son impulsados por cambios en otros paradigmas como el concepto de movilidad y el de la seguridad vial, los cuales no deben verse como modelos aislados sino como modelos interactuantes en una sociedad global.

El paradigma de movilidad desarrollado a principios del siglo XX estaba centrado en el uso de combustible fósil de bajo costo, alta generación de dióxido de carbono y la movilidad individual. Entre los impulsores de cambio de este paradigma puede citarse la alta dependencia del petróleo en los países desarrollados y las crisis relacionadas con el mismo en los 70s; y la identificación de los costos externos de la movilidad tales como el efecto del calentamiento global, el impacto del incremento de los accidentes viales y la creciente urbanización con sus problemas derivados (incremento en la congestión del tránsito, sobredemanda de espacios para estacionamiento y uso de las tierras entre otros factores). Esto llevó al surgimiento de regulaciones legislativas del sistema de transporte tanto a nivel local como nacional, regional y global y el desarrollo de la economía de bajo uso del carbón como contrapartida de la creciente conciencia ambientalista de las personas y la pérdida de la significancia del automóvil como símbolo de estatus. Como consecuencia, surge el nuevo paradigma en movilidad caracterizado por el bajo uso del carbón (desarrollo de fuentes alternativas de energía), la eficiencia energética (desarrollo de nuevos materiales y aleaciones), y el desarrollo del transporte intermodal y de nuevos servicios de movilidad.

Así también, la disciplina de la seguridad vial está experimentando un cambio de paradigma: un cambio en cómo se definen los problemas y se evalúan las posibles soluciones, denominado paradigma de seguridad vial.

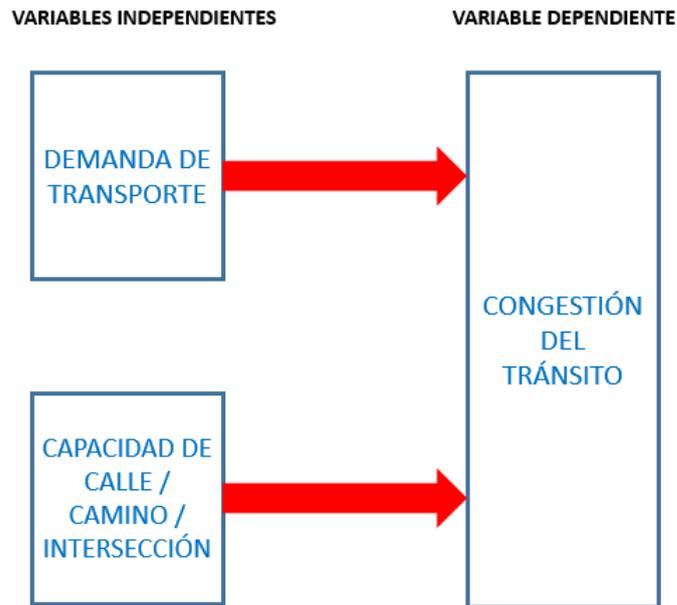
El principal problema que se desarrolla en el presente trabajo de investigación es la Resolución a la inadecuada e intolerable congestión vehicular en un Nudo Vial

compuesto por una red viaria en la que se ubican varias Intersecciones viales urbanas, diseñadas a partir de paradigmas actuales o tradicionales.

Se pretende proponer una solución a un Nudo Vial estableciendo una Metodología que integre varios aspectos de la Ingeniería Vial a partir de nuevos paradigmas; de movilidad y Seguridad Vial.

En el marco de esta investigación, se considera la demanda de transporte como variable independiente, se mide como Cantidad de Vehículos, de igual forma, se considera la capacidad vial de una calle / camino / intersección como segunda variable independiente, esta variable se mide a través del indicador Nivel de Servicio que se define como la calidad del flujo de vehículos que circulan en un punto dado durante un período específico de tiempo. Se considera la congestión del tránsito como variable dependiente, esta variable se mide a través del indicador longitud de colas de vehículos y de la velocidad promedio de circulación en una calle / camino / intersección.

A partir de la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los criterios de diseño que permiten lograr una mejor solución integral en una Red de Intersecciones? El modelo que relaciona las variables se muestra en la Figura 1. Relación entre variables de estudio., y a partir de esta se plantean los objetivos e hipótesis del trabajo de investigación.



*Figura 1. Relación entre variables de estudio.
Fuente: Elaboración Propia*

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la diferencia en el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales bajo estudio, generada por el diseño vial basado en paradigmas actuales o tradicionales y el diseño vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el nivel de demanda de transporte alcanzado en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña.
2. Evaluar la capacidad vial de la calle / camino / intersección en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña
3. Determinar el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña

1.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El marco metodológico elegido para esta investigación corresponde a un paradigma cuantitativo, con un diseño de investigación descriptivo y experimental vía simulación (Borja, 2012; E. Lieberman & Rathi, published in 1975/1997). La investigación de esta tesis será de tipo descriptiva ya que se describen situaciones o eventos, se busca especificar propiedades, características comportamiento de Intersecciones comprendidas dentro de una Red Vial y se miden diversos aspectos o características del fenómeno a investigar. La investigación también será experimental ya que se modificarán las variables independientes identificadas como demanda de transporte y la capacidad vial de la calle / camino / intersección para determinar su impacto en el nivel de congestión de la intersección bajo análisis y poder observar el comportamiento resultante de la red vial.

El software utilizado para la modelación de tránsito se denomina PTV VISSIM 7.0 de la empresa PTV GROUP, de origen alemán. Con PTV Vissim, puede simularse la situación del tránsito, y permite comparar y operar con distintos tipos de intersecciones como así también implementar medidas como priorizar movimientos vehiculares, dar prioridad al transporte público o simular el impacto de un plan semafórico distinto. PTV Vissim, es un software para la simulación microscópica de tránsito, en un solo modelo se puede representar a todos los usuarios de la vía pública y estudiar sus interacciones: autos, transporte de carga y cualquier tipo de transporte público. Los modelos de comportamiento vehicular, científicamente desarrollados y validados, proporcionan una simulación realista de todos los modos.

1.5 PLANTEO DE LA HIPÓTESIS

Según (Sampieri, Fernandez, & Baptista, 1997) “Las hipótesis nos indican lo que estamos buscando o tratando de probar y pueden definirse como explicaciones tentativas del fenómeno investigado, formuladas a manera de proposiciones”. Para esta investigación se establecerá la siguiente hipótesis de investigación o hipótesis alternativa:

Hi: El nivel de congestión de tránsito en la red de intersecciones se ubicará sistemáticamente en un valor menor para al menos una de las propuestas de diseño vial integral al comparar su valor con el nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional.

En consecuencia, la hipótesis nula será:

Ho: El nivel de congestión de tránsito en la red de intersecciones resultante de un diseño vial integral alcanza mayor o igual valor que el nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional.

1.6 ANÁLISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo a los Análisis realizados en el Capítulo Cuatro, se obtienen las siguientes conclusiones:

Como primera conclusión, el análisis de los resultados hallados muestra que el nivel de congestión de tránsito en la Red de Intersecciones resultante de un diseño vial integral presenta diferencia respecto del nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional por lo que se rechaza la hipótesis nula Ho y se halla evidencia que soporta la hipótesis alternativa o de investigación Hi.

Como segunda conclusión, el análisis del nivel de congestión muestra que la Propuesta de Diseño 3: *Colocación de separador rígido sobre Calle Rodríguez Peña, aumento de longitud de rama de bajada desde acceso sur, a continuación de la misma adición de carril sobre Rodríguez Peña. Apertura de Calle Las Margaritas y semaforización en Calle Venezuela y adiciones de carriles de giro en Calle Independencia* es la que presenta mejor respuesta al diseño actual con datos al 2017.

Como tercera conclusión, el análisis de los resultados proyectados al año 2037 muestra que el nivel de congestión de tránsito en la intersección resultante de un diseño vial integral sigue presentando diferencia respecto del nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional por lo que se sigue rechazando la hipótesis nula Ho y se halla evidencia que soporta la hipótesis alternativa o de investigación Hi.

Como cuarta conclusión, el análisis del nivel de congestión muestra que la Propuesta de Diseño 3: *Colocación de separador rígido sobre Calle Rodríguez Peña, aumento de longitud de rama de bajada desde acceso sur, a continuación de la misma adición de carril sobre Rodríguez Peña. Apertura de Calle Las Margaritas y semaforización en Calle Venezuela y adiciones de carriles de giro en Calle Independencia*, es la que presenta mejor respuesta al diseño actual con datos proyectados al año 2037.

El análisis realizado y las conclusiones alcanzadas para el año 2017 y para el año 2037 permiten cumplir con el objetivo general de este trabajo enunciado como “Evaluar la diferencia en el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales bajo estudio, generada por el diseño vial basado en paradigmas actuales o tradicionales y el diseño vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial”.

1.7 IMPACTO ESPERADO DEL PRESENTE TRABAJO

Dentro de las características destacables de esta propuesta de mejora, puede citarse que se han resuelto principalmente aspectos de Congestión Vial y Seguridad Vial, las cuales son de gran importancia en la Situación Actual.

El presente trabajo resuelve una problemática Vial identificada en el año 2011 dentro de la Provincia de Mendoza, entre tres reparticiones (Municipal, Provincial y Nacional). La Metodología de análisis aplicada marca lineamientos o pautas para resolver futuras problemáticas viales similares.

Cabe destacar que las mejoras deberán desarrollarse en su totalidad y simultáneamente, para garantizar los resultados esperados, por lo que, entre otras, la expropiación a realizar, para permitir la continuidad de Calle Las Margaritas, es de vital importancia y condicionante para todos los trabajos y mejoras propuestas.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrolla el Marco Teórico de la presente Tesis de Investigación. Se realiza la fundamentación teórica y empírica del problema bajo análisis desde un determinado cuerpo de conocimiento (Rojas Soriano, 2013). Para ello se realiza el análisis desde la perspectiva de la Ingeniería de Tránsito, Evaluación Económica y de Planificación de Proyectos Viales; Modelaciones de Tránsito, y Diseño Geométrico Vial.

2.2 EL SISTEMA DE TRANSPORTE

En todo el mundo las necesidades de transporte derivadas del crecimiento acelerado de las grandes ciudades, que a su vez ha traído consigo el aumento de problemas de movilidad urbana (Latina, 2011), ponen en evidencia la necesidad de buscar e implementar nuevas medidas que permitan garantizar la movilidad de los ciudadanos a la vez que se contrarresten problemas de tráfico tales como la congestión, accidentalidad, falta de accesibilidad al servicio de transporte, ocupación del espacio público e impactos en el medio ambiente (TRB, 2015). Aunque el estudio de los diferentes modos y medios de transporte y el comportamiento del tránsito vehicular se ha perfeccionado en las últimas décadas, inicialmente éste se enfocó principalmente en el análisis de la demanda de viajes, la valoración de la calidad del servicio, la determinación de los niveles de servicio de calles y carreteras y el estudio de algunas externalidades como la tarifa, tendencia que aún se mantiene en países en vía de desarrollo, algunos de éstos en Latinoamérica (Mauricio Mesquita, Christian, & Juan S., 2008).

Soluciones tradicionales como el aumento del parque automotor para satisfacer la demanda de viajes, el cambio de un determinado número de vehículos de servicio público por un número menor de vehículos de mayores capacidades; que en algunos casos ocupan mayor espacio o contaminan más, estudios extensos de orígenes y destinos y de externalidades del transporte como el diseño de tarifas sin aparentes

resultados favorables, han estado dirigidos más a establecer medidas que satisfagan en forma eficaz el problema del transporte. No obstante, aspectos considerados como de primer orden como el uso adecuado del espacio público, la accesibilidad al medio físico y al propio sistema de transporte y sobre todo la preservación del medio ambiente y la salud, y que hasta hace algunos años habían pasado a ocupar un segundo lugar dentro de las políticas de desarrollo de las ciudades (Fedesarrollo, 2013), ahora son considerados pilares fundamentales en la búsqueda de una verdadera sostenibilidad del transporte coherente con las directrices de las nuevas políticas en materia de medio ambiente.

Las múltiples problemáticas generadas en torno a la actividad del transporte han impulsado el avance de nuevas y más eficientes estrategias orientadas al mejoramiento y preservación del medio ambiente en áreas urbanas y periféricas en las ciudades para lo cual, los gobiernos en todo el mundo, a través de las administraciones municipales en las grandes ciudades y ciudades intermedias han fomentado el desarrollo de nuevos proyectos de movilidad urbana basados en la implementación de sistemas de transporte alternativo y sostenible tales como el tranvía, cables, bicicleta y peatonal, los cuales salvaguardan las premisas de movilidad sostenible, manejo de la demanda, uso del suelo, preservación del medio ambiente y la salud pública (Litman & Burwell, 2006). Otras estrategias puestas en marcha y que han arrojado muy buenos resultados en países de Europa y Asia incluyen avances tecnológicos en los vehículos particulares, de transporte público y transporte masivo, el uso de combustibles alternativos y la creación de redes amplias para su distribución (Forum, 2012), la implementación de mejores infraestructuras para el desarrollo de modos de transporte no motorizado pero sobretodo, el estudio detallado de las verdaderas necesidades de los usuarios no bajo un esquema de eficacia sino dentro del marco del transporte y movilidad urbana sostenibles eficientes lejos de los bocetos tradicionales.

2.2.1 EL SISTEMA DE TRANSPORTE Y EL PARADIGMA DE MOVILIDAD

Los cambios en los sistemas de transporte son impulsados por cambios en otros paradigmas como el concepto de movilidad y el de la seguridad vial, los cuales no

deben verse como modelos aislados sino como modelos interactuantes en una sociedad global.

El paradigma de movilidad desarrollado a principios del siglo XX estaba centrado en el uso de combustible fósil de bajo costo, alta generación de dióxido de carbono y la movilidad individual. Entre los impulsores de cambio de este paradigma puede citarse la alta dependencia del petróleo en los países desarrollados y las crisis relacionadas con el mismo en los 70s; y la identificación de los costos externos de la movilidad tales como el efecto del calentamiento global, el impacto del incremento de los accidentes viales y la creciente urbanización con sus problemas derivados (incremento en la congestión del tránsito, sobredemanda de espacios para estacionamiento y uso de las tierras entre otros factores). Esto llevó al surgimiento de regulaciones legislativas del sistema de transporte tanto a nivel local como nacional, regional y global y el desarrollo de la economía de bajo uso del carbón como contrapartida de la creciente conciencia ambientalista de las personas y la pérdida de la significancia del automóvil como símbolo de estatus. Como consecuencia, surge el nuevo paradigma en movilidad caracterizado por el bajo uso del carbón (desarrollo de fuentes alternativas de energía), la eficiencia energética (desarrollo de nuevos materiales y aleaciones), y el desarrollo del transporte intermodal y de nuevos servicios de movilidad (autos compartidos) (Fournier, Hinderer, Schmid, Seign, & Baumann, 2012). La *Figura 2. Cambio en el Paradigma de Movilidad*, muestra el proceso de cambio en dicho paradigma.

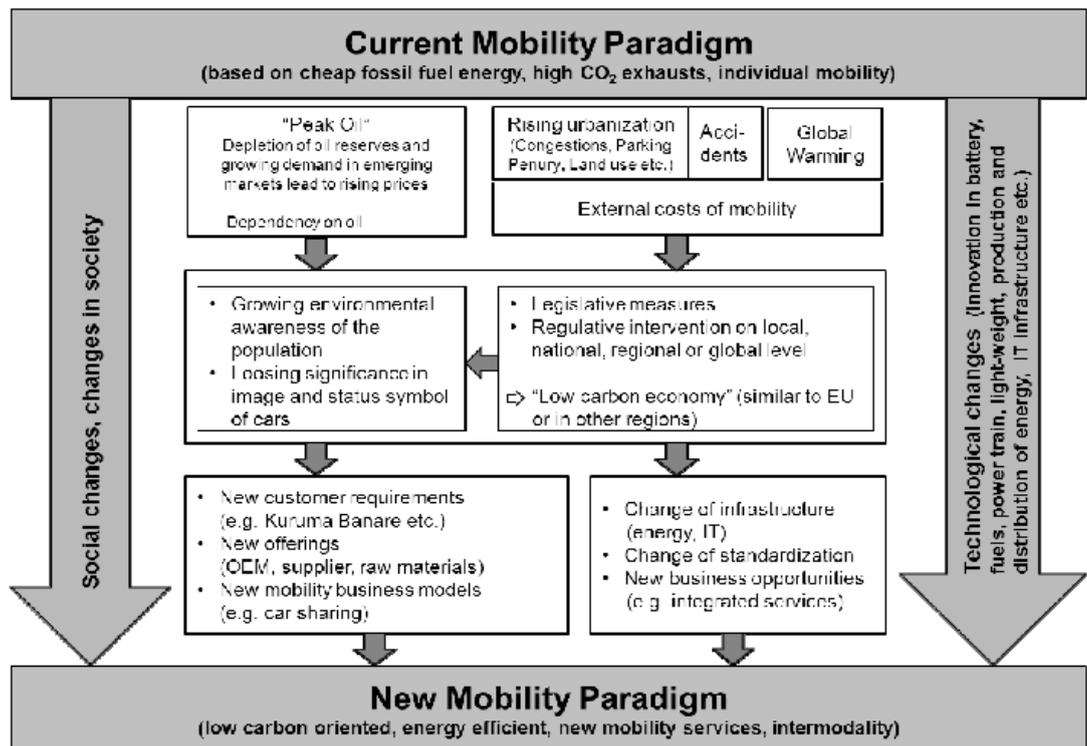


Figura 2. Cambio en el Paradigma de Movilidad.
Fuente: Adaptado de (Fournier et al., 2012)

2.2.2 EL SISTEMA DE TRANSPORTE Y EL CAMBIO EN EL PARADIGMA DE SEGURIDAD VIAL

La disciplina de la seguridad vial está experimentando un cambio de paradigma: un cambio en cómo se definen los problemas y se evalúan las posibles soluciones.

El paradigma de seguridad vial surge con la masificación del uso del automóvil como medio de transporte a partir del desarrollo de la línea de producción continua y su aplicación a la fabricación de vehículo por Henry Ford en 1913. Puede distinguirse el surgimiento de cinco paradigmas secuenciales : 1) la seguridad primero (1900 – 1920) que refleja la percepción del automóvil como un factor de peligro para los otros usuarios de las calles y caminos (P. D. Norton, 2008, 2015); 2) control (1920 – 1960) que sostenía que los accidentes podían evitarse a través del control experto basado en el diseño de las calles y autopistas, la educación obligatoria de los conductores y peatones (P. D. Norton, 2015); 3) la resistencia al choque (1960 – 1980) definida como el grado en el cual un vehículo protegerá a sus ocupantes del efecto de un accidente – lo que conlleva cambios radicales en su diseño ya que favorece estrategias centradas

en el diseño seguro para reducir los riesgos (Litman, 2017) - y que surge en respuesta a la tendencia creciente de víctimas fatales por accidentes viales en el período 1930 a 1960 (P. D. Norton, 2015) por lo que este paradigma “Se supone que los viajes en vehículos motorizados son seguros en general, por lo que los choques son el resultado de personas y actividades específicas de mayor riesgo, como la conducción de jóvenes y personas mayores, la conducción distraída o ebria y la falta de uso del cinturón de seguridad o el casco” (Litman, 2017); 4) responsabilidad del conductor (1980 – presente) no solo por su propia seguridad sino por la seguridad de otros (P. D. Norton, 2015) ya que se reconoce que todo viaje en vehículo impone riesgos, la mayoría de los conductores toma pequeños riesgos lo que lleva a que se produzcan accidentes por lo que se incluyen estrategias para reducir el viaje total en vehículo como “Gestión inteligente de la demanda de transporte y crecimiento (TDM)” (Litman, 2017) y 5) sistema seguro o visión cero (2000 – presente) centrado en el concepto de que ningún ser humano debía ser muerto o fatalmente herido como resultado de un accidente vial y que surge del hecho que el foco en educación, información, regulaciones y obligatoriedad en el cumplimiento de normas viales había logrado reducir el número de víctimas por accidentes viales a un valor mínimo estable pero no eliminarlas (Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2020; D'Urso & Schraer, 2017; European Commission, 2020; Institute for Road Safety research (SWOV), 2020; Insurance Information Institute, 2021; International Transport Forum (ITF), 2008, 2016; MacKay et al., 2004; R. Norton et al., 2004).

2.3 LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

La red vial y los vehículos deben considerarse en conjunto, ya que con la misma infraestructura y los mismos tipos de vehículos pueden lograrse capacidades de transporte muy distintas. En otras palabras, la gestión del sistema puede hacer una gran diferencia. No es lo mismo que las calles tengan uno o dos sentidos de circulación de tránsito, que en todas las intersecciones se pueda girar en cualquier dirección, que los semáforos estén bien sincronizados o no, ni que la ocupación media de los vehículos sea mayor o menor o que los buses tengan o no ciertas preferencias de circulación. En realidad, es la interacción entre la infraestructura, los vehículos y la gestión de transporte la que contribuye a configurar la capacidad u oferta de transporte.

2.3.1 IMPACTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL

Las formas más simples de infraestructura vial son los nodos y las secciones. Los nodos o intersecciones son puntos en los que se cruzan dos o más vías, por lo que el espacio vial es compartido por ellas; en las intersecciones los vehículos pueden cambiarse a una ruta diferente. Por su parte, los arcos son tramos de vías entre intersecciones y, en general, presentan cierta uniformidad en su ancho; no es posible cambiar de ruta para los vehículos que operan en él, pudiendo sólo salir o incorporarse a la vía hacia o desde los predios vecinos.

Una sucesión de secciones e intersecciones configura lo que se denomina eje vial o simplemente, vía o calle. Las vías se entrecruzan formando una auténtica malla. Por ello, lo que sucede en una calle puede repercutir en otras, especialmente en situaciones de congestión. De ahí que en el lenguaje técnico suele hablarse de “redes viales”, como el conjunto de secciones y nodos conexos que constituyen un sistema. La operación del tránsito lo pone de manifiesto, surgiendo un conjunto de impactos encadenados y difundidos territorialmente.

Una red vial debe ser tratada como tal, lo que muchas veces obliga a ampliar las áreas de análisis para un adecuado planteamiento de medidas de mejoramiento de la operación del transporte (CEPAL;GTZ, 2003).

2.3.2 IMPACTO DE LOS MEDIOS DE TRANSPORTE

Una extensa variedad de vehículos utiliza las calles y avenidas de la ciudad, desde automóviles hasta buses de gran tamaño, pasando por vehículos colectivos, de servicio y de carga de los más variados portes. Esta amplia gama de móviles presta el servicio de transporte de personas y cosas, aunque sus modalidades y calidad de servicio son diferentes. A ellos se suman modos que operan fuera de las vías públicas, como los sistemas de metro. Un asunto importante en relación con la congestión es el uso que cada tipo de vehículo hace del espacio disponible para la circulación, debiendo constatar que los que llevan más pasajeros son los más eficientes en este sentido,

aunque no por ello tengan la primacía en otros aspectos como velocidad de desplazamiento o comodidad.

2.3.3 TRÁNSITO

El término tránsito según (Conceptodefinicion.de, 2018) se usa comúnmente para referirse a la acción de transitar, es decir, de desplazarse de un lugar a otro ya sea en automóvil, bicicleta o a pie, por las diferentes calles y avenidas. El tránsito representa la cantidad de autos que se movilizan a lo largo del día por las distintas vías de circulación.



*Imagen 1. Tránsito vehicular urbano.
Fuente: (Conceptodefinicion.de, 2018)*

Las dificultades que ha tenido el tránsito en los últimos años dentro de los espacios urbanos, ha ido incrementándose con el tiempo, desde que apareció el primer automóvil, en el siglo XX. A partir de allí, el hombre se ha dedicado a crear toda clase de medidas o normas que permitan la regulación y organización del tránsito: las señales de tránsito, los fiscales de tránsito, los semáforos, etc.

Actualmente y debido al incremento de la población, el tránsito vehicular puede tornarse desastroso, sobre todo en las primeras horas de la mañana y en la tarde, que son los horarios donde hay más afluencia de vehículos y peatones.

El tránsito de vehículos, puede traer consecuencias negativas para el ambiente, ya que los vehículos son los principales agentes de contaminación debido a la expulsión de

dióxido de carbono, el cual puede perjudicar la salud de las personas que habitan en las ciudades. Además de otros efectos negativos asociados al fuerte tránsito como lo son la contaminación sonora y el estrés.

El control del tránsito le corresponde a los entes del gobierno, quienes son los encargados de mantener las vías en buen estado, con la finalidad de que el tránsito circule con normalidad y sin contratiempos. Los accidentes de tránsito, son las principales causas de fallecimiento anual en estos tiempos, de allí la importancia del buen funcionamiento de los semáforos, el mantenimiento de las calles y la correcta señalización de avenidas y carreteras y sobre todo que se sancionen a aquellos que transgredan las leyes de tránsito.

2.4 LA INGENIERÍA DEL TRÁNSITO Y LA GESTIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

La ingeniería de tránsito es la subdisciplina de la ingeniería de transporte que aborda la planificación, diseño y operación de calles y carreteras, sus redes, terrenos adyacentes y la interacción con otros modos de transporte (aéreo, acuático y ferroviario) y sus terminales (Engineers, Pande, & Wolshon, 2016).

La práctica de la ingeniería de tránsito continúa evolucionando incluso cuando los conceptos fundamentales permanecen en gran medida sin cambios. En el momento de la publicación del primer Manual de ingeniería de tránsito de ITE (Engineers et al.) en 1941, el enfoque de la profesión de ingeniería de tránsito se centraba principalmente en proporcionar y ampliar la capacidad vial, mediante la construcción de nuevas carreteras y la ampliación de las existentes. El diseño vial se centraba en el análisis de diferentes tipos de Flujos vehiculares, (ICG, 2005) los cuales se definen en el APENDICE 3: FLUJOS Y CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO.

Desde el enfoque de la Teoría de Flujo, El tránsito vehicular se define como el fenómeno causado por el flujo de vehículos a lo largo de un camino. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se debe proyectar y analizar las características del tránsito que va ocupar esa calle o ruta. En la ingeniería de tránsito, se busca caracterizar los fenómenos de la circulación vehicular, para diseñar e implementar

nueva infraestructura vial u optimizar la existente, de acuerdo a la capacidad que posee y teniendo en cuenta ciertas restricciones (tiempo, costo, etc.).

La teoría del flujo vehicular busca establecer relación entre sus tres variables principales: el flujo, la velocidad y la densidad (que se pueden explicar matemáticamente (MOZO, 2011). Ver APENDICE 2: VOLUMEN, VELOCIDAD, DENSIDAD). Mediante el análisis de las mismas se puede determinar las características del flujo de tránsito de una vía y así definir las consecuencias de implementar u optimizar la infraestructura en el tramo vial en estudio.

Sin embargo, el aumento de la congestión, incluso a medida que la red de carreteras continuó creciendo en las décadas posteriores, llevó a darse cuenta de que agregar capacidad, aunque útil durante un período de tiempo, no era la única solución al problema de congestión. Como resultado, la gestión de la demanda de tránsito también se convirtió en parte de la profesión de ingeniería de tránsito como una forma de abordar la congestión. El concepto de gestión de la demanda ahora se ha convertido en otra herramienta fundamental utilizada en el paradigma de movilidad, al proporcionar opciones de viaje utilizando múltiples modos diferentes (Deepak Gopalakrishna (Battelle), 2009-2012).

Actualmente, se requiere que los ingenieros de tránsito piensen de manera diferente que en el pasado para proporcionar una gama de opciones de diseño y control que faciliten los movimientos seguros y eficientes de todos los usuarios, en todos los modos, mientras brindan soluciones sensibles al contexto. En el caso de las calles urbanas, por ejemplo, los ingenieros de tránsito deben considerar diseños alternativos de movilidad del tránsito, que conduzcan a velocidades de viaje más lentas para crear un ambiente más seguro para todos los usuarios, alentar la actividad económica en las áreas del centro y contribuir a revitalizar los centros de las ciudades que faciliten la economía urbana. La operación exitosa de un sistema de transporte por carretera depende de la interacción de los usuarios de la carretera entre sí, con los vehículos, con los dispositivos de control de tránsito y con el entorno de la carretera (Engineers et al., 2016).

Desde este cambio en los paradigmas de Movilidad y Seguridad Vial, el producto resultante del Diseño Vial en lo que respecta a la Ingeniería de Tránsito, debe dar

respuesta en forma concurrente a los requerimientos de la provisión de un sistema seguro de tránsito en las carreteras¹; velocidad adecuada²; confort³ y conveniencia⁴ del usuario; economía⁵; impacto ambiental⁶; movilidad⁷ y accesibilidad⁸. La Figura 3, simplifica lo expresado.



*Figura 3. Cambio en paradigmas de Movilidad y Seguridad Vial.
Fuente: Elaboración Propia*

¹ Nota del autor: Se mide en Número de fatalidades anuales por accidentes producidos en carreteras / Se mide también como el ratio de fatalidades por cada 100 millones de millas-vehículo recorridas (VMT) (Roess, Prassas, & McShane, 2004, p. 236)

² Nota del autor: Se define como la relación entre la distancia recorrida por unidad de tiempo. El tiempo de viaje es el tiempo requerido para recorrer una sección definida de la autopista por lo que resultan tiempo de viaje y velocidad inversamente relacionadas. En un conjunto de vehículos en movimiento [moving traffic stream], cada vehículo viaja a una velocidad diferente por lo que el conjunto de vehículos en movimiento no tiene un único valor característico sino más bien una distribución de velocidades individuales (Roess et al., 2004, p. 111)

³ Nota del autor: Características físicas de los vehículos y caminos y que es influenciada por nuestra percepción de seguridad (Roess et al., 2004, p. 2)

⁴ Nota del autor: Se define como la facilidad con la cual uno realiza el viaje y la capacidad del sistema de transporte de satisfacer todas nuestras necesidades en el tiempo adecuado (Roess et al., 2004, p. 2)

⁵ Nota del autor: Proveer el mejor Sistema posible con los recursos asignados (Roess et al., 2004, p. 2)

⁶ Nota del autor: El diseño realizado minimiza el impacto ambiental y la estética de su arquitectura es la adecuada para el espacio donde se ubica (Afrin & Yodo, 2020; Roess et al., 2004, p. 2)

⁷ Nota del autor: capacidad para viajar a diferentes destinos (Roess et al., 2004, p. 5)

⁸ Nota del autor: capacidad para ingresar a un determinado lugar o área (Roess et al., 2004, p. 5)

2.4.1 CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO COMO MEDIDA DEL IMPACTO EN EL DISEÑO VIAL

El término de nivel de servicio, introducido por el Manual de Capacidad del Transportation Research Board estadounidense (Transportation Research Board, 2000), se define como una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario. Son varios los factores que entran en juego a la hora de definir un concepto tan poco cuantificable como es la calidad de una vía:

- Velocidad a la que se puede circular por ella.
- Tiempo de recorrido, o de otra forma, ausencia de detenciones y esperas.
- Comodidad que experimenta el usuario: ausencia de ruidos, trazados suaves.
- Seguridad que ofrece la vía, tanto activa como pasiva.
- Costos de funcionamiento o costo de operación vehicular.

Se puede afirmar que en efecto existen ciertas relaciones entre las diferentes variables que componen el tránsito. Así mismo, también es cierto que existe alguna posibilidad de análisis matemático, conducido por las investigaciones que en esta materia han realizado los ingenieros de tránsito norteamericanos, al ser el país que más problemas tiene con la circulación de vehículos. En base a estas investigaciones, se concluye que el estudio del tránsito debe hacerse atendiendo a dos componentes: la capacidad y el nivel de servicio (Bañón Blazquez & García Beviá, 2000).

Se define capacidad de una sección de carretera como el máximo número de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar dicha sección durante un determinado período de tiempo –normalmente una hora- para condiciones particulares de la vía y del tráfico. Dicho de otra forma, es la máxima intensidad capaz de albergar una vía sin colapsarse. La capacidad depende de las propias características de la vía – geometría y estado del pavimento- y del tránsito, especialmente su composición. Además, se deben tener en cuenta las regulaciones de circulación existentes, como limitaciones de velocidad o prohibiciones de adelantamiento, así como las condiciones ambientales y meteorológicas. Estos dos últimos factores no se hallan lo suficientemente estudiados al no influir decisivamente, salvo en casos aislados (Bañón Blazquez & García Beviá, 2000).

El nivel de servicio describe las condiciones operacionales del volumen del tránsito tal y como las percibe el usuario. Originalmente, el concepto de nivel de servicio era definido como una manera cualitativa de medir las condiciones operacionales de una vialidad. Se desarrolla el concepto de Nivel de Servicio en el APENDICE 1: NIVEL DE SERVICIO EN CALLES URBANAS Y CAPACIDAD EN ENTRECruzAMIENTOS

Los conceptos de capacidad y niveles de servicio se aplican a los sistemas de transporte para análisis, tanto de diseño como para el análisis de operación. La capacidad va a depender directamente de las unidades en cuestión (peatones, vehículos particulares, transporte público, etc.), el periodo de tiempo, y el área de la infraestructura en cuestión (carriles, ancho de la calzada, etc.).

2.4.2 LA PLANIFICACIÓN Y LA GESTIÓN DEL TRÁNSITO

Es importante que una ciudad se planifique a gran escala, pero también es importante Planificar y gestionar el tránsito a nivel “micro”, es decir gestionar los flujos en las Intersecciones viales urbanas para que los recursos (señalizaciones, semáforos e infraestructura vial) que son escasos, sean utilizados de manera eficiente.

Se debe tener especial cuidado con las medidas de solución. Si se pretende mejorar una intersección, en muchos casos ésta puede empeorar la situación provocando que el costo de Implementación de la solución sea mayor al beneficio otorgado por la misma. Esto se puede explicar mediante la paradoja de Braess donde explica que al agregar mayor capacidad a una red (en este caso mejoras o adición de una vía) cuando los usuarios de la misma escogen la ruta de forma egoísta, puede en algunos casos reducir la capacidad de toda la red vial. Este caso está estrechamente relacionado con la distribución de viajes en una red de transporte urbano que es gobernada por el Primer Principio de Wardrop (1952) o Equilibrio del Usuario, el cual explica que los usuarios de las vías tienden a escoger la ruta que más les conviene individualmente y esto conlleva a que los usuarios busquen las rutas que les represente menores tiempos de viaje. Por ende, se debe tener cuidado con las propuestas de solución ya que en muchos

casos pueden no tener los resultados esperados (G. Carlier & Santambrogio, 2010). En condiciones de equilibrio, los procesos de decisión de los usuarios, llevan a que todas las rutas utilizadas para un determinado par origen-destino tendrán costos iguales y mínimos, mientras que las rutas no utilizadas tendrán costos mayores o iguales (Ortúzar & Willumsen, 2008). Por ello, en el “equilibrio”, ningún usuario puede reducir unilateralmente sus costos mediante un cambio de ruta. Si todos los usuarios perciben los costos de la misma manera, i.e. no hay efecto estocástico (Ortúzar & Willumsen, 2008). En consecuencia una planificación y un diseño vial adecuado, produce que los usuarios se aproximen al punto de equilibrio del sistema, garantizando el tiempo de viaje mínimo y equivalente para todos los usuarios.

Existen antecedentes en países de Latinoamérica como México, Colombia, Chile y Brasil, que tienen mayor volumen de vehículos, y es donde existen mayor cantidad de estudios con procedimientos formales preestablecidos que tienen la finalidad de llevar una mejor gestión del tránsito y que en el tiempo puede esperarse resultados acordes.

En el caso de Colombia, por ejemplo, se han llevado a cabo estudios de esta naturaleza, del que puede citarse: “Plan Integral de Tránsito y Transporte” en la Alcaldía de Yopal, estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia – Facultad Ingeniería (COLOMBIA & INGENIERÍA, 2005), en donde se observan varios criterios válidos y adaptables para la etapa de “recolección de datos y diagnóstico”. Además, cuenta con la respectiva Metodología de desarrollo.

En el caso de Brasil (Motta, 2002), también se tienen Metodologías tanto a nivel macro como a nivel micro (caso de municipios).

En Chile también puede mencionarse estudios de SECTRA (Subsecretaría de Transportes del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, organismo técnico especializado en planificación de transporte), donde existen avanzados análisis y resultados sobre transporte urbano (Chile & SECTRA, 2015).

En los últimos años se ha observado un aumento significativo del parque automotor de la Provincia de Mendoza y todos los departamentos que la componen (Zalazar, 2017). Este crecimiento ha sido desproporcionado, sin mejoras significativas en la

gestión del tránsito ni infraestructura vial. Existen esfuerzos para mejorar la situación actual, pero sin una correcta planificación y manejo claro sobre los procedimientos formales que se deben implementar.

Los esfuerzos individuales desde la gestión municipal, de manera poco ordenada, generalmente no conducen a una solución significativa. Por lo tanto, es de esperarse que el manejo de la gestión del tránsito en la mayoría de los Departamentos sea limitado y en muchos casos inexistente. Esta suma de factores ha llevado a un incremento en la congestión vehicular en el período 1990 – 2017.

2.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO

Dado el carácter dinámico que presentan los volúmenes de tránsito, es necesario conocer las variaciones periódicas que tiene el mismo dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año. Así mismo, se debe considerar las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional, y su composición.

Las características, distribución y composición del volumen de tránsito y las variaciones de los volúmenes de tránsito se describirán en el APENDICE 3: FLUJOS Y CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO. Se caracteriza entre todos los volúmenes de tránsito el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), este indicador proporciona información cuantitativa de la importancia de la vía y se utiliza para estudios de factibilidad económica, así como para el diseño estructural de los pavimentos.

2.5 CONGESTION DE TRÁNSITO EN VÍAS URBANAS

La congestión creciente del tránsito impacta negativamente en el producto resultante del Diseño Vial que debe dar respuesta en forma concurrente a los requerimientos de la provisión de un sistema seguro del tránsito en las carreteras; velocidad adecuada; confort y conveniencia del usuario; economía; impacto ambiental; movilidad y accesibilidad.

Según (CEPAL;GTZ, 2003) la congestión de tránsito ha ido en aumento en gran parte del mundo, desarrollado o no, y todo indica que seguirá agravándose, constituyendo un peligro cierto que se cierne sobre la calidad de vida urbana (movilidad y accesibilidad). Su principal manifestación es la progresiva reducción de las velocidades de circulación (velocidad adecuada), que se traduce en incrementos de tiempos de viaje (conveniencia del usuario), de consumo de combustibles, de otros costos de operación (economía) y de contaminación atmosférica (compatibilidad ambiental), con respecto a un flujo vehicular libre de circulación.

La congestión es causada principalmente por el uso intensivo del automóvil, cuya propiedad se ha masificado en el periodo 1980 - 2017 en América Latina en respuesta a la variable Demanda de Transporte por parte de los habitantes (medida en total de km por vehículo recorridos en el término de un año). El automóvil posee ventajas en términos de facilitar la movilidad personal, y otorgar sensación de seguridad y aún de estatus especialmente en países en vías de desarrollo. Sin embargo, es poco eficiente para el traslado de personas, al punto que cada ocupante produce en las horas punta unas 11 veces la congestión atribuible a cada pasajero de bus (CEPAL;GTZ, 2003). La situación se ve agravada en la región por la variable Capacidad vial de la calle / camino /autopista debido a problemas de diseño y conservación en la vialidad de las ciudades, estilo de conducción que no respeta a los demás, defectuosa información sobre las condiciones del tránsito y gestión inapropiada de las autoridades competentes, muchas veces fragmentadas en una multiplicidad de entes (CEPAL;GTZ, 2003).

Los costos de la congestión son elevados. A título de ejemplo puede señalarse que, de acuerdo a cálculos conservadores, aumentar en promedio las velocidades de los viajes en auto en 1 km/h y los de transporte colectivo en 0.5 km/h implicaría una reducción de tiempos de viaje y costos de operación por un valor equivalente a 0.1% del producto interno bruto (PIB) (Thomson, 2000).

La congestión genera irritabilidad y estrés, producto de la pérdida de tiempo (Thomson, 2002), llevando a que muchas veces se adopten conductas agresivas, las que sumadas a ciertas distracciones dan lugar al incremento de los accidentes viales

(provisión de un sistema seguro de tránsito en las carreteras y confort del usuario). Según un informe publicado por las Naciones Unidas, cada día mueren en el mundo más de 3000 personas por lesiones resultantes de los siniestros viales, mientras que en los países de ingresos bajos y medianos se concentra aproximadamente un 85% de esas muertes. La Argentina ostenta uno de los índices más altos de mortalidad producida por accidentes de tránsito, además de cientos de heridos de distinta gravedad por año, y de cuantiosas pérdidas materiales, que se traducen en millones de dólares. Según Luchemos por la Vida (Asociación Civil, 2019), el total de muertos en 2009 ascendió a 7885 (considerando a las personas que fallecen en el lugar del accidente y a las que mueren hasta treinta días después del hecho), tratándose de un promedio diario de 22 defunciones y uno mensual de 657. Mendoza por su parte registró en el mismo año 371 víctimas, más de una por día. Siendo la Capital la que lidera las notificaciones de defunciones, seguida de San Rafael, La Paz y General Alvear.

La congestión vehicular en Intersecciones genera también distintas externalidades (contaminación ambiental, menor calidad de vida, Inseguridad Vial) (LÓPEZ, 2012). Un caso particular de estudio es la congestión en Intersecciones dado el alto volumen de tránsito. (ver APENDICE 5: CONGESTION VEHICULAR EN INTERSECCIONES). Como síntesis el modelo de Congestión Vehicular queda representado por la Figura 4.

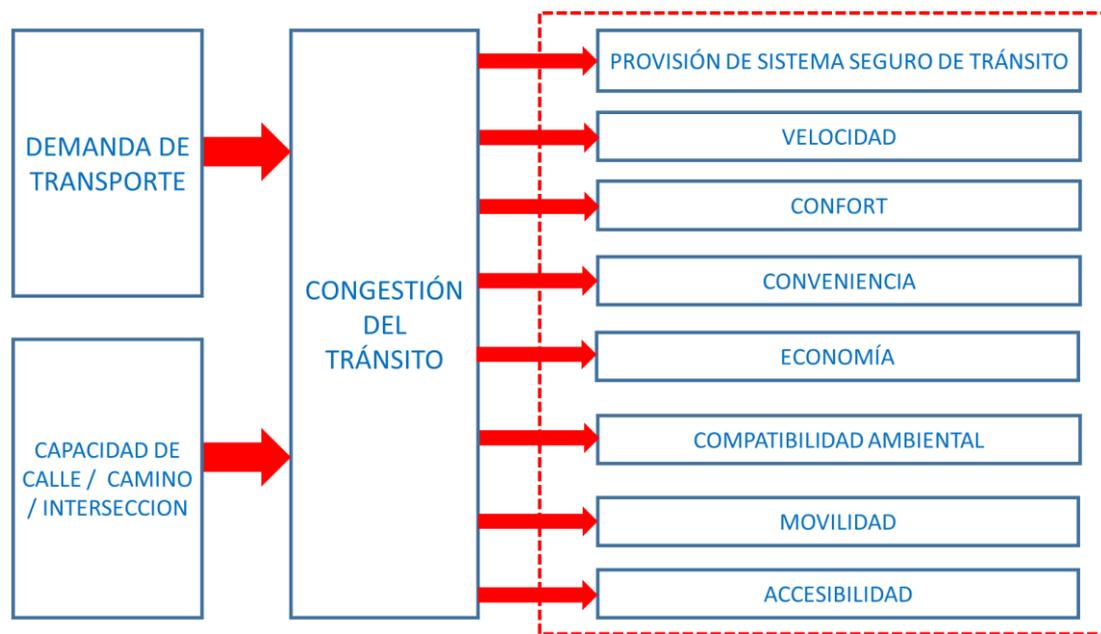


Figura 4. Modelo de Congestión Vehicular.
Fuente: Elaboración Propia

La demanda de transporte se mide en cantidad de vehículos que circulan por una sección de camino / calle / intersección. Se entiende que la demanda de transporte es una demanda derivada de la actividad económica, es decir de la localización de la producción y el consumo. La demanda de transporte en general exige mayor infraestructura. Diversos factores definen la demanda de transporte: el desarrollo de eventos especiales que generan la concentración de personas en un determinado lugar y por ende la movilización de las mismas (Cambridge Systematics, 2005); la variación diaria / estacional en el tráfico normal (Cambridge Systematics, 2005); el clima en la región bajo análisis (Cambridge Systematics, 2005); el perfil demográfico (Ahmed, Catchpole, & Edirisinghe, 2021; N. Fournier & Christofa, 2021; Gardenhire, 1999) ya que la elección del tipo de movilidad cambio con la generación bajo análisis; el desarrollo urbano (James, 2018; Roess et al., 2004, p. 5) y el nivel de ingresos económicos de la población bajo análisis (N. Fournier & Christofa, 2021; Gardenhire, 1999).

La capacidad vial de camino / calle / intersección se mide a través del indicador Nivel de Servicio. Diversos factores definen la capacidad vial: los incidentes de tráfico que se suceden e impactan en la misma (Cambridge Systematics, 2005); las zonas de

trabajo debido a razones de mantenimiento preventivo o correctivo (Cambridge Systematics, 2005); Dispositivos de control de tráfico (Cambridge Systematics, 2005; Thomson et al., 2003) y el diseño de calles y autopistas (Litman, 2017)(Afrin & Yodo, 2020; Granié et al., 2021; P. D. Norton, 2015).

En las siguientes subsecciones se analiza el impacto de dispositivos de control de tránsito y el diseño de calles y autopistas en la capacidad vial del camino / calle / intersección bajo análisis. Posteriormente se plantean las herramientas a utilizar para poder modelar el tránsito en una determinado Diseño Vial.

2.5.1 DISEÑO GEOMÉTRICO Y CAPACIDAD VIAL

2.5.1.1 REDES VIALES E INTERSECCIONES

Una red vial es uno de los patrimonios más valiosos de cualquier país, ya que en ella se da el desarrollo social y económico. Los caminos urbanos, mejor conocidos como vialidades urbanas o calles, son la estructura de toda red vial de una ciudad (Mayor, Rafael, James, & Grisales, 1994).

La principal característica entre las vías o carreteras es el diseño geométrico, donde existen distintos factores o propiedades que las diferencian.(Mayor et al., 1994).

La interacción entre las calles en la estructuración de una red vial urbana da origen a las intersecciones o cruces de caminos, cuyo objetivo es brindar comodidad al usuario y a su vez aumentar la eficiencia de los movimientos direccionales que los vehículos realizan en ella (AASHTO, 2011). Dichas intersecciones son de gran importancia para la alimentación de una red vial urbana y para su capacidad. Se amplían conceptos de Intersecciones en el APENDICE 4: INTERSECCIONES.

El análisis y la evaluación de una intersección pueden ayudar al mejoramiento de su capacidad vial (APENDICE 5). En la evaluación de intersecciones es necesario tomar en consideración ciertos criterios para la correcta funcionalidad del cruce de calles. Tales criterios tienen base en el volumen vehicular, retrasos generados por los

controladores de tránsito y la saturación de flujo vehicular. El conjunto de lo antes mencionado confluye en el nivel de servicio (APENDICE 5).

El concepto de nivel de servicio fue introducido en el manual de capacidad de carreteras de 1965 (H. R. Board, 1965) y la actual definición de nivel de servicio en el manual de capacidad de carreteras del 2000 (Transportation Research Board, 2000)

“Nivel de Servicio es: una medida de calidad que describe las condiciones de funcionamiento dentro de un flujo de tránsito, en general, en términos de medidas de servicios tales como la velocidad y el tiempo de viaje, la libertad de maniobra, las interrupciones de tráfico, el confort y la comodidad”. (Transportation Research Board, 2000)

Conociendo el nivel de servicio que la infraestructura de una intersección provee al usuario, se determina si ésta requiere alguna acción correctiva para mejorar su funcionalidad. (H. R. Board, 1965)

2.5.1.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE UNA VIA

El Diseño Vial se basa (Garber & Hoel, 2002) en varios estándares y controles que a su vez dependen de:

- La clasificación funcional de la carretera que se está diseñando
- El volumen esperado de tránsito y la composición vehicular
- La velocidad de diseño
- La topografía del área en la cual se va a ubicar la carretera
- El nivel de servicio que se va a suministrar
- El presupuesto disponible
- La seguridad
- Los factores sociales y ambientales

Con frecuencia estos factores están interrelacionados, por ejemplo, la velocidad de

diseño depende de la clasificación funcional y ésta a su vez del volumen de tránsito esperado. La velocidad de diseño también puede depender de la topografía, especialmente en casos en los que se disponga de un presupuesto limitado. En general los principales factores que se usan para determinar los estándares con los cuales se va a diseñar una carretera específica, son el nivel de servicio que se va a suministrar, el volumen esperado de tránsito la velocidad de diseño y el vehículo de diseño. Estos factores aunados con las características básicas de los conductores, los vehículos y la vía, se emplean para determinar los estándares para las características geométricas de la vía como la sección transversal, y los alineamientos horizontal y vertical.

2.5.1.3 CLASIFICACIÓN DE VÍAS

En Argentina no existe aún una clasificación clara de las vías de circulación según su función, la norma de diseño geométrico sobre caminos oficial vigente es de la DNV (Dirección Nacional de Vialidad, 2010) que data de la década del 70 y no tiene en cuenta la funcionalidad de las vías).

Se puede adoptar como guía la clasificación funcional de las vías que dicta el Manual de Vialidad Urbana de Chile (Chile & SECTRA, 2015). Atendiendo a su función principal, sus condiciones fundamentales y estándares de diseño, las vías urbanas de uso público destinadas a la circulación vehicular, se clasifican según este manual en expresa, troncal, colectora, de servicio y local. Los criterios a considerar para su definición se detallan en el APENDICE 6: CLASIFICACION DE VIAS

Esta clasificación de vías es de carácter funcional, es decir, se basa en la función que cumple cada una de ellas dentro de la estructura urbana de la ciudad.

La Provincia de Mendoza tiene a su cargo la ejecución, el mantenimiento, rehabilitación, remodelación, señalización horizontal y vertical, semaforización, publicidad y mobiliario urbano de las Vías provinciales, que para la clasificación enunciada corresponde a los Corredores, vías Colectoras y vías de servicio.

Estos trabajos son efectuados, en algunos casos, en coordinación con las Municipalidades donde se localizan dichas vías, muchas veces por el interés de las mejoras que despierta en los vecinos que las utilizan.

En la red en estudio, motivo de esta tesis, debemos diferenciar las vías principales, que son competencia de la Nación (Ruta Nacional N° 40) de las vías colectoras competencia de la Provincia (Ruta Provincial N°4- carril Rodriguez Peña) de las vías locales que son competencia de Municipalidad de Godoy Cruz.

En este caso, las vías de la red en estudio tienen las siguientes jurisdicciones:

- Calle Venezuela (competencia Municipalidad de Godoy Cruz)
- Calle Diamante (competencia Municipalidad de Godoy Cruz)
- Calle Independencia (competencia Municipalidad de Godoy Cruz)
- Colectora Acceso Sur (competencia Dirección Nacional de Vialidad)
- Ruta Nacional N°40 - Acceso Sur (competencia Dirección Nacional de Vialidad)
- Ruta Provincial N°4 - Carril Rodriguez Peña (competencia Dirección Provincial de Vialidad)

2.5.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO Y CAPACIDAD VIAL

Se denominan dispositivos para el control del tránsito a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se coloque sobre o adyacente a las calles y carreteras por una autoridad pública, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas. Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones (prevenciones) que deben tener en cuenta, las limitaciones (restricciones) que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones (guías) estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la calle o carretera.

2.5.2.1 SEMÁFOROS

Los semáforos son dispositivos de control mediante los cuales se regula el movimiento de vehículos y peatones en calles o carreteras, por medio de luces de color rojo, amarillo y verde operados por una unidad de control (Federal Highway Administration, 1988) (H. & Iris, 1991).

Las funciones y características de los semáforos se describen en el APENDICE 9: SEMÁFOROS.

2.5.2.2 SEÑALIZACIÓN

Las funciones de las señales son proporcionar regulaciones, advertencias e información de orientación para los usuarios de la carretera. Las palabras, los símbolos y las flechas se usan para transmitir los mensajes. Las señales no se usan generalmente para confirmar las reglas de la carretera (Federal Highway Administration, 2009).

Se reconoce que las condiciones del tráfico urbano difieren de las de los entornos rurales y, en muchos casos, las señales se aplican y ubican de manera diferente. Las señales solo deben usarse donde esté justificado por juicio o estudios de ingeniería.

Los resultados de los estudios de ingeniería de tránsito, de factores físicos y de tránsito deben indicar los lugares donde las señales se consideran necesarias o deseables. El diseño geométrico de la carretera y la aplicación de la señalización deben coordinarse de manera que la señalización pueda colocarse de manera efectiva para brindar al usuario de la carretera cualquier información normativa, de advertencia, orientación y otra información necesaria (Federal Highway Administration, 2009).

Las características y tipo de señales se definirán en el APENDICE 10: SEÑALIZACIÓN

2.6 ESTUDIOS DE TRÁNSITO

Los estudios de ingeniería de tránsito se utilizan para obtener datos empíricos relevantes, y esos datos deben recopilarse de manera objetiva e imparcial para dar como resultado decisiones apropiadas para las mejoras. Se puede realizar un estudio para explorar un aspecto o problema específico, lo que conduce a una definición clara del estudio, diseño experimental, reducción de datos y análisis de datos. Alternativamente, se podría realizar un estudio a intervalos regulares para monitorear el rendimiento del sistema. La recopilación de datos para estudios de tránsito también se puede realizar sin recopilar datos en el campo, extrayendo información de los sistemas existentes o modelando el sistema de transporte en una herramienta de simulación de tránsito (Engineers et al., 2016).

Los estudios de tránsito deben considerarse y construirse cuidadosamente. No existe una metodología general para planificar un estudio o seleccionar una técnica de estudio, ya que los problemas de tránsito a menudo son únicos en su alcance y sensibles a las diferencias regionales en el comportamiento y los patrones de viaje.

La necesidad de recopilar datos de campo y la elección de una técnica de estudio en particular depende de los elementos de la pregunta a responder y del análisis planificado. En cualquier momento antes o durante el estudio, el ingeniero tiene la opción de cancelar o reprogramar la recopilación de datos si hay un cambio en las condiciones que causaron la elección particular de la técnica de estudio (Engineers et al., 2016).

Se abordaran estos estudios en el APENDICE 7: CENSOS DE TRÁNSITO Y ESTUDIOS DE VELOCIDAD.

2.6.1 MODELACIÓN DE TRÁNSITO

Los modelos de flujo de tránsito se han aplicado durante casi un siglo para describir, simular y predecir tránsito. El primer modelo mostró una relación entre la distancia entre los vehículos y su velocidad, más tarde, se incluyeron dinámicas en los modelos y se aplicaron modelos para predicciones.

Ahora, las herramientas de simulación de flujo de tránsito se utilizan para la planificación a largo plazo, así como a corto plazo, predicciones basadas en datos de tránsito reales. En el futuro, los modelos y las herramientas de simulación pueden ser más desarrollados para (mejor) soporte, por ejemplo, tránsito dinámico, gestión y planificación de la evacuación (TRB, 2015).

El modelado con simuladores de tránsito es una herramienta cada vez más popular y efectiva para analizar una amplia variedad de problemas dinámicos que no son susceptibles de estudio por otros medios (E. R. Lieberman, Ajay K. , 1997). Estos problemas generalmente están asociados con procesos complejos que no pueden describirse fácilmente en términos analíticos. Por lo general, estos procesos se caracterizan por la interacción de muchos componentes o entidades del sistema. A menudo, el comportamiento de cada entidad y la interacción de un número limitado de entidades pueden entenderse bien y pueden representarse de manera confiable lógica y matemáticamente con una confianza aceptable. Sin embargo, las interacciones complejas y simultáneas de muchos componentes del sistema no pueden, en general, describirse adecuadamente en formas matemáticas o lógicas.

Los modelos de simulación están diseñados para "imitar" el comportamiento de tales sistemas. Los modelos diseñados adecuadamente integran estos comportamientos e interacciones de entidades separadas para producir una descripción detallada y cuantitativa del rendimiento del sistema. Específicamente, los modelos de simulación son representaciones matemáticas / lógicas (o abstracciones) de sistemas del mundo real, que toman la forma de software ejecutado en una computadora digital de manera experimental.

El usuario del software de simulación de tránsito especifica un "escenario" (por ejemplo, configuración de red de carreteras, demanda de tránsito) como entradas

modelo. Los resultados del modelo de simulación describen operaciones del sistema en dos formatos: (1) estadístico y (2) gráfico. Los resultados numéricos proporcionan al analista descripciones cuantitativas detalladas de lo que es probable que suceda. Las representaciones gráficas y animadas de las funciones del sistema pueden proporcionar información para que el observador capacitado pueda comprender por qué el sistema se comporta de esta manera. Sin embargo, es responsabilidad del analista interpretar adecuadamente la gran cantidad de información proporcionada por el modelo para comprender las relaciones de causa y efecto.

Los modelos de simulación de tránsito pueden satisfacer una amplia gama de necesidades (E. R. Lieberman, Ajay K. , 1997), los mismos se describen en el APENDICE 11: SATISFACCIÓN DE MODELOS DE TRÁNSITO.

2.6.2 CLASIFICACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN

Los modelos de simulación pueden clasificarse según el nivel de detalle con el que representan el sistema a estudiar (E. R. Lieberman, Ajay K. , 1997):

- Microscópico (alta fidelidad)
- Mesoscópico (fidelidad mixta)
- Macroscópico (baja fidelidad)

Los mismos se describen en el APENDICE 12: CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN.

2.7 ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROYECTOS VIALES

Comprender los costos de construcción de caminos, mantenimiento de caminos y operación de vehículos es esencial para la planificación y gestión de inversiones viales, especialmente bajo crecientes demandas de infraestructura y recursos presupuestarios limitados. Mientras que los costos de infraestructura corren por los administradores de caminos son sustanciales, los costos a cargo de los usuarios de la carretera son incluso mayores. Por lo tanto, los costos operativos del vehículo (COV)

deben ser considerados por las agencias de caminos al evaluar el pavimento y las Estrategias de inversión. Para vehículos convencionales, estos costos están relacionados con el consumo de combustible y aceite, desgaste de neumáticos, reparación y mantenimiento y depreciación. Estos costos dependen en la clase de vehículo y están influenciados por la tecnología del vehículo, tipo de superficie del pavimento, condición del pavimento, geometría de la carretera, entorno, velocidad de operación y otros factores (T. R. Board, 2012).

2.7.1 CATEGORÍAS DE COSTOS DE VEHÍCULOS

Los costos del vehículo incluyen los gastos directos del usuario para poseer y usar vehículos privados. Estos indican los ahorros que resultan de la reducción de la propiedad y el uso del vehículo. Estos pueden dividirse en fijos (también llamados propiedad o basados en el tiempo, que no se ven afectados por la cantidad que conduce un vehículo) y variables (también llamados operativos, marginales o incrementales, que aumentan con el kilometraje del vehículo). Algunos costos generalmente clasificados como fijos, como la depreciación y el seguro, en realidad aumentan con el kilometraje del vehículo. Por ejemplo, el aumento del kilometraje anual del vehículo tiende a aumentar la frecuencia de mantenimiento y reparación del vehículo, y reduce los valores de reventa. Los automóviles privados generalmente se deprecian durante un período de 10 años, los camiones y autobuses durante más de 20 años (Policy, 2001-2003).

Costos fijos

- Compra y financiamiento
- Seguro
- Cuotas de inscripción
- Mantenimiento Programado
- Estacionamiento residencial

Costos variables

- Combustible y aceite
- Desgaste del neumático
- Refacción

2.7.2 LA BASE ECONÓMICA DEL ANÁLISIS DE BENEFICIOS PARA USUARIOS DE CARRETERAS

El análisis de beneficios para el usuario es fundamentalmente un proceso de análisis económico, en lugar de un Problema de ingeniería. La experiencia en ingeniería es necesaria para diseñar soluciones a los problemas de tránsito. Pero la disponibilidad de una solución de ingeniería no es, por sí sola, suficiente para justificar tomar medidas. El proyecto de mejora debe justificarse económicamente, porque utilizará recursos que tienen valor en otras actividades de la economía.

El dilema de evaluar qué proyectos merecen ser implementados no es nuevo ni confinado al sector público, y mucho menos al sector del transporte. Incluso Benjamin Franklin empleó lo que llamó "álgebra prudencial" para organizar su pensamiento sobre los pros y contras de oportunidades de negocios alternativas. Pero los primeros pensadores solo tenían la mayoría comprensión rudimentaria de cómo implementar el análisis de costo-beneficio y fueron obstaculizados por la forma de tomar decisiones cuando algunas personas estaban mejor y otras peor aún, por una decisión.

En la década de 1930, dos economistas ofrecieron la útil receta de que un proyecto valía la pena hacerlo si sus beneficios exceden sus costos, y los ganadores podrían (al menos conceptualmente) compensar a los perdedores (Kaldor 1939) (Hicks 1940). Este principio, llamado el principio KaldorHicks por sus autores, ha evolucionado con el tiempo en el campo formal del análisis de costo-beneficio. El análisis de costo-beneficio es muy simple, en principio: simplemente calcule los costos y estime los beneficios de cada proyecto candidato. Aquellos proyectos para los cuales se beneficia exceder los costos, en el sentido de Kaldor-Hicks, vale la pena hacerlo, y los que no lo hacen, no lo son (ASSHTO, 2003).

2.8 EL CASO DE LAS INTERSECCIONES VIALES

El análisis del nivel de congestión en las intersecciones viales reviste particular importancia por el impacto en la Seguridad Vial, contaminación ambiental, salubridad humana.

En la Provincia de Mendoza pueden identificarse como principales intersecciones: El Nudo Vial entre Vicente Zapata y Costanera, en la Ciudad de Mendoza, Las Intersecciones entre puentes sobre Acceso Sur y Colectoras en los Departamentos de Godoy Cruz, Luján de Cuyo y Maipú, Intersecciones entre Red de Metrotranvía y Calles perpendiculares en la Ciudad de Mendoza y Godoy Cruz, entre otras.

En particular, la Red de Intersecciones ubicada en el Departamento de Godoy Cruz, Mendoza, sobre Carril Rodriguez Peña entre Acceso Sur y Calle Independencia reviste especial interés para este trabajo de investigación ya que por ellas circulan 40.000 vehículos diariamente de los cuales un 7% corresponde a vehículos pesados, desde distintos Departamentos de la Provincia de Mendoza.

En la Figura 5 se ubica el departamento de Godoy Cruz con ayuda de la herramienta Google Maps:

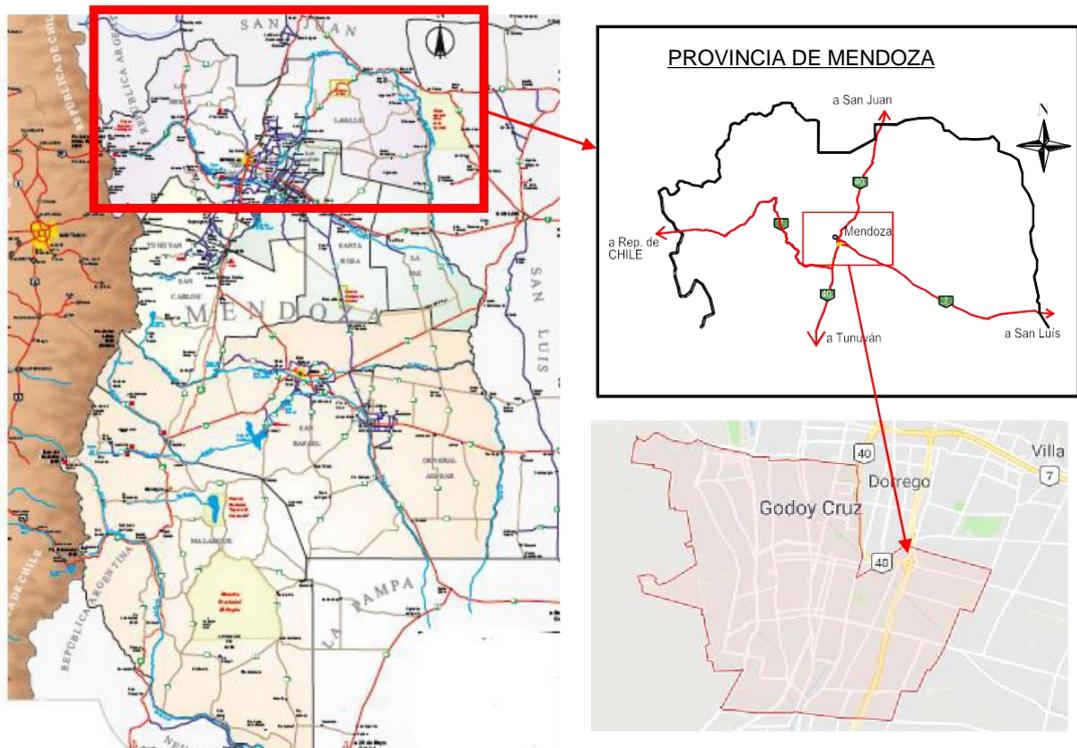


Figura 5. Ubicación de Intersección de Departamento de Godoy Cruz.
Fuente: Elaboración Propia

Esta Red de Intersecciones está ubicada en la Zona Industrial del Departamento de Godoy Cruz comprendida por al menos 33 industrias e instalaciones de diferentes rubros como así también su ubicación es cercana a diferentes puntos de atracción vehicular de la zona. También es la conexión entre dos rutas Nacionales (Ruta Nacional N°40 y Ruta Nacional N°7) de gran afluencia vehicular en dirección Oeste-Este y viceversa.

Dentro de los centros de atracción en la zona, como se dijo anteriormente, se citan algunos en la Figura 6, Figura 7 y Figura 8:

1- ESTACION DE SERVICIO GNC	18- ESTACION DE SERVICIO YPF
2- DESPENSA	19- DISTRIBUIDORA DE LÁCTEOS
3- GOMERÍA	20- METALÚRGICA
4- COMEDOR	21- LOGÍSTICA INTEGRAL
5- NEGOCIO	22- DEPÓSITO
6- GOMERÍA	23- ANDESMAR CARGAS
7- GOMERÍA	24- FÁBRICA DE CONSERVAS
8- DESPENSA	25- AUTOMOTRIZ YACOPINI
9- FRUTERÍA	26- DEPÓSITO
10- LOCUTORIO	27- PEPSI COLA GASEOSAS
11- NEGOCIO	28- BALDÍO
12- FARMACIA	29- VALERIO OLIVA MADERAS
13- DEPÓSITO HARINAS	30- TECNICAGUA SERVICIOS PETROLEROS
14- COMEDOR	31- BÁSCULA FISCAL
15- VIVIENDA	32- SUPERMERCADO BASUALDO
16- BALDÍO	33- FÁBRICA DE TRANSFORMADORES
17- FÁBRICA DE TOLDOS	
↑ ACCESOS	



Figura 6. Referencias de Locales y centros de atracción en Zona Industrial Godoy Cruz sobre Carril Rodríguez Peña.

Fuente: Elaboración Propia



*Figura 7. Punto de atracción Puerto Seco - Godoy Cruz.
Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 8. Punto de atracción Mercado Cooperativo de Godoy Cruz.
Fuente: Elaboración Propia*

Desde la perspectiva del diseño vial integral, los usuarios de la red vial identificados como motoristas, ciclistas y peatones de esta red en estudio son los principales interesados y se centra la realización de esta tesis, en cubrir las expectativas de los mismos en la reducción de la congestión del tránsito. A continuación, se muestran las componentes de la Red de Intersecciones bajo estudio. En la Figura 9 se muestra el área de Influencia donde está ubicada la red de intersecciones en estudio con ayuda de la herramienta Google Maps:



Figura 9. Área de Influencia e Intersecciones en Estudio.
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 10 se indican las distintas Intersecciones que componen la Red Vial en estudio, con ayuda de la herramienta Google Maps:



Figura 10. Red bajo análisis.
Fuente: Elaboración Propia utilizando GoogleEarth

La Figura 11, Figura 12, Figura 13 y la Figura 14 muestra cada Intersección.



*Figura 11. Rulo de bajada Nor-Este de Acceso Sur.
Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 12. Intersección Rodríguez Peña y Calle Diamante.
Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 13. . Intersección Rodríguez Peña y Calle Venezuela.
Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 14. Intersección Rodríguez Peña y Calle Independencia.
Fuente: Elaboración Propia*

Diversos trabajos enfocan el análisis de intersecciones tanto a nivel nacional como regional. Puede citarse propuesta de soluciones a intersecciones (Marcial Alfredo, 2014), (Silvana, 2015), et al. Sin embargo, existe una ausencia de estudios sistemáticos longitudinales a nivel provincial que permitan analizar dicho problema.

2.9 FORMULACION Y FUNDAMENTACION DEL PROBLEMA A INVESTIGAR

Diversos Estudios y Trabajos realizados de análisis de Intersecciones Urbanas (Celis, 2006), (Padilla, Cesar, Ullo, & Alvaro, 2016), (Villacreses Cabrera, 2015), (Uribe, 2009), (Estefanny & Maicol Fernando, 2017), (Juan Paul Edward, 2019), (Garcia, Bencomo, & Esparza, 2015), (Rosa & Ismael, 2018), (Victor, 2016), (Alva, 2003), proponen o estudian éstas sin tener consideraciones de variables como ser el Costo Operativo Vehicular, siendo algo no menor en este tipo de análisis.

La congestión vehicular es el principal motivo de Análisis de una Intersección o Red Vial de Intersecciones ya sea en etapa de operación o proyecto. Algunos autores (Padilla et al., 2016) atribuyen la ocurrencia de ésta por un mal Diseño Geométrico e Inadecuada Planificación.

Para dar solución a los problemas de Congestión de Tránsito Vehicular algunos autores como (Estefanny & Maicol Fernando, 2017) evalúan las Intersecciones Urbanas usando herramientas de Diseño Geométrico y simuladores de tránsito vehicular a través de Softwares para tal fin. Otros autores (Juan Paul Edward, 2019) no tienen en cuenta la existencia de distintos usuarios de intersecciones como peatones o ciclistas.

Existen propuestas metodológicas (Villacreses Cabrera, 2015), (Uribe, 2009) pero se considera que resuelven parcialmente, desde el punto de vista del Autor de éste trabajo de investigación, la evaluación efectivamente la congestión vehicular de una Intersección o Red Vial de Intersecciones. Se busca proponer una visión Integral de la Problemática en una Red Vial de Intersecciones ya sea desde el Diseño geométrico, Planificación Vial, confort de los usuarios, Ingeniería de Tránsito, Seguridad Vial, Análisis Económico, y de esta manera generar una metodología de Análisis contemplando múltiples variables.

El importante crecimiento del consumo de vehículos en la Argentina, y en particular en la ciudad de Buenos Aires, desde comienzos de la década, exacerbó la problemática vinculada a la calidad del tránsito en las áreas urbanas. La congestión pasó a ser un tema de debate en el que se involucraba la relativamente escasa oferta de infraestructura vial, tanto como la oposición entre transporte público y transporte particular. En este marco, y desde distintos niveles gubernamentales, se intentan generar propuestas y brindar respuestas no siempre articuladas (Rima, Gerosi, & Rearte, 1996).

En Mendoza, el crecimiento del área urbana no estuvo unida a una planificación previa. Las localizaciones poblacionales son autorizadas por las municipalidades y al no existir coordinación entre ellas se producen desequilibrios en la densidad habitacional. Este hecho impacta en el crecimiento del tráfico el que supera, especialmente en algunos horarios, la capacidad para la que fueron construidas las calles provocando situaciones de congestión (Lara, Solavallone, Piacentini, Marsonet, & Millán, 2002).

Se ha visto una ausencia de estudios longitudinales por parte de Ingenieros de Especialidad Vial en la Provincia de Mendoza, que aborden temas de Congestión de Tránsito y propongan Metodologías de análisis para abordarlos.

En consecuencia, el diseño base de investigación, que se muestra a continuación, establece el marco de referencia para el estudio de las relaciones entre las variables intervinientes. Este diseño explicita la existencia de variables independientes y variables dependientes.

La Demanda de Transporte en aumento surge de la variación diaria de vehículos o debido a eventos especiales (Cambridge Systematics, 2005), como así también del desarrollo urbano (James, 2018), la importancia de la zona (Cambridge Systematics, 2005) y las Características Físicas y Diseño Vial (Cambridge Systematics, 2005) del tramo en estudio, sección del camino o Intersección. El aumento de la demanda tiene influencia directa en la Congestión de Tránsito. La Congestión de Tránsito también es sensible a la posibilidad de ocurrencia de accidentes de acuerdo a las condiciones de Seguridad Vial existentes. (Roess et al., 2004)

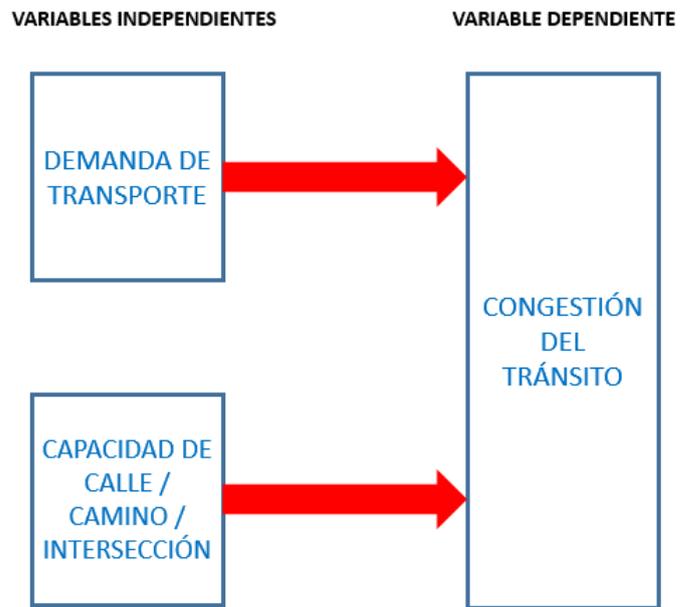
La velocidad de circulación (Roess et al., 2004) también será una variable que determinará el grado de Congestión Vehicular. Como se mencionó anteriormente el confort (Roess et al., 2004) y conveniencia o libertad de decisión de rutas de circulación por parte de los usuarios es importante también para la evaluación de Congestión Vehicular.

Los parámetros económicos, estéticos y ambientales (Thomson et al., 2003) son tenidos en cuenta en las posibles intervenciones en el Tramo, Sección de la vía o Intersección, cuando se requiere reducir la Congestión de Tránsito.

Para orientar el presente trabajo se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los criterios de diseño que permiten lograr una mejor solución integral en una Red de Intersecciones?

El modelo que relaciona las variables se muestra en la Figura 15. Relación entre variables de Estudio.



*Figura 15. Relación entre variables de Estudio.
Fuente: Elaboración Propia*

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1 INTRODUCCIÓN

Existe una ausencia de estudios académicos de la relación entre la demanda de transporte y la capacidad vial de la calle / camino / intersección y el nivel de congestión del tránsito en intersecciones viales en un contexto cultural distinto del norteamericano, asiático o europeo. En particular, existe una ausencia de estudios académicos longitudinales a nivel regional y provincial de la relación entre la demanda de transporte y la capacidad vial de la calle / camino / intersección y el nivel de congestión del tránsito en intersecciones viales. En particular existe una ausencia de estudios académicos de dicha relación en intersecciones viales ubicadas en zonas industriales en la provincia de Mendoza, Argentina. El presente estudio, de tipo descriptivo, experimental, vía simulación, identificará los factores que determinan la demanda de transporte y la capacidad vial de la calle / camino / intersección con el nivel de congestión del tránsito en el análisis del caso particular de la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña en la provincia de Mendoza, Argentina.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la diferencia en el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales bajo estudio, generada por el diseño vial basado en paradigmas actuales o tradicionales y el diseño vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial.

3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el nivel de demanda de transporte alcanzado en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña.
2. Evaluar la capacidad vial de la calle / camino / intersección en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña
3. Determinar el nivel de congestión del tránsito la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El marco metodológico elegido para esta investigación corresponde a un paradigma cuantitativo, con un diseño de investigación descriptivo y experimental vía simulación (Borja, 2012; E. Lieberman & Rathi, published in 1975/1997). La investigación de esta tesis será de tipo descriptiva ya que se describen situaciones o eventos, se busca especificar propiedades, características comportamiento de Intersecciones comprendidas dentro de una Red Vial y se miden diversos aspectos o características del fenómeno a investigar. La investigación también será experimental ya que se modificarán las variables independientes identificadas como demanda de transporte y la capacidad vial de la calle / camino / intersección para determinar su impacto en el nivel de congestión de la intersección bajo análisis y poder observar el comportamiento resultante de la red vial.

3.4 PLANTEO DE LA HIPÓTESIS

Para ésta investigación se establecerá la siguiente hipótesis de investigación o hipótesis alternativa:

Hi: El nivel de congestión de tránsito en la red de intersecciones se ubicará sistemáticamente en un valor menor para al menos una de las propuestas de diseño vial integral al comparar su valor con el nivel de congestión de tránsito resultante del

diseño vial tradicional.

En consecuencia, la hipótesis nula será:

Ho: El nivel de congestión de tránsito en la red de intersecciones resultante de un diseño vial integral alcanza mayor o igual valor que el nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional.

3.5 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.5.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES

En el marco de esta investigación, se considera la demanda de transporte como variable independiente, se mide como Cantidad de Vehículos, su valor se construye a través de la medición del número de vehículos que circulan por una sección de camino / calle / intersección durante un tiempo determinado, medido en número de vehículos por hora **N° veh/hora**.

De igual forma, se considera la capacidad vial de una calle / camino / intersección como segunda variable independiente. Esta variable se mide a través del indicador Nivel de Servicio que se define como la calidad del flujo de vehículos que circulan en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo las condiciones prevalecientes de la calle / camino / intersección y el tránsito. Las condiciones prevalecientes de la calle / camino / intersección se refieren a las características geométricas como el número y ancho de carriles, ancho de banquetas, el alineamiento horizontal y vertical y los dispositivos de control. Este indicador es cualitativo, se define a través de las condiciones de operación de un flujo de vehículos y de la percepción por los conductores o pasajeros.

Estas condiciones se describen en términos de factores como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, las interrupciones a la circulación, formación de colas de vehículos en espera, la comodidad, las conveniencias y la seguridad vial.

Finalmente, se considera la congestión del tránsito como variable dependiente. Esta variable se mide a través del indicador longitud de colas de vehículos y de la velocidad promedio de circulación en una calle / camino / intersección, que se define como la situación de demora de vehículos ocasionada por la variabilidad de flujos de vehículos en una sección de calle / camino / intersección. Estos indicadores son cuantitativos, ordinales con un rango de valores entre cero e infinito. Su valor se construye a través de la medición de la velocidad promedio de circulación, medida en kilómetros por hora **Km/h**, en una calle / camino / intersección como así también de la longitud, medida en **metros**, de las colas de vehículos en una calle / camino / intersección (Ashhad Verdezoto, Cabrera Montes, & Roa Medina, 2020). La Figura 15 muestra la relación entre las variables bajo estudio.

3.5.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los valores que toma la variable demanda de transporte se obtendrán de Censos de Tránsito de las Intersecciones en estudio, realizados en el año 2013 por la Dirección Provincial de Vialidad de Mendoza y de mediciones de Censos efectuados en el mismo sitio por el Autor en el año 2017.

Los valores que toma la variable capacidad vial de una calle / camino / intersección (resultante del diseño vial tradicional) medida a través del indicador Nivel de Servicio, surgen de las observaciones en operación de la Red de Intersecciones. Los valores que toma la variable capacidad vial de una calle / camino / intersección (resultante del diseño vial integral) medida a través del indicador Nivel de Servicio, surgen de las observaciones del flujo vehicular a través de la Simulación del tránsito en dicha red de intersecciones utilizando el software de simulación de tránsito VISSIM 7.0 y el modelado de las condiciones según la situación actual y las distintas alternativas propuestas.

Los valores que toma la variable dependiente congestión del tránsito (resultante del diseño vial tradicional) medida a través del indicador longitud de Cola y velocidad promedio de la Red de Intersecciones, surgen del cálculo del mismo a partir de datos

del período 2013 -2017 obtenidos de los Censos realizados. Los valores que toma la variable congestión del tránsito (resultante del diseño vial integral) medida a través del indicador longitud de Cola y velocidad promedio de circulación en la Red de Intersecciones surgen del cálculo del mismo a través de la simulación del tránsito en dicha red de intersecciones utilizando el software de simulación de tránsito VISSIM 7.0 y el modelado de las condiciones según la situación actual y las distintas alternativas propuestas. Esta variable impacta en forma negativa en el Tránsito y tiempo de viaje del usuario y puede visualizarse en gráficos de trayectoria tiempo – espacio como puede observarse en (ver Figura) o a través de gráficos de comparación de tiempo de viaje en horas pico y no pico (ver Figura) (Anderson Bomar & Meyer, 2016).

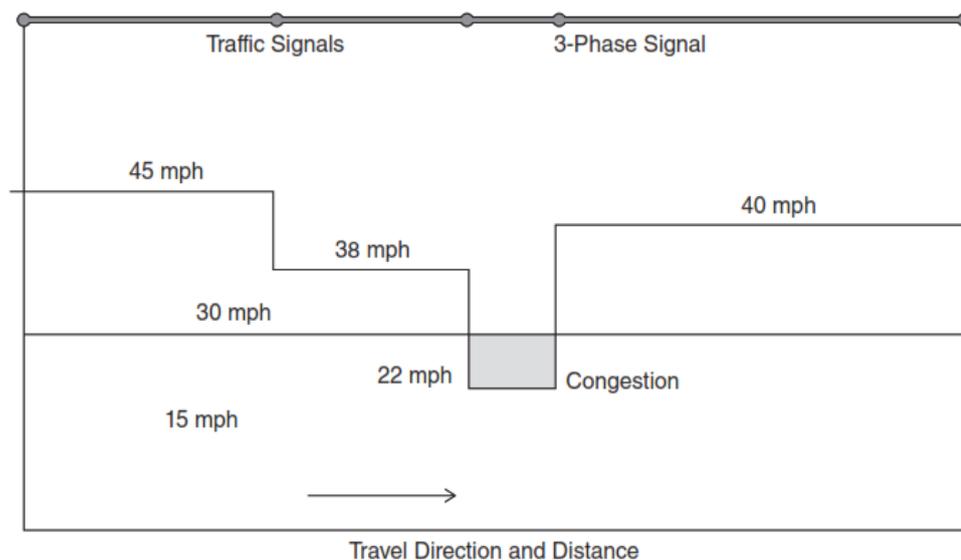


Figura 16: Perfil de velocidad ilustrativo del tiempo de viaje

Fuente: Reproducido de Anderson Bomar, M. D., & Meyer, M. D. (2016). Travel Characteristics and Data. In M. D. Meyer (Ed.), *Transportation planning handbook / Institute of Transportation Engineers* (4th ed., Vol. 1, pp. 17-74). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, p. 45

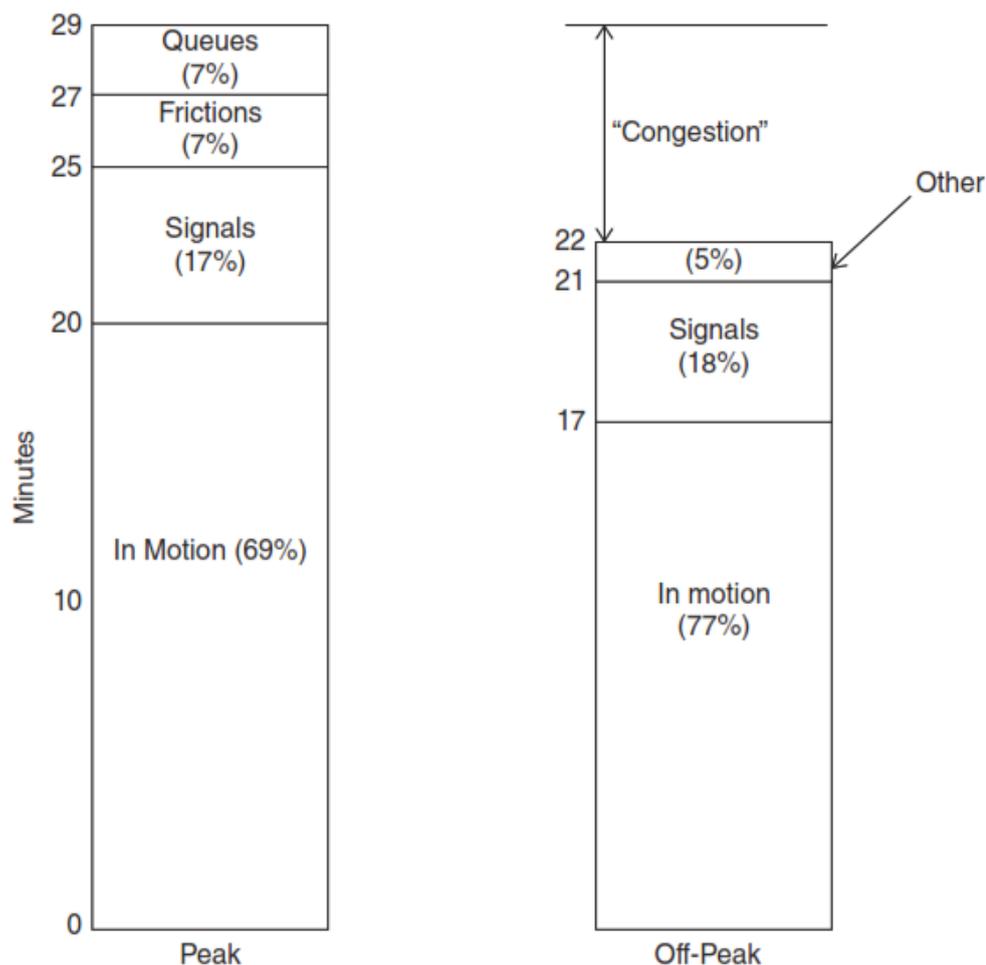


Figura 17: Diagrama ilustrativo de tiempo de viaje y demoras

Fuente: Reproducido de Anderson Bomar, M. D., & Meyer, M. D. (2016). Travel Characteristics and Data. In M. D. Meyer (Ed.), *Transportation planning handbook / Institute of Transportation Engineers* (4th ed., Vol. 1, pp. 17-74). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, p. 46

3.6 USO DE HDM-VOC

En el análisis y mejora de las propuestas de solución planteadas en pos de mejorar la situación de congestión de tránsito en la red de Intersecciones en estudio, se utilizará en forma complementaria para la determinación del costo de operación vehicular el software HDM-VOC.

El Banco Mundial inició un estudio internacional colaborativo lo que condujo a las relaciones de costos operativos del vehículo, y los presenta en un pequeño programa de computadora fácil de usar que puede ser usado independientemente del modelo más grande. El programa HDM-VOC predice los diversos componentes de los costos

operativos del vehículo basados en la carretera y el vehículo. Características y costos unitarios en un entorno de tránsito de flujo libre. Los cálculos se proporcionan para diez tipos de vehículos que van desde automóviles pequeños hasta camiones articulados, y velocidad de cómputo, cantidades físicas consumidas y costos operativos totales. Los costos operativos totales de la flota, las tablas de sensibilidad y las relaciones de costos también son desarrollados.

3.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para realizar este estudio se implementará un diseño longitudinal experimental vía simulación. El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. Para ello se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.

El modelado vía simulación es una herramienta cada vez más popular y efectiva para analizar una amplia variedad de problemas dinámicos que no son susceptibles de estudio por otros medios. Estos problemas son generalmente asociados con procesos complejos que no pueden describirse fácilmente en términos analíticos. Por lo general, estos procesos se caracterizan por la interacción de muchos componentes del sistema o entidades. A menudo, el comportamiento de cada entidad y la interacción de un número limitado de entidades, puede entenderse bien y puede ser representado de forma fiable lógica y matemática con una certeza razonable. Sin embargo, las interacciones complejas y simultáneas de muchos componentes del sistema no pueden, en general, describirse adecuadamente en formas matemáticas o lógicas.

Los modelos de simulación están diseñados para "imitar" el comportamiento de tales sistemas. Los modelos correctamente diseñados integran estas interacciones y comportamientos aislados de las entidades para producir una descripción cuantitativa detallada del rendimiento del sistema. Específicamente, los modelos de simulación son representaciones lógico / matemáticas (o abstracciones) de sistemas del mundo real, que toman la forma de software ejecutado en una computadora digital en un formato de experimento.

El usuario del software de simulación de tráfico especifica un "escenario" (por ejemplo, configuración de la red de carreteras y demanda de tráfico) como entradas del modelo. Las salidas del modelo de simulación describen las operaciones del sistema en dos formatos: (1) estadístico y (2) gráfico. Los resultados numéricos proporcionan al analista descripciones detalladas cuantitativas de lo que es probable que suceda.

Las representaciones gráficas y animadas de las funciones del sistema pueden proporcionar diferentes perspectivas del problema bajo análisis de modo que el observador capacitado pueda obtener una comprensión de por qué el sistema se está comportando de esta manera. Sin embargo, es responsabilidad del analista de interpretar correctamente la riqueza de información proporcionada por el modelo para comprender las relaciones causa y efecto.

Los modelos de simulación de tráfico pueden satisfacer una amplia gama de requisitos tales como: 1) evaluación de tratamientos alternativos al ganar control del ambiente experimental y del rango de condiciones a ser exploradas; 2) prueba de nuevos diseños antes de comprometer los recursos físicos asignados al obtener el flujo vehicular en respuesta a diferentes diseños geométricos; 3) como elemento del proceso de diseño al permitir numerosas iteraciones del diseño y las consecuentes evaluaciones para poder identificar los puntos de mejora y las restricciones del diseño; 4) integrado con otras herramientas de análisis y diseño; 5) capacitación del personal de Centros de Gestión de Tráfico al integrar el modelo de simulación con una computadora de control de tráfico en tiempo real, para sustituir los entornos de tráfico, comunicaciones y vigilancia del mundo real; y 6) análisis de seguridad del diseño vial al recrear escenarios de accidentes para identificar los puntos de mejora (E. Lieberman & Rathi, published in 1975/1997).

En términos generales, el proceso de simulación requiere la realización de los siguientes pasos: 1) planteamiento del problema, 2) selección de la(s) variable(s) respuesta, 3) elección de factores y niveles, 4) elección del diseño experimental o tipo de experimento, 5) desarrollo del experimento, 6) análisis estadístico de los datos, y 7) conclusiones y recomendaciones. (Montgomery, 2017)

El uso de simuladores digitales (Vollebregt, 1996) para el análisis de diferentes procesos ha sido ampliamente debatido y aceptado (Anderson Bomar & Meyer, 2016; Kim, Kang, Choi, & Kim, 2017; Salazar Uribe & Baena Zapata, 2009) dada su conveniencia para el desarrollo de estudios experimentales. Su área de aplicación es amplia incluyendo procesos de manufactura (Fatfouta, Stal-Le Cardinal, & Royer, 2019; Fernández Henao, Pérez Rendon, & Medina Varela, 2019; Oviedo-Trespalcios & Peñabaena, 2015); obras civiles (Martinez, 2010); rediseño y mejora de redes de datos (Szczerbicka, Trivedi, & Choudhary, 2004); rediseño y mejora de servicios (Cardona, Arenas, González, & Cárdenas, 2011); y análisis de tráfico vehicular (Blum, 1968, 1970; Deepak Gopalakrishna (Battelle), 2009-2012; Dewees, 1978 ; Kiunsi, 2013; Kusumastutie & Rusmandani, 2018; Mahmud, Ferreira, Hoque, & Tavassoli, 2019; Zadobrischi, Cosovanu, & Dimian, 2020) tanto en redes de tránsito (Bakar et al., 2018; LIN, YANG, & GAO, 2013; Muniruzzaman, Orvin, Hadiuzzaman, Wasif, & Nasrin, 2019) como autopistas e intersecciones (Blum, 1964; Briggs, 1979 ; Darzentas, Cooper, Storr, & McDowell, 1980; Essa & Sayed, 2015; Zhu, Jia, & Zhao, 2010).

Con la recopilación de esta información y la modificación de variables, se va a realizar el respectivo estudio y análisis de la red vial en estudio, buscando implementar medidas correctivas para todas las intersecciones que componen la red en estudio y su área de influencia.

Los procedimientos de investigación que se realizarán para el eficiente desarrollo de la tesis serán los siguientes (Engineers et al., 2016):

En primer lugar, se procede a realizar el análisis macro del área de influencia, siendo éste análisis de suma importancia ya que puede modificar las intersecciones de la red viaria.

Este análisis del área de influencia de la red debe contener los siguientes datos:

- Estimación de Velocidades en la Vía principal
- Cantidad de vehículos/peatones
- Característica del transporte
 - Transporte público
 - Transporte particular
- Zonificación del área de influencia
- Cantidad y tipos de giros en cada intersección vial urbana
- Señalización vertical y horizontal existente
- Estadísticas de accidentes viales

A partir de estos datos y con ayuda del simulador de tránsito puede analizarse el nivel de congestión de la red de intersecciones bajo estudio y se determina la existencia de limitaciones de circulación y seguridad vial en la red, ya que se toma en cuenta todos los factores que intervienen en la misma.

Posteriormente, se procede a ampliar los datos del análisis previo mediante censos vehiculares. Luego de censar las intersecciones viales urbanas se procede a analizar los datos, elaborar los diagramas de flujos de toda la red que forma parte de la influencia directa, y con esto podemos obtener la hora de máxima demanda, el factor horario de máxima demanda, volumen horario de máxima demanda, niveles de servicio, entre otra información.

Además, se procede a la modelación de la situación actual de la vía (siguiendo la metodología de diseño tradicional) mediante software de modelación de tránsito para observar el comportamiento de la misma, de modo de poseer mayores elementos para

una adecuada decisión de solución al problema detectado.

Posteriormente, se modela el conjunto de intersecciones bajo estudio, siguiendo la metodología de diseño integral. Las soluciones resultantes, que incluyen las proyecciones de tránsito a futuro, se comparan con la situación actual de la red de intersecciones para validar el resultado obtenido.

El último paso consiste en determinar los beneficios de la intervención a la vía y contrastar estos beneficios así determinados con la realidad una vez ejecutada físicamente la obra que se plantea como solución de proyecto.

3.7.1 ETAPAS DEL ESTUDIO

El estudio a realizar por el autor en este trabajo de investigación, comprende dos etapas:

1° Etapa: Modelación del tránsito:

Esta etapa tiene el objeto de simular el comportamiento del tránsito actual y futuro en situación sin proyecto y con proyecto (alternativas de solución). El proceso de simulación requiere la realización de los siguientes pasos: 1) planteamiento del problema, para este caso la red de Intersecciones 2) selección de la(s) variable(s) respuesta, las variables mencionadas en capítulos anteriores, cantidad de vehículos que circulan por la Red de Intersecciones 3) elección de factores y niveles, 4) elección del diseño experimental o tipo de experimento, 5) desarrollo del experimento, 6) análisis estadístico de los datos, y 7) conclusiones y recomendaciones.(Montgomery, 2017).

Esta etapa, en síntesis, comprende efectuar la modelación del tránsito para la situación actual (sin proyecto) con el fin de ajustar el modelo y evidenciar en el mismo las condiciones actuales del tránsito. Para ello se debió efectuar un censo completo de tránsito del tipo de censo de cobertura. Una vez ajustado el modelo, y proyectado el tránsito a futuro, se plantean alternativas de solución al problema, y se modelan para tránsito actual y futuro con el fin de determinar la solución técnico-económica más conveniente para el caso.

2º Etapa: Anteproyecto de la solución adoptada

Adoptada la solución técnica-económica más conveniente, se procederá a la elaboración del anteproyecto de la solución adoptada: Diseño geométrico, evaluación de drenajes, documentación gráfica (planialtimetrías, perfiles tipo, perfiles transversales).

3.7.2 VALIDEZ METODOLÓGICA DEL DISEÑO

Las amenazas a la validez de una investigación son razones específicas por las cuales el investigador puede estar equivocado cuando efectúa una inferencia. La validez metodológica se define como “la mejor aproximación posible a la verdad o falsedad de una proposición”(Cook & Campbell, 1979, p. 37). A la luz de esta definición, no se puede hablar de la validez o invalidez de la investigación *per se* sino de la validación de las conclusiones y/o inferencias que surgen como conclusiones de la investigación (Brewer, 2000). Dado que el proceso de investigación tiene tradicionalmente diferentes componentes (la especificación, medición y/o manipulación de variables teóricas; la selección de un particular tipo de diseño para la investigación; el análisis de los datos obtenidos del estudio realizado y la interpretación y robustez de los hallazgos), se extiende el concepto de validez y se lo asocia con cada componente para evaluar la suficiencia de cada uno de ellos(Brinberg, 1982). Desde la perspectiva del diseño experimental vía simulación se consideró el enfoque de Cook & Campbell para incluir en este análisis la validez interna del diseño de la investigación; la validez externa de los hallazgos de la investigación; la validez de los constructos operacionales; y la validez de las conclusiones estadísticas del análisis de los datos obtenidos (Brewer, 2000; Brinberg, 1982; Cook & Campbell, 1979).

3.7.3 VALIDEZ DE LOS CONSTRUCTOS OPERACIONALES

En relación con la validez de los constructos operacionales, el análisis se refiere a la validez de los instrumentos de medición y sus condiciones de uso para medir los conceptos en investigación.

Los valores que toma la variable demanda de transporte se obtendrán de censos de tránsito para el período comprendido en los años 2013-2017. Los valores varían entre 1000 y 6000 vehículos. El nivel de error es de más menos 10%.

Los valores que toma la variable Capacidad Vial de una calle / camino / intersección (resultante del diseño vial tradicional) medida a través del indicador Nivel de Servicio surgen de observaciones de colas de vehículos. Los Niveles de Servicio varían en una escala de seis Niveles; A, B, C, D, E y F ver APENDICE 1: NIVEL DE SERVICIO EN CALLES URBANAS Y CAPACIDAD EN ENTRECruzAMIENTOS.

Los valores que toma la variable capacidad vial de una calle / camino / intersección (resultante del diseño vial integral) medida a través del indicador Nivel de Servicio surgen de las observaciones del flujo vehicular a través de la simulación del tránsito en dicha red intersecciones utilizando el paquete de software VISSIM 7.0 y el modelado de las condiciones según la situación actual y las distintas alternativas propuestas.

Los valores que toma la variable dependiente congestión del tránsito (resultante del diseño vial tradicional) medida a través del indicador longitud de cola y velocidad promedio de la Red de Intersecciones, surgen del cálculo del mismo a partir de datos del período 2013-2017 obtenidos de los censos realizados.

Los valores que toma la variable dependiente congestión del tránsito (resultante del diseño vial integral) medida a través del indicador longitud de cola y velocidad promedio de la Red de Intersecciones, surgen del cálculo del mismo a través de la simulación del tránsito de dicha Red de Intersecciones utilizando el software VISSIM

7.0 y el modelado de las condiciones según la Situación Actual y las distintas alternativas propuestas.

Por lo expuesto este diseño presenta suficiente validez de los constructos operacionales.

3.7.4 VALIDEZ INTERNA

La validez interna de un estudio se define como “la validez aproximada con la cual se puede inferir que la relación entre dos variables es causal” (Cook & Campbell, 1979, p. 37) en el contexto de una determinada investigación (Brewer, 2000). En relación con la validez interna del estudio, el análisis se refiere a identificar y neutralizar los factores que afectan el poder llegar a una inferencia verdadera de la relación causa - efecto o relación causal buscada.

3.7.5 VALIDEZ EXTERNA

La validez externa de un estudio es el grado en el cual los resultados obtenidos se pueden generalizar a diferentes poblaciones, contextos, tiempo, variaciones del tratamiento y tipos de variables (a diferentes pero relacionadas variables dependientes) (Brewer, 2000; Cook & Campbell, 1979; Johnson & Christensen, 2012; Jones, 2012). Las amenazas a dicha validez están dadas principalmente por la interacción de la selección y el tratamiento; la interacción del contexto organizacional elegido y el tratamiento; y la interacción entre un grupo particular de gente y el tratamiento (Trochim & Donnelly, 2007). La validez externa de los resultados de este estudio se evaluará durante el desarrollo de las conclusiones finales.

CAPITULO 4: ANALISIS DE DATOS

En este capítulo se detallará toda la información obtenida para el desarrollo de esta Tesis, el modo de obtención como así también los cálculos y procesamientos realizados.

4.1 DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO Y ANALISIS DE USUARIOS DE LA RED DE INTERSECCIONES.

4.1.1 ESTUDIO DE FLUJO VEHICULAR

La Metodología para la determinación de los volúmenes de tránsito se basa principalmente en la realización de censos de tránsito vehicular en las intersecciones viales urbanas que comprenden el área de influencia del estudio realizado, con ciertas características que se explican a continuación:

- El conteo de tránsito, por las características de investigación de este trabajo de investigación, se hará mediante el conteo manual de los vehículos en las horas de máxima demanda que regularmente transitan por la vía.
- El censo se realizará registrando el tránsito por cada sentido de circulación.
- Se registrará el tránsito de la intersección a intervenir y el área de influencia colindante por cada carril.

VARIACIÓN HORARIA DEL TRÁNSITO EN MENDOZA

Para obtener la variable Demanda de Transporte, se determina la cantidad de vehículos a partir de censos y mediciones del tránsito en la Red de Intersecciones. Para esta medición, primeramente, se determina como fluctúa durante el día la demanda de transporte en la Ciudad de Mendoza y alrededores. De esta manera, pueden identificarse cuáles son las horas en las que se producen los mayores movimientos de transporte. A partir de esto se observa cuáles son las horas, durante

el día, en las que la Ciudad de Mendoza tiene mayor demanda de transporte.

Las variaciones de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día dependen del tipo de ruta, según las actividades que prevalezcan en ellas dado que hay rutas de tipo turístico, agrícola, comercial, etc. En Mendoza se han estudiado cuales son los días de la semana que llevan los volúmenes normales de tránsito. En caminos secundarios de tipo agrícola, los máximos volúmenes se presentan entre semana. En las calles de la ciudad, la variación de volúmenes de tránsito diario no es muy pronunciada entre semana, esto es, están más o menos distribuidos en los días laborales, sin embargo, los más altos volúmenes ocurren los viernes, esto es debido a que los viernes se suma el tránsito diario de día hábil más los flujos por desplazamientos a zonas de recreación y turismo.

La variación horaria del flujo vehicular en Mendoza sigue aproximadamente el siguiente patrón:

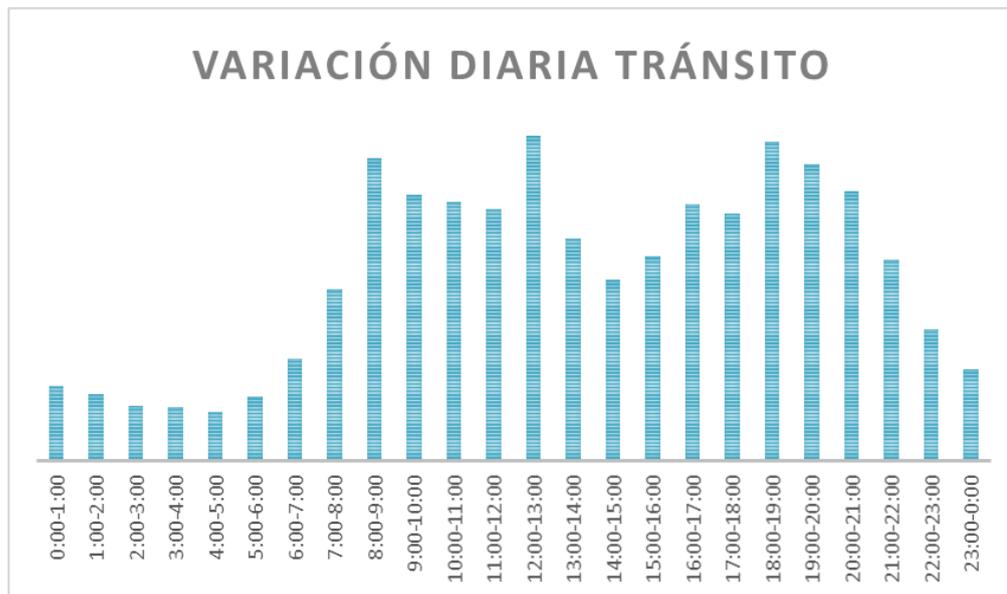


Gráfico 1. Variación Horaria de Flujo Vehicular en Mendoza

Fuente: Adaptado por el autor de información de Dirección de Vías y Medio de transporte, Ciudad de Mendoza

Estos datos surgen a partir de mediciones realizadas por parte de la Dirección de Vías y Medios de Transporte de Mendoza, con cámaras de video situadas en distintos puntos de la Ciudad de Mendoza.



*Figura 18. Cámaras de video utilizadas para mediciones de tránsito en la Ciudad de Mendoza
Fuente: fotografía elaboración Propia*

Pueden identificarse claramente mayores flujos vehiculares en las franjas horarias de Mañana entre las 7:30hs y 9hs, Mediodía entre las 12:30hs y 14hs y por la Tarde de 17:30hs a 19:30hs.

La hora punta u hora pico es la denominación que se le da al periodo de tiempo, no necesariamente una hora, en el que se producen congestiones. Las principales razones por las cuales se producen estas congestiones son debido a que la mayor parte de la gente ingresa o egresa con sus vehículos de sus puestos de trabajo a una misma hora y esto puede combinarse con el acceso del horario escolar. Dado que la Red de Intersecciones en estudio se ubica a 10km de la Ciudad de Mendoza, se establece que los comportamientos en cuanto a variación de flujos vehiculares son similares al de la Ciudad de Mendoza.

Dado que la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) no posee estaciones censales de tipo permanente, para obtener el volumen horario de diseño del Carril Rodríguez Peña (Ruta Provincial N°4 - R.P N°4), como aproximación se procedió a determinar la hora de máxima demanda u hora pico a partir de los valores de tránsito horario del censo vehicular efectuado el 18 de Diciembre de 2013 por el Departamento de

Planeamiento de la Dirección Provincial de Vialidad Mendoza en la Intersección de Rodríguez Peña con Calle Diamante, a partir del cual se puede identificar que los horarios en los que existe la mayor cantidad de vehículos se ubican dentro de la franja horaria de las 8:00hs a 9:00hs.

A continuación, se muestran los datos suministrados por la DPV correspondientes a censos realizados en las Intersecciones Carril Rodríguez Peña y Calle Diamante, Carril Rodríguez Peña y Calle Venezuela y Carril Rodríguez Peña y Calle Independencia.

VOLUMEN GENERAL DE TRANSITO DIARIO CON CLASIFICACION VEHICULAR

HORARIO	Puesto de Conteo: N O R T E																							
	Circulación NORTE / NORTE - DIAMANTE a LATERAL					Circulación NORTE / ESTE - DIAMANTE a R. PEÑA																		
	Clasificación Vehicular		Transporte de Carga			Clasificación Vehicular		Transporte de Carga																
	Tot.	%	Biciclos	Motos	Autos	Lineas	Otros	Chasis	Semi Rl.	Con	Tot.	%	Biciclos	Motos	Autos	Lineas	Otros	Chasis	Semi Rl.	Con				
08:00 - 08:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	25,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	38,89	
09:00 - 09:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	41,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	16,67	
11:00 - 11:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	18,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	33,33	
12:00 - 12:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	27,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11,11	
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	100	
Porcentajes	0,00	0,00	45,45	36,36	0,00	0,00	9,09	9,09	0,00	0,00	16,67	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,33	25,00	
	Puesto de Conteo: S U R																							
	Circulación SUR / NORTE - DIAMANTE a LATERAL					Circulación SUR / ESTE - DIAMANTE a R. PEÑA																		
	Clasificación Vehicular		Transporte de Carga			Clasificación Vehicular		Transporte de Carga																
	Tot.	%	Biciclos	Motos	Autos	Lineas	Otros	Chasis	Semi Rl.	Con	Tot.	%	Biciclos	Motos	Autos	Lineas	Otros	Chasis	Semi Rl.	Con				
08:00 - 08:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	27,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	25,00	
09:00 - 09:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	28,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	41,67	
11:00 - 11:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	21,88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	16,67	
12:00 - 12:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	22,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	21,62	
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	147	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	100	
Porcentajes	0,00	0,00	37,50	30,00	0,00	0,00	8,25	0,00	8,25	0,00	25,00	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,33	25,00	
	Puesto de Conteo: E S T E																							
	Circulación ESTE / NORTE - R. PEÑA a DIAMANTE					Circulación ESTE / ESTE - R. PEÑA a R. PEÑA																		
	Clasificación Vehicular		Transporte de Carga			Clasificación Vehicular		Transporte de Carga																
	Tot.	%	Biciclos	Motos	Autos	Lineas	Otros	Chasis	Semi Rl.	Con	Tot.	%	Biciclos	Motos	Autos	Lineas	Otros	Chasis	Semi Rl.	Con				
08:00 - 08:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09:00 - 09:59	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	25,93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11:00 - 11:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	22,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12:00 - 12:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	29,63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	27	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Porcentajes	0,85	10,17	46,61	21,12	0,00	0,00	17,60	3,36	0,85	0,00	0,35	1,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Puesto de Conteo: O E S T E																							
	Circulación OESTE / NORTE - R. PEÑA a DIAMANTE					Circulación OESTE / ESTE - R. PEÑA a R. PEÑA																		
	Clasificación Vehicular		Transporte de Carga			Clasificación Vehicular		Transporte de Carga																
	Tot.	%	Biciclos	Motos	Autos	Lineas	Otros	Chasis	Semi Rl.	Con	Tot.	%	Biciclos	Motos	Autos	Lineas	Otros	Chasis	Semi Rl.	Con				
08:00 - 08:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	28,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09:00 - 09:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	28,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11:00 - 11:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	20,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12:00 - 12:59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	22,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Porcentajes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	TOTAL INTERSECCION																							
	Tot.	%											Tot.	%										
	9.365	100											9.365	100										

Figura 19. Planilla con datos de censo obtenidos DPV Rodríguez Peña y Calle Diamante.
Fuente: DPV Mendoza. (Ver explicación Planillas ANEXO A: Planillas para Censos)

CENSO RODRIGUEZ PEÑA E INDEPENDENCIA													
MANIOBRA	VEHÍCULOS	TOTAL						TOTAL					
		7:30-8:00	8:00-8:30	TOTAL	8:30-9:00	9:00-9:30	TOTAL	12:00-12:30	12:30-13:00	TOTAL	13:00-13:30	13:30-14:00	TOTAL
	Autos y Cam	16	17	33	21	33	54	24	31	55	35	23	58
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	0	1	1	0	1	1	3	2	5
	Autos y Cam	16	27	43	16	22	38	26	22	48	8	7	15
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	1	5	6	7	7	14	9	4	13	6	6	12
	Autos y Cam	96	100	196	98	92	190	96	60	156	85	11	96
	Omnibus	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2
	Camiones	7	9	16	15	10	25	8	10	18	5	10	15
	Autos y Cam	15	7	22	9	15	24	19	13	32	13	12	25
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	2	2	4	0	4	1	8	9	6	4	10
	Autos y Cam	71	55	126	70	67	137	66	70	136	72	57	129
	Omnibus	1	1	2	1	1	2	2	1	3	0	0	0
	Camiones	5	3	8	8	6	14	11	11	22	7	7	14
	Autos y Cam	42	37	79	25	28	53	30	41	71	36	22	58
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	2	3	5	4	3	7	6	1	7	0	1	1
	Autos y Cam	53	50	103	62	60	122	25	38	63	36	33	69
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	1	1	2	3	2	5	2	3	5	1	1	2
	Autos y Cam	17	25	42	31	26	57	33	26	59	15	18	33
	Omnibus	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	1	1
	Camiones	0	2	2	3	3	6	0	2	2	2	1	3
	Autos y Cam	6	5	11	14	15	29	20	35	55	27	13	40
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	1	2	3	0	2	2	1	1	2
	Autos y Cam	17	21	38	17	19	36	21	20	41	37	31	68
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	1	0	1	1	1	2	1	0	1

Figura 20. Planilla de Censo Intersección Rodríguez Peña y Calle Independencia diciembre 2017
Fuente: Elaboración Propia (Ver explicación Planillas ANEXO A: Planillas para Censos)

CENSO RODRIGUEZ PEÑA Y VENEZUELA													
MANIOBRA	VEHÍCULOS	TOTAL						TOTAL					
		7:30-8:00	8:00-8:30	TOTAL	8:30-9:00	9:00-9:30	TOTAL	12:00-12:30	12:30-13:00	TOTAL	13:00-13:30	13:30-14:00	TOTAL
	Autos y Cam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Autos y Cam	4	2	6	0	0	0	4	3	7	1	2	3
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Autos y Cam	1	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Autos y Cam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Autos y Cam	1	1	2	2	1	3	1	2	3	1	1	2
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Autos y Cam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Autos y Cam	90	142	232	119	87	206	59	62	121	66	45	111
	Omnibus	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Camiones	1	1	2	3	2	5	5	4	9	2	2	4
	Autos y Cam	2	5	7	3	6	9	8	6	14	9	1	10
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	0	0	0	0	1	1	0	2	2	0	1	1
	Autos y Cam	7	9	16	4	3	7	7	6	13	7	5	12
	Omnibus	1	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	Camiones	1	1	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0
	Autos y Cam	5	8	13	6	2	8	6	9	15	12	5	17
	Omnibus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Camiones	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0

Figura 21. Planilla de Censo Intersección Rodríguez Peña y Calle Venezuela diciembre 2017
Fuente: Elaboración Propia (Ver explicación Planillas ANEXO A: Planillas para Censos)

Las Figuras siguientes muestran el resumen de movimientos para Intersecciones de Carril Rodriguez Peña con Calles Diamante, Lateral Acceso Sur, Venezuela e Independencia, durante la hora de máxima demanda:

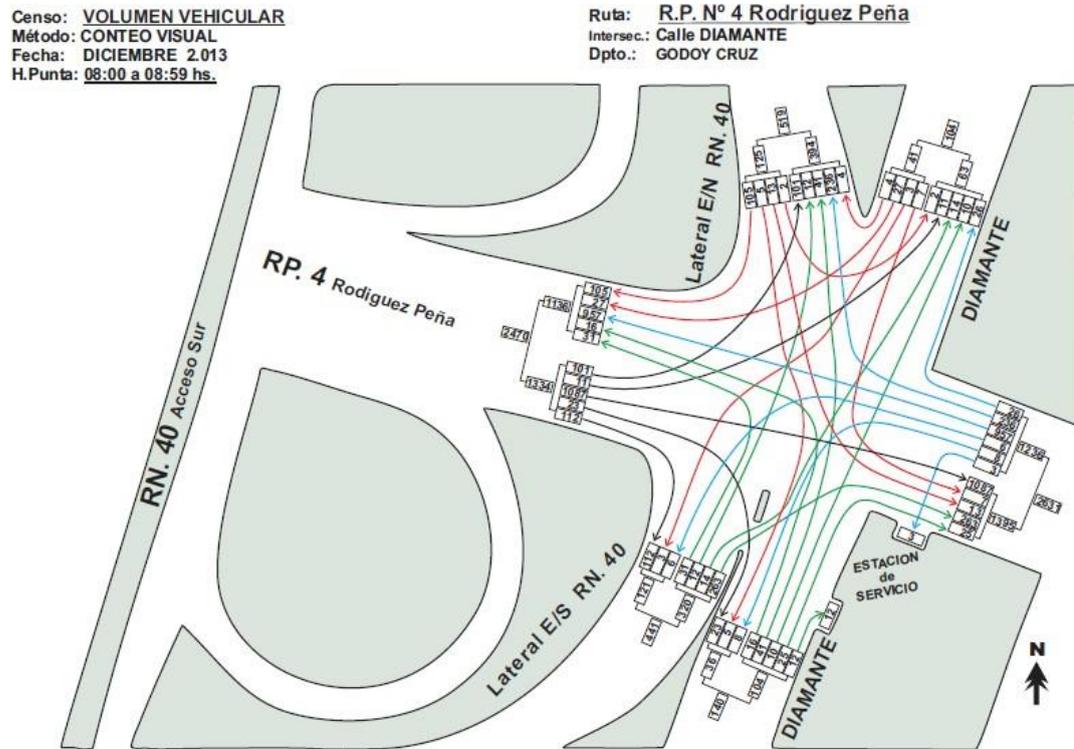


Figura 22. Movimientos censados en Intersección Rodriguez Peña y Calle Diamante y Lateral Acceso Sur
 Fuente: DPV Mendoza

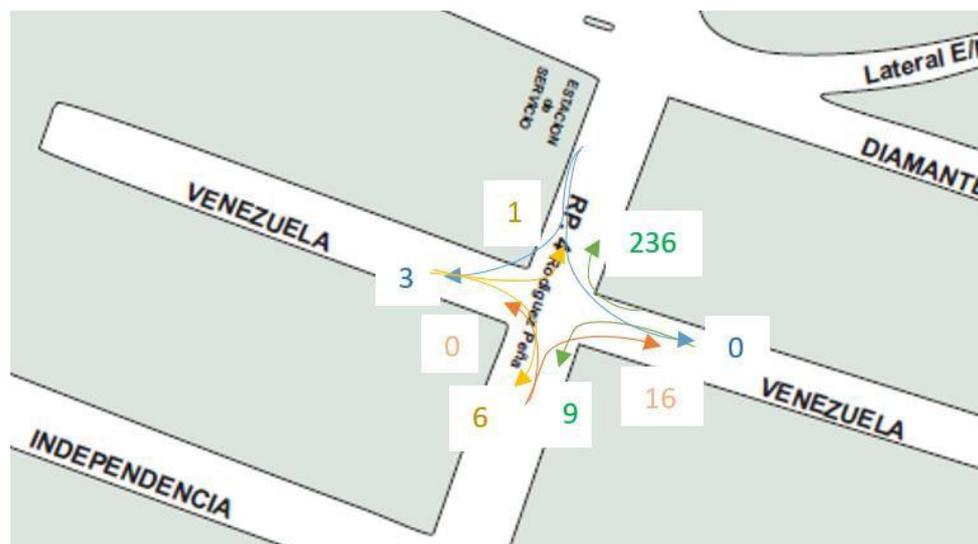


Figura 23. Movimientos censados en Intersección Rodríguez Peña y Calle Venezuela
 Fuente: Elaboración Propia

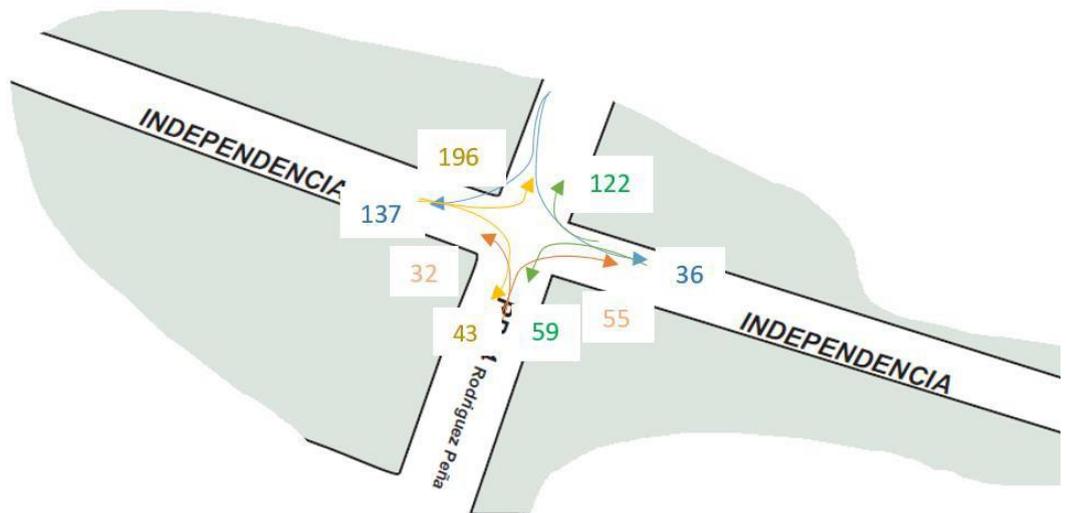


Figura 24. Movimientos censados en Intersección Rodríguez Peña y Calle Independencia
Fuente: Elaboración Propia

El estudio de las maniobras de los vehículos permite observar los distintos movimientos y comportamientos de los vehículos dentro de la Red de Intersecciones para luego simularlas en el Software de modelación de tránsito. Las cantidades de vehículos, maniobras de giros y los porcentajes que estos representan en la cantidad total de cada una de las intersecciones, se muestran a continuación:

Horario:	8:00hs a 9:00hs (Diciembre 2013)					
RUTA	ORIGEN	FLUJO TOTAL	DESTINO	FLUJOS	PROPORCION	TOTAL
1	Calle Diamante Sur	104	Rodriguez Peña Oeste	16	15%	100%
			Lat. RN 40 Nor Este	41	39%	
			Diamante Norte	10	10%	
			Rodriguez Peña Este	25	24%	
			Estación GNC	12	12%	
2	Calle Venezuela Norte	41	Rodriguez Peña Oeste	27	66%	100%
			Lat. RN 40 Sur Este	3	7%	
			Rodriguez Peña Este	7	17%	
			Lat. RN 40 Nor Este	4	10%	
3	Lateral RN 40 Sur Este	320	Rodriguez Peña Oeste	31	10%	100%
			Lat. RN 40 Norte Este	12	4%	
			Rodriguez Peña Este	263	82%	
			Calle Diamante Norte	14	4%	
4	Rodriguez Peña Oeste	1334	Lat. RN 40 Nor Este	101	8%	100%
			Lat. RN 40 Sur Este	112	8%	
			Rodriguez Peña Este	1087	81%	
			Calle Diamante Sur	23	2%	
5	Rodriguez Peña Este	1236	Lat. RN 40 Nor Este	236	19%	100%
			Lat. RN 40 Sur Este	6	0%	
			Rodriguez Peña Oeste	957	77%	
			Calle Diamante Sur	8	1%	
			Calle Diamante Norte	26	2%	

Figura 25. Rutas y Movimientos de Red de Intersecciones en estudio
Fuente: Elaboración Propia

También fue necesario determinar la cantidad de vehículos que circula por Acceso Sur y realiza la maniobra por el Rulo de Bajada Nor-Este intersección con R.P. N°4. Para esto se consultó la Estación permanente de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) ubicada en la R.N N°40, entre R.P N°4 y R.N N°7, del año 2016.

Ruta: 0040

N° Distrito	Distrito	Límites del Tramo	Ini.	Fin	TMDA
4	Mendoza	A/N R.P.4 - A/N R.N.7 (FIN SUP.)	3292.27	3295.47	71600

Información adicional de la Estación Permanente

Serie Histórica

Año	2016
TMDA	71600

Hora de Diseño y Distribución por Sentido

H30	Asc/Desc
5864	S/E

*Figura 26. Datos de Censo Ruta Nacional N°40 DNV.
Fuente: Datos de la página web de la DNV*

En función de la distribución por sentido y el horario de diseño, se consideró un volumen horario de 5864veh/h que circulan por Acceso Sur y en campo se determinó la cantidad de vehículos que utilizan el Rulo de Bajada, resultando que un 3% realiza ésta maniobra en horario de máxima demanda, utilizada para este estudio.

4.1.2 AJUSTES DE TRÁNSITO VEHICULAR ACTUAL

A partir de observaciones de campo y las Notas y Actuaciones citadas se comienza un análisis de la red en estudio y se plantean nuevas propuestas de soluciones que posean una justificación técnica apropiada.

La primera modelación de tránsito realizada corresponde a la situación actual, correspondiente a diciembre del año 2017. Para llevar a cabo esto, se proyectó el censo vehicular realizado en diciembre del año 2013 a diciembre del año 2017.

Para poder estimar una tasa de crecimiento vehicular, se acude a la fuente de la

ADEFA (Asociación de Fabricantes de Automotores de Argentina) donde se determinan los crecimientos del parque automotor de la serie de datos de 2013-2017 para la Provincia de Mendoza. Las hipótesis de crecimiento adoptadas se observan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Crecimiento parque automotor Fuente ADEFA

Parque automotor Mendoza		
Año	Vehículos	Variación Intercensal
2013	621368	
2014	664765	7,0%
2015	683650	2,8%
2016	704104	3,0%
2017	707158	0,4%
*Promedio Real		3,3%

Si bien este crecimiento promedio de parque automotor es a nivel provincial y orientativo, para ajustar el crecimiento de tránsito en la intersección, se decide realizar en diciembre de 2017 un censo de tránsito en Calle Diamante dirección Sur-Norte, en el mismo horario y misma ubicación del censo obtenido en diciembre de 2013. De acuerdo a los resultados se obtiene, a partir de la fórmula de la tasa de interés compuesto (la cual se usa internacionalmente y la que más se ajusta para estudios de crecimiento de tránsito), un incremento del 3% interanual desde el año 2013 a 2017.

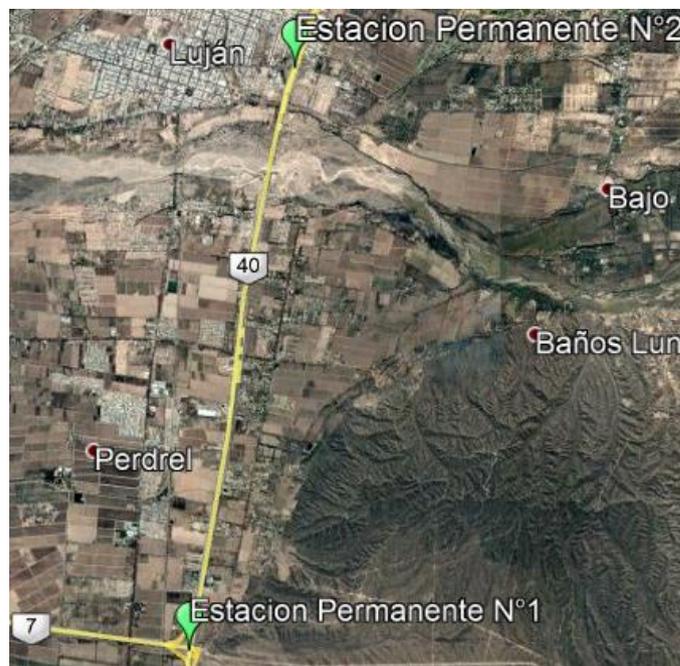
$\text{Tránsito Futuro} = \text{Tránsito año base} \times (1 + i)^n$		
Tránsito futuro año 2017=	477 Veh/hora	1
Tránsito año base 2013=	424 Veh/hora	2
n (cantidad de años entre 1 y 2)=	4	
i (tasa de crecimiento interanual)=	2,99%	

Esta tasa de crecimiento del **3%** interanual se toma para todas las Calles y direcciones involucradas.

Para todo análisis de tránsito es necesario conocer el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) de la sección de Ruta Provincial N°4 donde se ubica la Red de Intersecciones en estudio.

DETERMINACIÓN DEL TMDA

Para Poder determinar el Tránsito Medio Diario Anual de la Ruta Provincial N°4 (Carril Rodríguez Peña) se utiliza la información provista por la DNV (Dirección Nacional de Vialidad), la cual contiene Estaciones de Censo vehicular fijas, haciendo uso de la web de la Dirección Nacional de Vialidad, <http://transito.vialidad.gov.ar/> para el tramo de Ruta Nacional N° 40 - B/N R.N.7 – B/N R.P.2, entre progresivas 3271.85 y 3279.3.



*Figura 27. Ubicación de Estaciones Permanentes.
Fuente: GoogleEarth*

Se determina el TMD (Tránsito Medio Diario) estimado para el año 2013, donde se ha realizado un censo en ambos sentidos, en zona aledaña, en la R.P. N°4 (Carril Rodríguez Peña), determinándose 2570 veh/h, entre las 8 y 9 horas, del día miércoles 18 de diciembre de 2013 (Valores de Censo obtenidos de campo por la Dirección Provincial de Vialidad).

Datos:

Día (i)= miércoles 18

- Mes (j)= Diciembre

- Año (k)=2013

- Hora (h)= 8hs a 9hs

- Volumen= 2570veh/h

Tabla 2. Factores de Ajuste Horario (Datos DNV)

8	17,1	5,865
9	14,8	6,736
10	16,4	6,099
11	18,1	5,523
12	18,6	5,366
13	17,3	5,787
14	17,0	5,897
15	20,5	4,866
16	20,6	4,854
17	18,1	5,540
18	15,9	6,280
19	14,9	6,727
20	16,3	6,152
21	18,0	5,544
22	19,3	5,178
23	27,9	3,587
24	46,1	2,171

Cálculos:

$$TMD(i,j,k) = F(h,i,j,k) * TMH(h,i,j,k) = 17,1 \times 2570 \text{veh/h} = \mathbf{43947 \text{ veh/h}}$$

El paso siguiente corresponde a determinar los factores de Ajuste Horarios Diarios.

Factores de Ajuste Horarios Diarios (utilizando planilla del año 2013)

Datos: 2013, diciembre, miércoles, 8 a 9 horas

Tabla 3. Factor de Ajuste Diario (Datos DNV)

Factores Horarios Diarios

- Expresión de cálculo:

$$FH(h,i,j,k) = TMD(i,j,k) / TMH(h,i,j,k)$$

$$Peso(h,i,j,k) = 100 \times TMH(h,i,j,k) / TMD(i,j,k) \quad - \quad h=\text{hora}, i=\text{día}, j=\text{mes}, k=\text{año}$$

< Volver a realizar una nueva consulta

Ruta: 0040

Tramo: 1040110 - LÍMITES DEL TRAMO: B/N R.N.7 (R.SUR) - B/N R.P.2 , km: 3271.85 - km: 3279.3 - DTO: 4

Año: 2013

Mes: 12

Día: miércoles

Tipo de Día: Todos

Hora	Factor Horario Diario	Peso (%)
1	104,0	0,962
2	112,2	0,891
3	110,9	0,902
4	165,5	0,604
5	168,1	0,595
6	87,8	1,139
7	34,2	2,923
8	15,8	6,339
9	15,6	6,418
10	16,6	6,008
11	17,5	5,721
12	16,8	5,946
13	16,5	6,043
14	19,3	5,191
15	23,3	4,299
16	24,0	4,162
17	18,9	5,285
18	15,5	6,460
19	15,0	6,661
20	15,2	6,589
21	17,2	5,804
22	19,9	5,013
23	26,6	3,766
24	43,9	2,277

$$FH = 15,8$$

$$TMD = TMH \times FH = 2570 \text{ veh/día} \times 15,8 = 40606 \text{ veh/día}$$

Factores de Ajuste Mensual

Tabla 4. Factor de Ajuste Mensual

Factores Diarios Mensuales

- Expresión de cálculo: $FD(i,j,k) = TMDM(j,k) / TMD(i,j,k)$ - i =día, j =mes, k =año

< Volver a realizar una nueva consulta

Ruta: 0040
Año: 2013
Mes: 12
Tramo: 1040110Á Á *Á Á LÍMITES DEL TRAMO: B/N R.N.7 (P.SUR) - B/N R.P.2 , km: 3271.85 - km: 3279.3Á Á *Á Á DTO: 4
Tipo de Día: Todos

Día	Factor Diario Mensual
Lunes	1,013
Martes	1,124
Miércoles	0,986
Jueves	1,006
Viernes	0,916
Sábado	1,005
Domingo	0,955

Para el día miércoles este valor corresponde a: FM (Factor Mensual) = 0,986

Por último, para determinar el Tránsito Medio Diario Anual, corresponderá multiplicar el valor determinado para el Tránsito Medio Diario Mensual por el Factor Mensual obtenido.

$$TMDA = TMDM \times FM = 40606 \text{ veh/día} \times 0,986 = \underline{\underline{40038 \text{ veh/día (año 2013)}}}$$

A partir de este valor obtenido y en función de la tasa de crecimiento obtenida anteriormente, se determina el T.M.D.A para el año 2017.

Tasa de Crecimiento Anual

$$\text{Tránsito Futuro} = \text{Tránsito año base} \times (1 + i)^n$$

n (Años)=	4
i (tasa de crecimiento Anual)=	3%
Vo ₂₀₁₃ (volumen de vehículos en el año 2013)=	40038 veh
V₂₀₁₇(volumen de vehículos en el año 2017)=	45063 veh

Se adopta como Tránsito Medio Diario Anual TMDA=45000 Vehículos.

Una vez ajustados los volúmenes de tránsito a la situación actual (correspondiente al año 2017) se calibra el modelo. La calibración del modelo se realiza contrastando los datos obtenidos en cálculos o determinación de gabinete con las situaciones reales medidas en campo, para de esta manera ajustar los resultados a la realidad.

Con esta información, pueden identificarse claramente dónde se producen las congestiones vehiculares y consecuente formación de colas, las cuales serán evaluadas en longitud para cada situación y propuesta de solución.

RELACION DEL VOLUMEN HORARIO DE PROYECTO (VHD) Y EL (TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL (TMDA)

El análisis de la modelación del tránsito debe efectuarse para la hora de mayor afluencia de tránsito de la red de Intersecciones en estudio, para lo cual debe determinarse el Volumen Horario de Diseño (VHD).

El volumen horario de proyecto o volumen horario de diseño, es un volumen proyectado que se utiliza para determinar las características geométricas de una vía.

No se considera el TMDA como volumen de proyecto, ya que se alcanzaría un costo elevado de inversión. La experiencia en otros países ha demostrado que tampoco resulta económico diseñar una vía para un volumen horario mayor al volumen horario trigésimo anual, por lo tanto, se considera al volumen horario trigésimo anual como el de diseño, el que será superado solamente 30 horas al año.

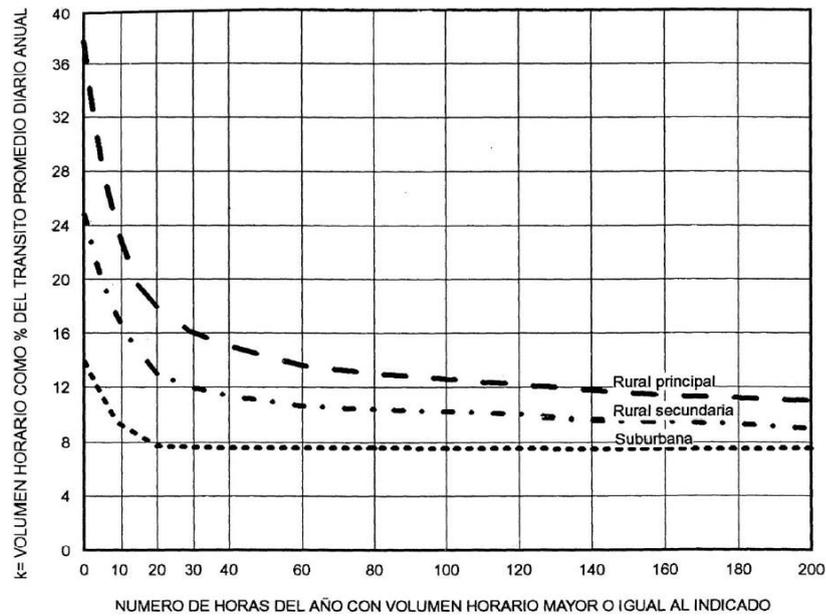


Figura 28. Curvas de Variación de Tránsito en ciudades de México.
Fuente:(Mayor et al., 1994)

Como puede observarse en estas curvas teóricas obtenidas de mediciones de tránsito en ciudades de México (Mayor et al., 1994), el volumen horario de proyecto para esta hora está comprendido entre el 8% y 16% del TMDA. Para vías suburbanas o próximas a ciudades el volumen de proyecto de la 30va hora es aproximadamente el 57% de la hora de máximo volumen (8% / 14%), para carreteras rurales secundarias el 46% (12%/26%) y para carreteras rurales principales el 42% (16%/38%). Estos porcentajes significan un ahorro considerable en el proyecto de la sección transversal con un buen criterio en la selección del volumen horario pronosticado.

Por lo tanto, en proyectos de carreteras, el volumen horario de proyecto VHP, para el año de proyecto en función del tránsito promedio diario anual TPDA (o TMDA) y se expresa:

$$VHP = k.(TPDA)$$

Ecuación 1. Volumen Horario de Proyecto

Dónde: k = valor esperado de la relación entre el volumen de la n-ava hora máxima seleccionada y el TPDA (o TMDA) del año de proyecto (valor a determinar).

Considerando las curvas anteriores, para proyecciones a años futuros en carreteras, se recomiendan los siguientes valores para:

Tabla 5. Valores de constante "k"

Carreteras suburbanas	k = 0,08
Carreteras rurales secundarias	k = 0,12
Carreteras rurales principales	k = 0,16

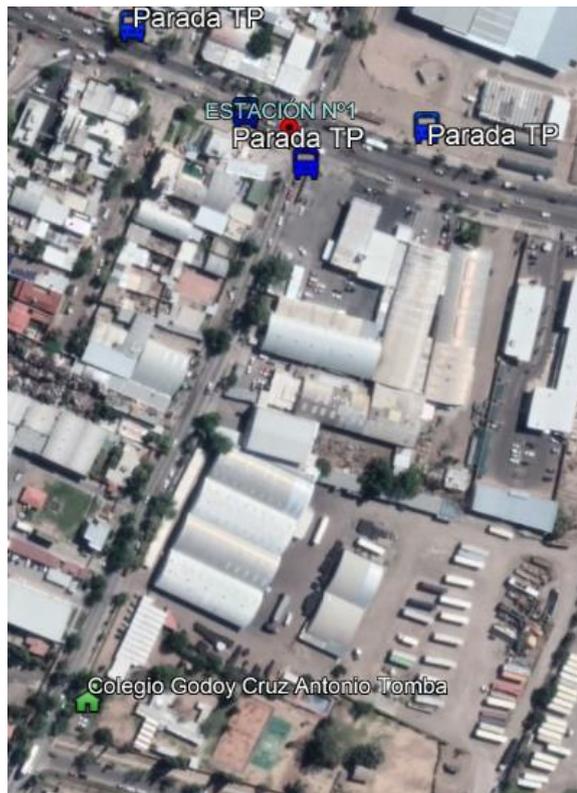
4.1.3 ESTUDIO DE CIRCULACIÓN DE PEATONES Y CICLISTAS

El estudio del movimiento y transitabilidad de peatones y ciclistas en la zona es de vital importancia por razones de Seguridad Vial. A partir del análisis de éstos puede decidirse sobre la implementación o no de obras de infraestructura y elementos de seguridad vial adicionales, en el caso de que sea necesario.

PEATONES

Los principales movimientos de peatones se producirán en zonas de paradas de Transporte Público y en puntos de atracción peatonal como pueden ser colegios, oficinas administrativas, locales comerciales, etc.

Como primera medida se identificaron las paradas de transporte público y lugares de atracción de peatones. Como ejemplo de los centros de atracción en Calle Independencia, puede mencionarse un colegio, al igual que comercios aledaños.



*Figura 29. Ubicación de paradores de Transporte público y de colegio.
Fuente: Elaboración propia, imágenes GoogleEarth*

Se decide ubicar dos estaciones de conteo representativas de la zona, en las cuales se considera que existe la mayor concentración y flujo peatonal. Para confirmar esto, se realizaron censos de peatones en horarios en los cuales se constató de manera visual que existe la mayor cantidad de los mismos. La Estación N°1 se ubica en la Intersección de Carril Rodríguez Peña y Calle Independencia (tipología de cruce en intersecciones), mientras que la Estación N°2 se ubica sobre el Carril Rodríguez Peña (tipología de cruce transversal) en zona de concesionarias de vehículos.



Figura 30. Ubicación de Estación N°1 y paradores de Transporte público.
Fuente: Elaboración propia, imágenes GoogleEarth

Se realizaron planillas de conteos con los valores obtenidos en los horarios determinados como los de mayor cantidad de movimientos peatonales. Los resultados de los conteos obtenidos son los siguientes:

ESTACIÓN N°1				
Rodríguez Peña - Intersección Calle Independencia				
Horario	NORTE-SUR	SUR-NORTE	OESTE-ESTE	ESTE-OESTE
08:00-08:15	8	29	20	20
08:15-08:30	18	13	9	11
08:30-08:45	7	9	14	10
08:45-09:00	14	5	6	14
09:00-09:15	5	3	2	7
09:15-09:30	3	4	4	6
12:00-12:15	11	6	1	9
12:15-12:30	12	8	11	3
12:30-12:45	10	9	11	20
12:45-13:00	5	3	8	11
13:00-13:15	10	3	2	4
13:15-13:30	16	5	7	3
13:30-13:45	8	7	8	5
13:45-14:00	11	2	2	3
17:30-17:45	7	10	13	11
17:45-18:00	6	7	12	8
18:00-18:15	9	5	13	13
18:15-18:30	9	4	15	16
18:30-18:45	8	3	6	8
18:45-19:00	5	3	5	6

Figura 31. Planilla de Conteos correspondiente a Estación N°1.
Fuente: Elaboración propia

Puede observarse que en dirección Norte-Sur el mayor flujo de peatones se produce en el horario de 12hs a 14hs, mientras que para la dirección Sur-Norte el mayor flujo de peatones se produce entre las 8hs y 9:30hs. Para el caso del flujo en dirección

Oeste-Este el mayor flujo de peatones existe de 17:30 a 19hs y para el caso de la dirección Este-Oeste el mayor flujo de peatones se produce de 8hs a 9:30hs.

ESTACIÓN N°2				
Rodríguez Peña - Concesionarias de vehículos				
Horario	NORTE-SUR	SUR-NORTE	OESTE-ESTE	ESTE-OESTE
08:00-08:15	15	4	11	6
08:15-08:30	25	4	23	58
08:30-08:45	23	7	10	22
08:45-09:00	10	1	10	5
09:00-09:15	3	0	4	6
09:15-09:30	6	0	6	7
12:00-12:15	3	4	8	9
12:15-12:30	6	14	8	5
12:30-12:45	7	13	10	9
12:45-13:00	2	10	6	11
13:00-13:15	3	4	3	3
13:15-13:30	1	7	4	4
13:30-13:45	3	3	2	5
13:45-14:00	5	4	3	3
17:30-17:45	0	2	4	7
17:45-18:00	4	4	9	6
18:00-18:15	3	13	5	11
18:15-18:30	0	3	1	3
18:30-18:45	0	6	6	6
18:45-19:00	1	2	3	4

Figura 32. Planilla de Conteos correspondiente a Estación N°2.
Fuente: Elaboración propia

Puede observarse que en dirección Norte-Sur, Oeste-Este y Este-Oeste el mayor flujo de peatones se produce en el horario de 8hs a 9:30hs, mientras que para la dirección Sur-Norte el mayor flujo de peatones se produce entre las 12hs y 14hs.

Los resultados resumen con los flujos máximos de peatones, en cada una de las estaciones, son las siguientes:

ESTACIÓN N°1

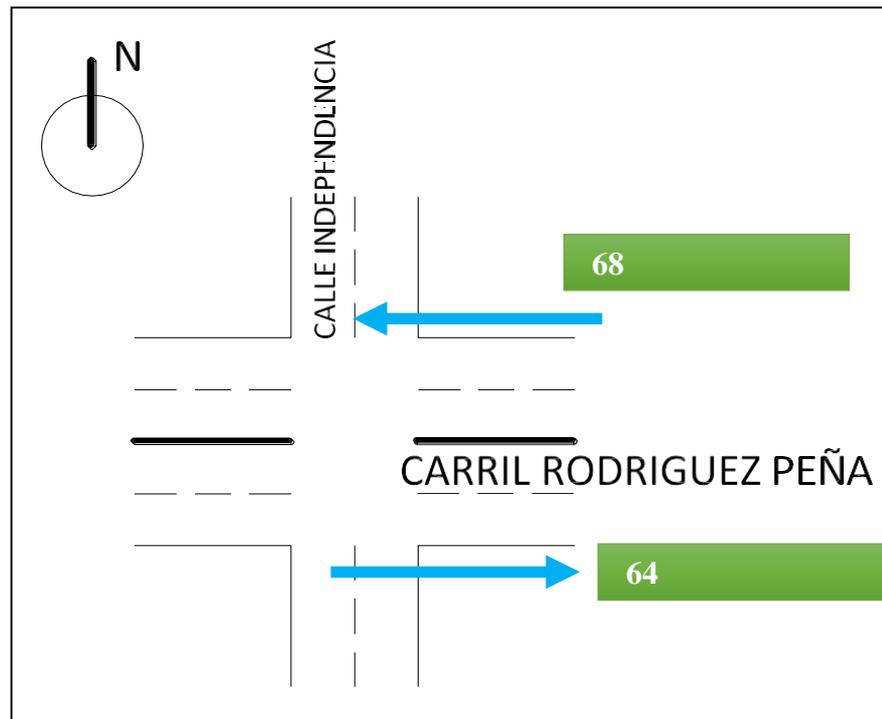


Figura 33. Planilla de Conteos máximos dirección Este-Oeste y Oeste-Este correspondiente a Estación N°1. Fuente: Elaboración propia

ESTACIÓN N°2

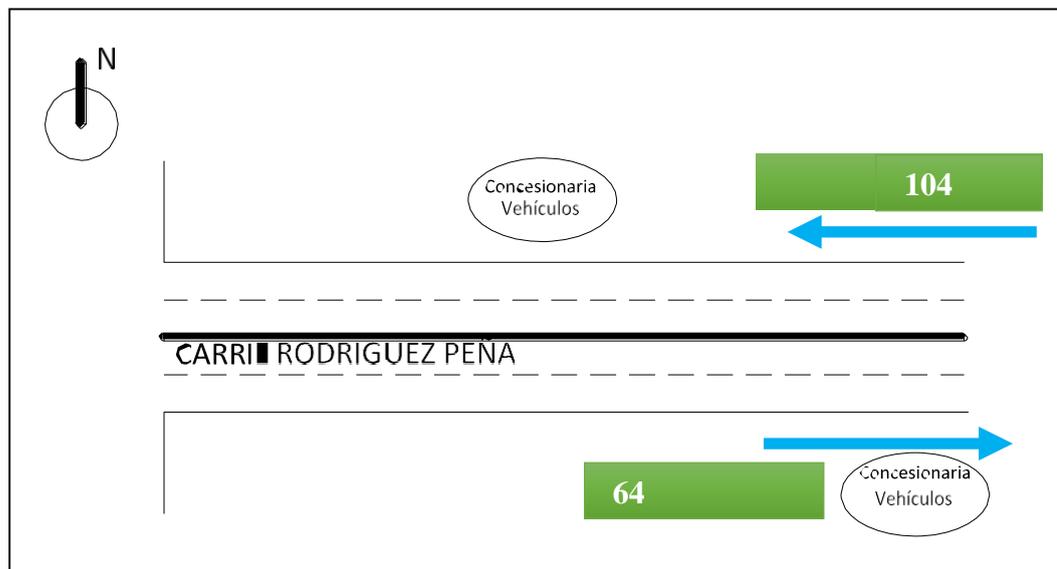


Figura 34. Planilla de conteos máximos dirección Este-Oeste y Oeste-Este correspondiente a Estación N°2. Fuente: Elaboración propia

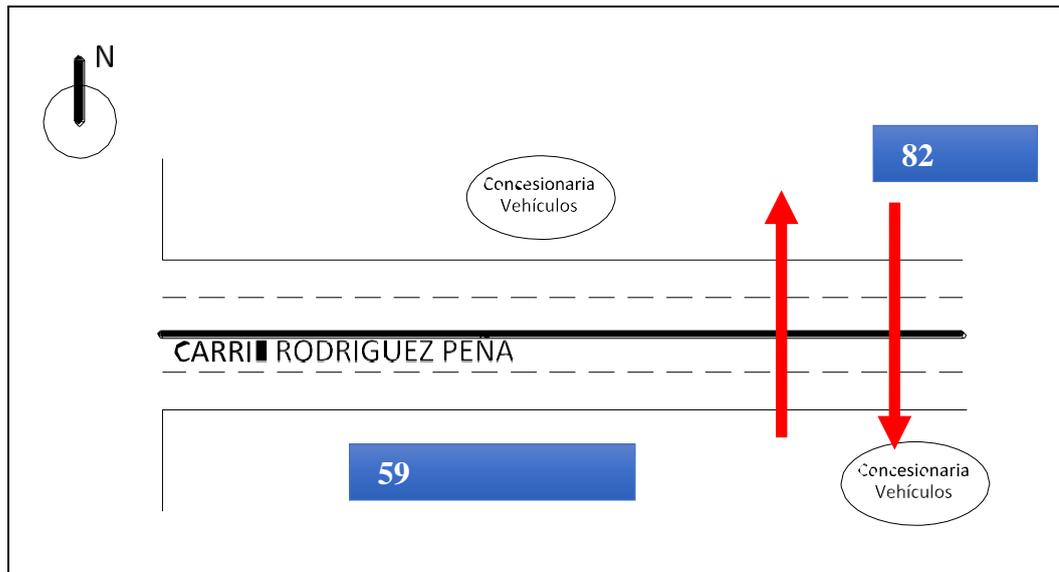


Figura 35. Planilla de conteos máximos dirección Norte-Sur y Sur-Norte correspondiente a Estación N°2.
Fuente: Elaboración propia

CICLISTAS

Al mismo tiempo que se realizaron los conteos peatonales, se contabilizaron la cantidad de ciclistas. El resultado fue de 10 ciclistas en el mismo periodo de tiempo en el cual se realizó el censo peatonal. Por las características de Inseguridad Vial que presenta la Red, se observa claramente que podría incrementarse la cantidad de los mismos al contar con mejoras de infraestructura y ofrecer mayor seguridad para circulación de los mismos.

SITUACION ACTUAL DE CRUCES PEATONALES

Actualmente para el cruce peatonal de manera transversal, en Carril Rodríguez Peña existe una protección insuficiente e inadecuada desde el punto de vista de la Seguridad Vial para peatones.



*Figura 36. Cruces Peatonales a lo largo de Carril Rodríguez Peña.
Fuente: elaboración propia*

En función de los resultados obtenidos, puede concluirse que para cruces en intersecciones corresponderá la implementación de semáforos, según lo consignado en el APENDICE 9: SEMÁFOROS. Para cruces transversales sin semaforizar, sería necesaria una obra de infraestructura adicional para peatones, al mismo tiempo podrían realizarse mejoras en los cruces existentes.

4.2 PROGRAMA DE SIMULACIÓN DE TRÁNSITO UTILIZADO

El software utilizado para la modelación de tránsito es PTV VISSIM 7.0 de la empresa PTV GROUP, de origen alemán. Con PTV Vissim, puede simularse la situación del tránsito, y permite comparar y operar con distintos tipos de intersecciones como así también implementar medidas como priorizar movimientos vehiculares, dar prioridad al transporte público o simular el impacto de un plan semafórico distinto. PTV Vissim, es un software para la simulación microscópica de tránsito, en un solo modelo se puede representar a todos los usuarios de la vía pública y estudiar sus interacciones: autos, transporte de carga y cualquier tipo de transporte público. Los modelos de comportamiento vehicular, científicamente desarrollados y validados, proporcionan una simulación realista de todos los modos.

A modo de apoyo y para contrastar resultados, también se utilizó el Software denominado Synchro, de la firma Trafficware, del cual no se presentan resultados en este trabajo de investigación.

Con estos softwares se pueden obtener tanto resultados numéricos detallados como animaciones en 3D representando diversos escenarios. Resulta un recurso ideal para evaluar y presentar propuestas de infraestructura.

4.2.1 Datos de input del programa

Para la modelación de tránsito es necesario conocer la geometría (ancho, longitud, pendiente) y altimetría de las vías a analizar. Se pueden trazar las vías sobre una imagen satelital, lo que hace aún más precisa la geometría. Dentro de los datos de ingreso del Software también se encuentran los obtenidos del censo de tránsito para cada vía a modelar como así también la composición de tránsito (vehículos livianos, vehículos pesados, transporte público) y la velocidad de los mismos. También es importante conocer las decisiones de ruta de los flujos vehiculares, para cargarlas en la modelación. En los casos en los que existan intersecciones semafóricas, se indicarán los tiempos de cada fase y longitudes de ciclo.

4.2.2 Ajuste y calibración del modelo

Con los datos de input del software utilizado, se procede a hacer una corrida del modelo. Para el ajuste y calibración del mismo, se identificaron congestiones vehiculares del modelo (colas de vehículos en sectores puntuales) y se procedió a la medición de las colas reales en los mismos sectores. Es importante también identificar las prioridades de paso en áreas de conflicto. El software también permite indicar el comportamiento de los conductores, como por ejemplo, ajustar el tiempo en los que se realizarán anticipadamente maniobras (giros, sobrepaso, etc.).

Se busca que la simulación sea realmente el reflejo de la red para poder efectuar modificaciones a partir de la situación actual real de la misma.

4.3 ANTECEDENTES DE PROPUESTAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

En este apartado se pretende analizar las propuestas y antecedentes de los distintos entes involucrados en la Red de Intersecciones. Desde el año 2011 existe el interés y la preocupación por llevar a cabo una solución integral en la zona de la Intersección entre Ruta Nacional N°40 (también denominado Acceso Sur) y Ruta Provincial N°4 (Carril Rodríguez Peña). Existen graves problemas en cuanto a congestión y Seguridad Vial, los cuales se han visto incrementados con el paso de los años.

La información de accidentes de tránsito ocurridos en Carril Rodríguez Peña e intersecciones en la Red de Estudio obtenidos de las estadísticas que únicamente realiza en la Red el Municipio de Godoy Cruz, durante los años 2017 y 2018 (hasta agosto del corriente) son los siguientes:

SINIESTROS 2017-2018 CARRIL RODRIGEZ PEÑA			
Intersección	2017	2018	Total
9 DE JULIO	5	1	6
INDEPENDENCIA	4	0	4
DIAMANTE	7	4	11
VENEZUELA	0	0	0
			TOTAL
			21

*Figura 37. Siniestros de Tránsito.
Fuente: Municipio de Godoy Cruz*

Cabe aclarar que el Municipio considera como siniestro al evento que involucra uno, dos o más vehículos de la Red y estos pueden también involucrar a peatones y/o ciclistas. La ocurrencia de los mismos produce significativas demoras o interrupciones al tránsito de la Red. El Municipio se encuentra actualmente en proceso de clasificación de los siniestros producidos con información que data del año 2001 en adelante.

A partir de estas estadísticas y otros motivos como congestión vehicular, el Municipio de Godoy Cruz a través de notas (Expte. Municipal N°28267/I/2011) transmite su preocupación a las Direcciones Viales Provincial (DPV) y Nacional (DNV) y es por eso que plantea una solución denominada “Ordenador Vial Nudo

Carril Rodríguez Peña”. Esta propuesta es presentada en forma conjunta con D.N.V, teniendo en cuenta que la propuesta se desarrolla en un espacio público y cada tramo pertenece a competencias jurisdiccionales distintas, lo que hace sumamente complejo lograr una solución inmediata a una problemática que, con el correr del tiempo, se torna más peligrosa.

Se propone la ejecución de una Rotonda y cambio de sentidos de circulación de Calle Diamante y Laterales del Acceso Sur (R.N N°40), como así también, se propone la apertura de la Calle Las Margaritas, desde Calle Diamante hasta Independencia. Esto permite resolver la salida de las Unidades de Transporte CATA Ltda., hacia Calle Independencia, reduciendo el tránsito sobre el nudo, complementando estas acciones el mejor funcionamiento de la Rotonda planteada.



*Figura 38. Proyecto Municipalidad de Godoy Cruz – DNV.
Fuente: Municipalidad de Godoy Cruz*

Dicha apertura requiere de la expropiación de predios contiguos al terreno de la firma CATA Ltda. (Empresa de Transportes).



*Figura 39. Expropiación en Calle Las Margaritas.
Fuente: Municipalidad de Godoy Cruz*

El mismo año, la Dirección Nacional de Vialidad envía una nota (N° 3403/11) al Municipio de Godoy Cruz en referencia a la Intersección en cuestión, la cual propone restringir una serie de movimientos que distorsionan el funcionamiento de la misma. La DNV propone que Calle Diamante sea de sentido unidireccional (Sur – Norte), por lo menos en la primera cuadra o primeros 100m, ya que se observan movimientos muy comprometidos, fundamentalmente entre los vehículos que circulan por la Calle Diamante, dirección Norte-Sur y los que circulan por Ruta Provincial N°4 (Rodríguez Peña), de Este a Oeste y toman la Rama (Este – Norte) para ingresar al Acceso Sur (Sur - Norte), movimiento que se agrava por la escasa visibilidad. La Municipalidad de Godoy Cruz realiza efectivamente cambio de sentido de circulación de acuerdo a lo propuesto por DNV.

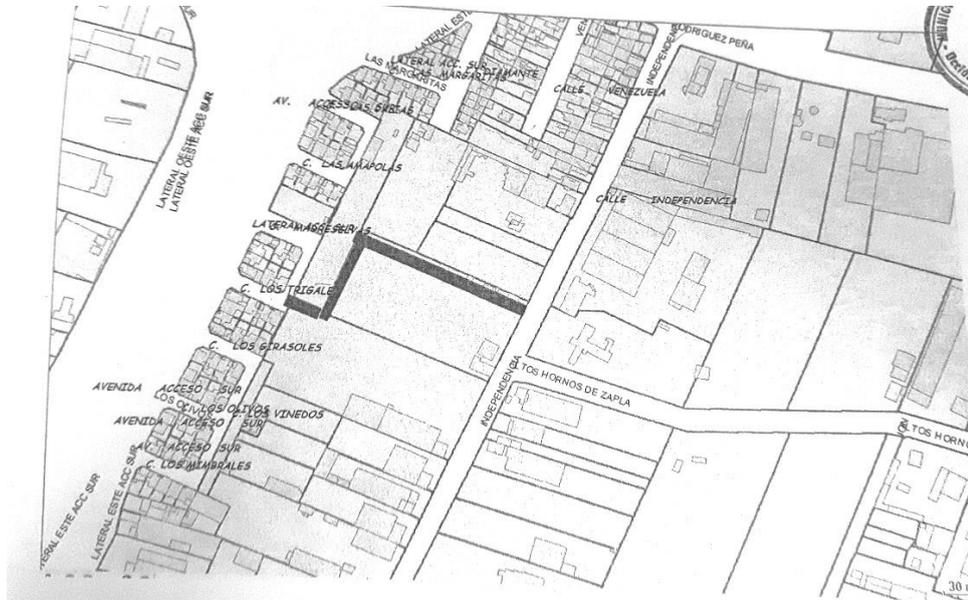


*Figura 40. Propuesta de DNV sobre Calle Diamante.
Fuente: Elaboración propia, imágenes Google Earth*

En el año 2012 el Municipio de Godoy Cruz manifiesta su preocupación (Nota N°0082/12) a Dirección Provincial de Vialidad por el proyecto que comenzaría a desarrollarse sobre Ruta Provincial N°4 (Carril Rodríguez Peña), denominado “Refuncionalización del Carril Rodríguez Peña”, en donde la Obra no plantea una solución Integral en cuanto a un ordenamiento vehicular-peatonal y de ciclovía, en donde persisten graves conflictos con implicancias en siniestros y accidentes que se producen en el Nudo de Carril Rodríguez Peña y Acceso Sur e intersecciones con Calles Diamante, Venezuela e Independencia fundamentalmente. El municipio hace hincapié y comenta a DPV sobre la propuesta de solución anteriormente presentada a DNV, la cual no tuvo respuestas.

En el año 2012 DNV envía una nota (Nota N°3685/12) a la Municipalidad de Godoy Cruz en donde propone una serie de cambios de sentidos de circulación y evaluación de Obras para que ésta repartición tenga en cuenta, y da respuesta a algunas propuestas realizadas anteriormente por el Municipio del proyecto denominado “Ordenador Vial Nudo Carril Rodríguez Peña”. En relación a las alternativas propuestas para las unidades de transporte de la Empresa CATA Ltda., DNV propone una serie de verificaciones como Radios de Giro en Calle Independencia en la salida desde Calle Las Margaritas como así también que se verifiquen los radios de giro de los vehículos que realizarán la maniobra en la Rotonda, ya que con seguridad se invadirán Carriles

adyacentes al circular por la misma, reduciendo significativamente su Capacidad. DNV también propone la apertura de calles de Barrio TAC (Lado Este de Acceso Sur), siempre y cuando se mantenga la Colectora Este con un único sentido de circulación Sur-Este.



*Figura 41. Propuesta DNV de Apertura de Calles en Barrio TAC.
Fuente: Municipalidad de Godoy Cruz*

En el año 2014, DNV inicia obras sobre Acceso Sur (R.N N°40), donde se amplía la capacidad de la vía existente, adicionando un 3° Carril. El Municipio de Godoy Cruz envía una nota (Nota N°666/14) reiterando su preocupación respecto a Seguridad Vial y propone la intervención de la Intersección con R.P N°4 aprovechando las Obras en ejecución sobre R.N N°40. DNV en respuesta a la preocupación por el Municipio de Godoy Cruz reitera que la repartición no ha tenido respuesta a la nota enviada en el Año 2012 en donde solicita y propone una serie de verificaciones al proyecto propuesto por el municipio.

En el año 2015 según Nota N°233/15 dentro de Dirección Provincial de Vialidad informa que se realizó la Reunión de Consorcio Mixto Zona Industrial Mendoza (ZIM) formado por empresarios localizados sobre Carril Rodríguez Peña. En dichas reuniones se tratan temas relacionados a la problemática general de la zona de influencia de dicho Carril, entre ellos aspectos viales. Se comenta, entre algunos temas, acerca de las malas condiciones del pavimento como así también la falta de

señalización en el lugar y se realizan una serie de propuestas:

Colocar un semáforo en la intersección de Calle Diamante y Rodríguez Peña, con giro permitido a la izquierda sólo para aquellos vehículos que provienen de Rodríguez Peña en sentido Oeste – Este. La semaforización debe tener 3 fases, para facilitar el giro hacia el Norte. También se propone crear una dársena de giro para circulación vehicular O-E y un boulevard central.

- ❖ Colocar un separador físico en Rodríguez Peña, dando continuidad al New Jersey desde el Lado Oeste hasta Calle Venezuela.
- ❖ Único sentido de circulación en Calle Diamante sur al igual que la Colectora Este de Acceso Sur (desde calle Alsina), ambas en dirección Sur – Norte.
- ❖ Calle Diamante al Sur de Rodríguez Peña deberá tener un solo sentido de circulación al igual que la colectora de Acceso Sur (R.N N°40) desde Calle Alsina.
- ❖ Apertura de Calle Tandil para que vincule Venezuela con Independencia y el ancho de la misma deberá ser tal que pueda soportar giros y transitabilidad de vehículos de grandes dimensiones.
- ❖ Los cruces peatonales deberían ser en las intersecciones con Diamante e Independencia y a partir de ahí cruces cada 300m y en correspondencia con paradas de colectivos.

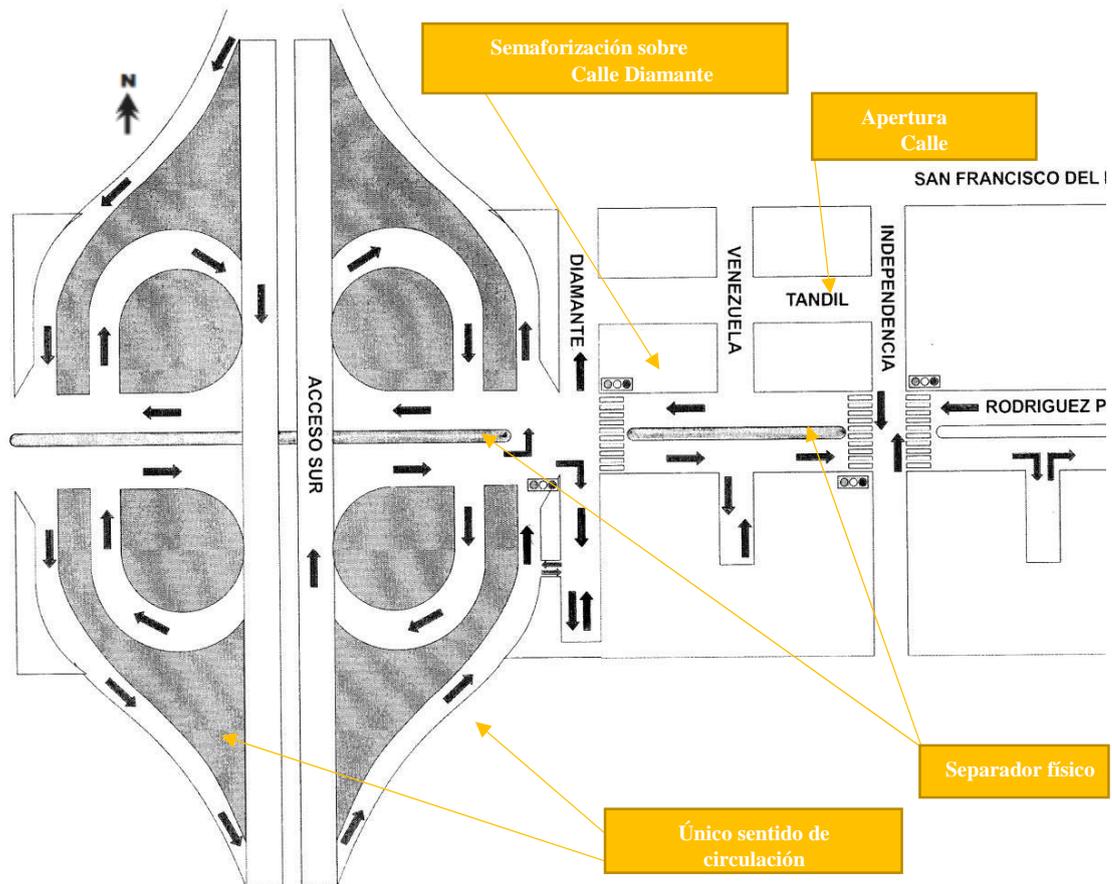


Figura 42. Propuesta Municipio Godoy Cruz - Reunión de Consorcio Mixto Zona Industrial Mendoza.
Fuente: Municipalidad Godoy Cruz adaptado por autor.

En el año 2015 El municipio de Godoy Cruz envía una nota (N° 233 con fecha 04/06/2015) a la Dirección Provincial de Vialidad DPV, adjuntando copia de documentación presentada a DNV con la propuesta del proyecto de Rotonda (caratulado: Ordenador Vial Nudo Carril Rodríguez Peña y Acceso Sur), mejorada por DNV, sobre Ruta Provincial N°4. El Municipio le solicita a DPV que se evalúe y confeccione la documentación técnica requerida por DNV y presentación del proyecto, considerando que el Carril Rodríguez Peña pertenece a DPV y es a ella a quien le corresponde la presentación de dicha documentación.

En el año 2016 el Municipio de Godoy Cruz envía nuevamente una Nota (N°178/16) a DPV reiterando que se confeccione la documentación técnica necesaria para la aprobación del proyecto definitivo de la propuesta de Intercambiador del Nudo Vial.

A la fecha (año 2017), no existen propuestas ni avances por parte de ninguna

repartición, lo que presenta interés para su resolución o propuesta de mejoras en este trabajo, a partir de datos y antecedentes existentes.

4.4 PROPUESTA DE CARRIL DE ACELERACIÓN Y ENTRECruzAMIENTO EN RODRIGUEZ PEÑA

Actualmente, este carril a continuación del rulo de bajada de Acceso Sur para incorporarse en Rodríguez Peña es inexistente. Es por eso que se plantea, en este trabajo de investigación, la incorporación del mismo, en base a las necesidades y condiciones del lugar de emplazamiento.



Figura 43. Rulo de Bajada con carril de entrecruzamiento insuficiente.
Fuente: elaboración propia. Utilizando software AutoCAD.

Características deseables de diseño

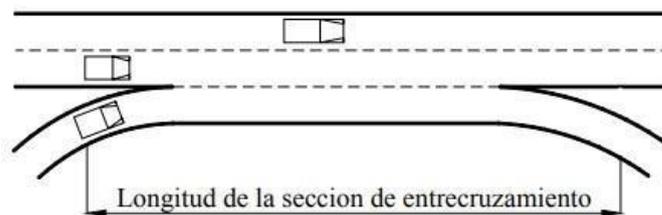


Figura 44. Longitud de entrecruzamiento en intercambiador.
Fuente: adaptado de (Transportation Research Board, 2000)

Algunas de las consideraciones fundamentales para el diseño propuesto son:

- A) Mínimo entrecruzamiento: las secciones de entrecruzamiento reducen notablemente la velocidad y capacidad. A alta velocidad y con altos

volúmenes de tránsito, causan fuertes incrementos de accidentes y congestión. En general, la distancia entre cualquier entrada y la salida siguiente debería ser suficiente como para eliminar el entrecruzamiento como un control de diseño.

- B) Salidas y entradas simples, con los correspondientes carriles de cambio de velocidad. Son preferibles las salidas fáciles, bien visibles y adecuadamente señalizadas.
- C) Salidas antes de entrada: la congestión se reduce al quitar tránsito, antes que agregar tránsito. Cada entrada crea disturbios y fricción en el flujo del tránsito principal, por lo que resulta una reducción de velocidad y capacidad. Es deseable disminuir el número de entradas.

A partir de las consideraciones anteriores, se plantea la mayor longitud posible para el carril en cuestión.



*Figura 45. Identificación de Carril para entrecruzamiento.
Fuente: Elaboración propia. Utilizando software AutoCAD.*

La longitud del carril llega a 145m, distancia en la cual es posible incorporarse a Rodríguez Peña luego del Rulo de bajada como así también incorporarse al Rulo de subida desde Rodríguez Peña.



Figura 46. Longitud máxima posible para el carril en cuestión.
Fuente: elaboración propia. Utilizando software AutoCAD.

1.1 Recomendaciones de AASHTO

Para el análisis de la geometría de la longitud de entrecruzamiento, se consultó la normativa AASHTO, de la cual surge la siguiente Figura:

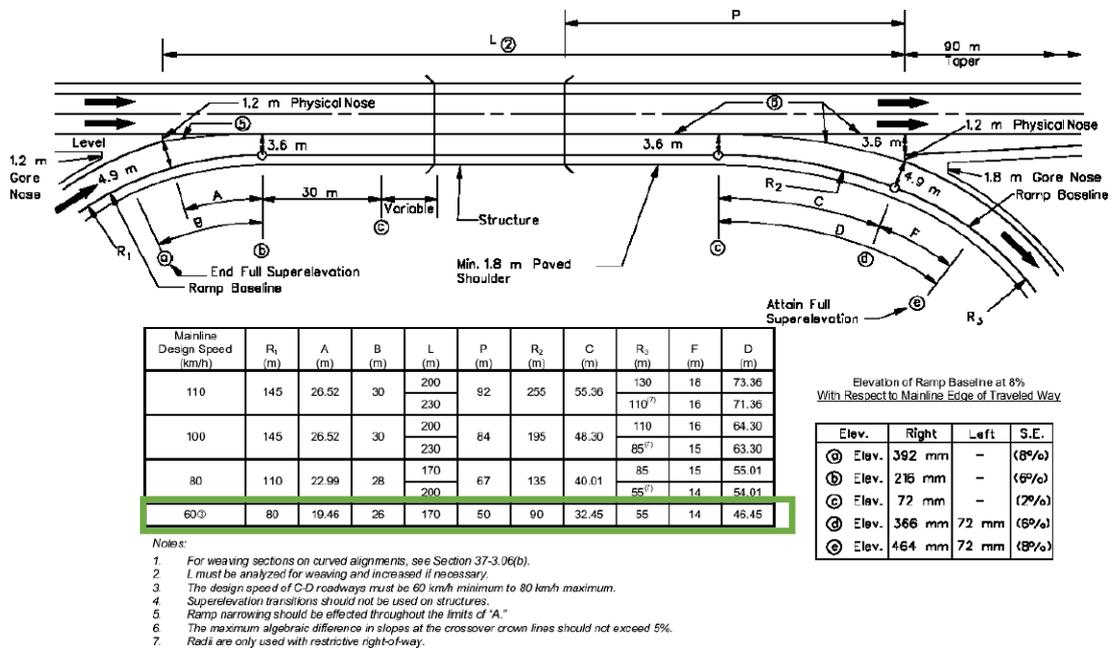


Figura 47. Longitud de Entrecruzamiento según AASHTO.
Fuente: adaptado de (AASHTO, 2011)

Para nuestro caso la velocidad adoptada de la Vía Principal (Carril Rodríguez Peña), es de 60Km/h pudiendo ser esta menor de acuerdo a las mediciones realizadas en campo y las velocidades resultantes del estudio de simulación. La longitud de entrecruzamiento recomendada “L” es de 170m, la cual se verifica en nuestro caso.



Figura 48. Longitud de entrecruzamiento de proyecto.
Fuente: elaboración propia. Utilizando software AutoCAD.

Para el caso de “R1” (radio final de rulo de bajada) no se verifica, ya que se recomienda un radio de 80m, y para nuestro caso el radio es de 40m. El radio adoptado no puede aumentarse ya que es insuficiente el espacio para poder desarrollarlo.

4.4.2 Análisis de entrecruzamiento según HCM2000

Las secciones de entrecruzamiento se producen cuando las corrientes de tránsito en un solo sentido se cruzan mediante la fusión y la divergencia de maniobras. Las secciones se diseñan, verifican y ajustan para que el nivel de servicio sea consistente con la carretera restante. El nivel de diseño del servicio de una sección de entrecruzamiento depende de su longitud, número de carriles, grado aceptable de congestión y volúmenes relativos de movimientos individuales. Los movimientos de entrecruzamiento de gran volumen generalmente producen una fricción considerable y una reducción de la velocidad de todo el tránsito. Además, hay un límite definido para la cantidad de tránsito que se puede manejar en una Sección de entrecruzamiento dada sin congestión indebida. Este volumen limitante es función de la distribución del

tránsito entre los movimientos de entrecruzamiento, la longitud de la sección de entrecruzamiento y el número de carriles.

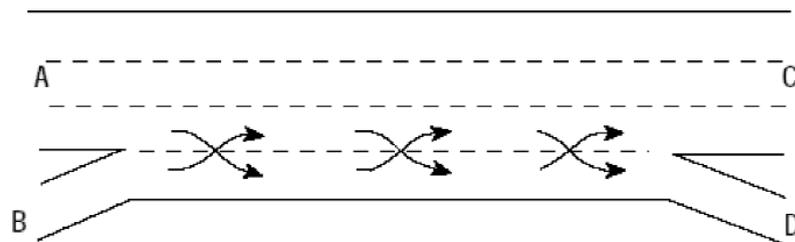
Las recomendaciones del Manual de Capacidad y AASHTO son las siguientes:

Functional class	Appropriate level of service for specified combinations of area and terrain type			
	Rural level	Rural rolling	Rural mountainous	Urban and suburban
Freeway	B	B	C	C
Arterial	B	B	C	C
Collector	C	C	D	D
Local	D	D	D	D

Figura 49. Recomendaciones de Capacidad según AASHTO y HCM.
Fuente: adaptado de (Transportation Research Board, 2000)

Para nuestro caso particular corresponde un Nivel de Servicio "C" considerando una vía arterial al Rulo de Bajada y como una carretera urbana Carril Rodríguez Peña. Para calcular y poder comparar el nivel de servicio del entrecruzamiento de proyecto, se procede a la determinación del mismo para nuestro caso.

La intersección en estudio se trata de una configuración de "Tipo A" puesto que ambos movimientos A-D y B-C precisan un cambio de carril.



(a) Tramos de trenzado "entre ramales" (trenzado lateral)

Figura 50. Tipo de configuración.
Fuente: adaptado de (Transportation Research Board, 2000)

Las zonas de entrecruzamiento "Tipo A" obligan a cada vehículo a realizar un cambio de carril para conseguir la maniobra deseada. Un ramal de acceso va seguido de otro de salida, existiendo un carril auxiliar continuo entre ambos. Todos los vehículos que acceden deben realizar un cambio desde el carril auxiliar al carril derecho de la autopista, y todos los vehículos que salen deben cambiar desde el carril derecho de la

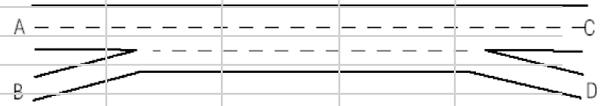
autopista al auxiliar. Dentro del tramo de entrecruzamiento también pueden producirse otros cambios de carril entre los carriles internos de la autopista, pero éstos no son impuestos por la maniobra de entrecruzamiento. Las secciones formadas por secuencias de ramal de entrada / ramal de salida, unidos por carriles auxiliares continuos, suelen denominarse “tramos de entrecruzamiento entre ramales”.

También pueden denominarse “tramos de entrecruzamiento lateral” porque todos los movimientos tienen lugar en un solo lado de la carretera.

Debe notarse que no se consideran zonas de entrecruzamiento los ramales de acceso seguidos de ramales de salida que no estén unidos por un carril auxiliar.

El tramo de trenzado entre ramales da servicio a los siguientes volúmenes de demanda en situación actual 2017:

Los volúmenes son los siguientes:									
A-C=	1212	v/h							
A-D=	239	v/h							
B-C=	322	v/h							
B-D=	0	v/h							
Porcentaje de vehículos pesados=	2%								
Factor de Hora Pico (FHP)=	0.9								
Ancho de carriles=	3.8	m							
Numero de carriles N=	3								
Longitud de entrecruzamiento L=	170	m							
Velocidad a flujo libre SFF(km/h)=	30	km/h							



El tránsito incluye un 2% de camiones y el FHP es de 0,90. Los carriles tienen un ancho de 3.80 m, sin obstrucciones laterales y el tramo se halla localizado en terreno plano.

Los volúmenes de demanda dados deben ser convertidos a intensidades punta o tasas vehiculares en condiciones ideales, expresadas en vehículos livianos por hora.

Tabla 6. Constantes para cálculo de velocidad en cruce en situación de Restringido y No Restringido.
Fuente: adaptado de (H. R. Board, 1965)

	Constants for Weaving Speed, S_w				Constants for Nonweaving Speed, S_{nw}			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Type A Configuration								
Unconstrained	0.15	2.2	0.97	0.80	0.0035	4.0	1.3	0.75
Constrained	0.35	2.2	0.97	0.80	0.0020	4.0	1.3	0.75
Type B Configuration								
Unconstrained	0.08	2.2	0.70	0.50	0.0020	6.0	1.0	0.50
Constrained	0.15	2.2	0.70	0.50	0.0010	6.0	1.0	0.50
Type C Configuration								
Unconstrained	0.08	2.3	0.80	0.60	0.0020	6.0	1.1	0.60
Constrained	0.14	2.3	0.80	0.60	0.0010	6.0	1.1	0.60

El número de carriles de entrecruzamiento o cruce necesariamente se computa y compara con el valor máximo de 1,4 carriles dado en la siguiente Tabla para una configuración “Tipo A”, utilizando las estimaciones de velocidades de trenzado y no trenzado para régimen no restringido.

Tabla 7. Número de carriles necesarios para operación no restringida.
Fuente: adaptado de (Transportation Research Board, 2000)

Configuration	Number of Lanes Required for Unconstrained Operation, N_w	$N_w(\max)$
Type A	$1.21(N) VR^{0.571} L^{0.234} / S_w^{0.438}$	1.4

$N_w =$	1.39	
$N_{wMAX} =$	1.4	Operación No restringida

Se observa que no se supera el límite para considerar el cruce como restringido.
Se procede ahora a calcular la velocidad en el entrecruzamiento:

$$S = \frac{v}{\left(\frac{v_w}{S_w}\right) + \left(\frac{v_{nw}}{S_{nw}}\right)}$$

Ecuación 3. Velocidad en el entrecruzamiento S

$S =$	32.93	Km/h
-------	-------	------

A partir del cálculo de la velocidad se obtiene la densidad en el entrecruzamiento y luego se encuadra el valor de la misma dentro de los límites de Nivel de Servicio que corresponda.

$$D = \frac{\left(\frac{v}{N}\right)}{S}$$

Ecuación 4. Densidad D

D= 20.14 pc/km

En la Tabla 8. Niveles de Servicio en función de la densidad, se determina el nivel de servicio en función del valor de la densidad obtenida.

*Tabla 8. Niveles de Servicio en función de la densidad.
Fuente: adaptado de (Transportation Research Board, 2000)*

LOS	Density (pc/km/ln)	
	Freeway Weaving Segment	Multilane and Collector-Distributor Weaving Segments
A	≤ 6.0	≤ 8.0
B	> 6.0–12.0	> 8.0–15.0
C	> 12.0–17.0	> 15.0–20.0
D	> 17.0–22.0	> 20.0–23.0
E	> 22.0–27.0	> 23.0–25.0
F	> 27.0	> 25.0

El Nivel de Servicio para el entrecruzamiento es “**D**”, lo que indica que en las condiciones actuales el entrecruzamiento se comporta por debajo del nivel de las recomendaciones, las cuales indican que para estas condiciones en Nivel de Servicio para el entrecruzamiento debería ser al menos “**C**”.

Obtenido el nivel de servicio para la situación actual, se procede a realizar el mismo análisis, pero considerando la situación actual con la implementación del proyecto, para luego hacer comparaciones.

Los volúmenes se toman iguales para la situación actual. La longitud considerada ahora para el entrecruzamiento es de 198m, y la velocidad a flujo libre se considera en 40km/h.

$$W_i = \frac{a(1+VR)^b \left(\frac{v}{N}\right)^c}{(3.28L)^d} \quad S_i = 24 + \frac{S_{FF} - 16}{1 + W_i}$$

$a, b, c, d =$ constants of calibration.

$W_w =$	0.843	$W_w =$	Factor de intensidad de entrecruzamiento para predecir la velocidad de entrecruzamiento
$W_{nw} =$	0.381	$W_{nw} =$	Factor de intensidad de entrecruzamiento para predecir la velocidad de no entrecruzamiento
$S_w =$	37.02 Km/h	$S_w =$	Velocidad de vehículos entrecruzados en la sección de entrecruzamiento (km/h)
$S_{nw} =$	41.38 Km/h	$S_{nw} =$	Velocidad de vehículos entrecruzados en la sección de entrecruzamiento (km/h)

El número de carriles de entrecruzamiento se compara con el valor máximo de 1,4 carriles dado en la siguiente Tabla 7 para una configuración “Tipo A.

$N_w =$	1.33	
$N_{wMAX} =$	1.4	Operación No restringida

Se observa que no se supera el límite para considerar el cruce como restringido.

Se procede ahora a calcular la velocidad en el entrecruzamiento:

$$S = \frac{v}{\left(\frac{v_w}{S_w}\right) + \left(\frac{v_{nw}}{S_{nw}}\right)}$$

$S =$	39.90 Km/h
-------	------------

A partir del cálculo de la velocidad se obtiene la densidad en el entrecruzamiento y luego se encuadra el valor de la misma dentro de los límites de Nivel de Servicio que corresponda.

$$D = \frac{\left(\frac{v}{N}\right)}{S}$$

$D =$	16.62 pc/km
-------	-------------

En la tabla N°12, se determina el nivel de servicio en función del valor de la densidad obtenida.

Tabla 9. Nivel de Servicio.
Fuente: adaptado de (Transportation Research Board, 2000)

LOS	Density (pc/km/ln)	
	Freeway Weaving Segment	Multilane and Collector-Distributor Weaving Segments
A	≤ 6.0	≤ 8.0
B	> 6.0–12.0	> 8.0–15.0
C	> 12.0–17.0	> 15.0–20.0
D	> 17.0–22.0	> 20.0–23.0
E	> 22.0–27.0	> 23.0–25.0
F	> 27.0	> 25.0

El Nivel de Servicio resultante para el entrecruzamiento es “C”, lo que indica que se cumple con los valores recomendados. Se observa que las intervenciones generan una notable mejora de la circulación en el entrecruzamiento.

A continuación, se simulará, dentro de las propuestas de Solución a la Red de Intersecciones, la adaptación de Rulo de Bajada de Acceso Sur.

4.5 ESCENARIOS PROPUESTOS PARA LA MODELACIÓN DE TRÁNSITO

En función de propuestas sugeridas para el problema que se tienen como antecedentes y las nuevas soluciones a considerar, se pretende evaluar el problema con una proyección a 20 años con una tasa de crecimiento vehicular del 3%, en distintos escenarios de modelación que incluyen seis (6) situaciones diferentes a partir de la “modelación base” correspondiente a situación actual a Diciembre del Año 2017:

- 1) *Situación Actual (sin proyecto) año 2017*
- 2) *Situación Actual sin proyecto año 2037*
- 3) *Situación con proyecto Rotonda año 2017*
- 4) *Situación con proyecto Rotonda año 2037*
- 5) *Situación Actual con proyecto separador físico año 2017*

6) *Situación Actual con proyecto separador físico año 2037*

A partir de estas seis situaciones iniciales se realizaron mejoras a cada una de ellas, para de alguna manera ajustar cada solución propuesta:

7) *Situación Actual + separador físico + incremento longitud rama de Bajada RN N°40 Sur- Oeste 2017*

8) *Situación Actual + separador físico + incremento longitud rama de Bajada RN N°40 Sur- Oeste 2037*

9) *Situación Actual + separador físico + incremento longitud rama de Bajada RN N°40 Sur- Oeste + 3° Carril Rodríguez Peña Este – Oeste 2017*

10) *Situación Actual + separador físico + incremento longitud rama de Bajada RN N°40 Sur- Oeste + 3° Carril Rodríguez Peña Este – Oeste 2037*

A partir de las modelaciones anteriores, éstas necesariamente deberán ser acompañadas con otras medidas e implementaciones como semaforizaciones, mejoras de tiempos semafóricos y modificaciones en Calles subsiguientes, para dar una solución y un análisis más integral:

11) *Situación Actual + separador físico + incremento longitud rama de Bajada RN N°40 Sur- Oeste + 3° Carril Rodríguez Peña Este – Oeste + Semaforización calle Venezuela 2017*

12) *Situación Actual + separador físico + incremento longitud rama de Bajada RN N°40 Sur- Oeste + 3° Carril Rodríguez Peña Este – Oeste + Semaforización calle Venezuela 2037*

13) *Situación Actual + separador físico + incremento longitud rama de Bajada RN N°40 Sur- Oeste + 3° Carril Rodríguez Peña Este – Oeste + Semaforización calle Venezuela + Carril de Giro para aumento de capacidad en calle Independencia. 2017*

14) *Situación Actual + separador físico + incremento longitud rama de Bajada RN N°40 Sur- Oeste + 3° Carril Rodríguez Peña Este – Oeste + Semaforización calle Venezuela + Carril de Giro para aumento de capacidad en calle Independencia 2037*

Evaluación del comportamiento del tránsito y análisis de colas

En las modelaciones llevadas a cabo se ha utilizado la medición de las longitudes de colas máximas durante la hora de máxima demanda, como parámetro para la evaluación de la congestión del tránsito. Para ello, se colocaron contadores en Calle Rodríguez Peña Este (contador N°1), Rama de bajada RN N°40 (Acceso Sur) dirección Sur – Oeste (contador N°2), Rodríguez Peña Oeste (contador N°3), Lateral RN N°40 dirección Sur – Este (contador N°4), Calle Diamante Sur (Contador N°5), Calle Independencia Sur (Contador N°6), Calle Independencia Norte (Contador N°7), Calle Venezuela Sur (contador N°8) y Calle Venezuela Norte (Contador N°9).



Figura 51. Ubicación de contadores de longitudes de Colas máximas.
Fuente: Elaboración propia, imágenes VISSIM

Se procede a la presentación de cada uno de los resultados de las simulaciones planteadas, donde se indican las longitudes de colas promedios y máximas en cada contador y correspondiente a cada simulación.

4.5.1 SITUACIÓN ACTUAL (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)

Para poder evaluar la situación actual con Flujo Vehicular correspondiente a diciembre del año 2017, se estimó una tasa de crecimiento vehicular anual del 3% (ésta surge de nuevas mediciones de tránsito en sitios puntuales y de estimaciones de

crecimiento económico en la zona según apartado 4.1.2 AJUSTES DE TRÁNSITO VEHICULAR ACTUAL.

Resultados Obtenidos

A partir de la modelación de tránsito, pudieron identificarse congestiones en Calle Diamante y Lateral Este de Acceso Sur, cuyas colas máximas superan los 130m. La rama de Bajada de Acceso Sur hacia el Oeste (rulo), también presenta una congestión y cola de 510m, afectando ésta la circulación sobre Acceso Sur.

Tabla 10. Resultados Obtenidos SITUACIÓN ACTUAL (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)

SITUACIÓN ACTUAL 2017			
Numero	Designación	Long. Cola	Long. Cola Máx.
1	Rodriguez Peña Este	0,41	53,97
2	Rama Bajada SO	191,06	510,20
3	Rodriguez Peña Oeste	2,67	50,50
4	Lateral RN40 SE	26,63	213,43
5	Calle Diamante Sur	104,74	218,61
6	Independencia Sur	46,37	123,38
7	Independencia Norte	14,84	120,93
8	Venezuela Sur	0,00	0,00
9	Venezuela Norte	0,00	0,00



*Figura 52. Intersección Calle Diamante y Rodríguez Peña.
Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 53. Afectación cola de Carril Rodríguez Peña en Acceso Sur.
Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 54. Formación de cola en Rulo Nor-Este de Acceso Sur.
Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 55. Simulación en curso.
Fuente: Elaboración Propia, imágenes Software VISSIM*

4.5.2 SITUACIÓN ACTUAL (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)

Se proyectó el censo vehicular desde el año 2017 al año 2037 con una tasa de 3%, obteniendo los siguientes resultados:

				n= 20 i%= 3%		
Horario: 8:00hs a 9:00hs (Diciembre 2037)						
RUTA	ORIGEN	FLUJO TOTAL	DESTINO	FLUJOS	PROPORCION	TOTAL
1	Calle Diamante Sur	211	Rodriguez Peña Oeste	33	15%	100%
			Lat. RN 40 Nor Este	83	39%	
			Diamante Norte	20	10%	
			Rodriguez Peña Este	51	24%	
			Estación GNC	24	12%	
2	Calle Venezuela Norte	435	Rodriguez Peña Oeste	423	97%	100%
			Venezuela Sur	0	0%	
			Rodriguez Peña Este	13	3%	
3	Calle Venezuela Sur	15	Rodriguez Peña Oeste	11	75%	100%
			Venezuela Norte	0	0%	
			Rodriguez Peña Este	4	25%	
4	Lateral RN 40 Sur Este	650	Rodriguez Peña Oeste	63	10%	100%
			Lat. RN 40 Norte Este	24	4%	
			Rodriguez Peña Este	534	82%	
			Calle Diamante Norte	28	4%	
5	Rodriguez Peña Oeste	2711	Lat. RN 40 Nor Este	206	8%	100%
			Lat. RN 40 Sur Este	228	8%	
			Rodriguez Peña Este	1826	67%	
			Calle Diamante Sur	47	2%	
			Calle Diamante Norte	22	1%	
			Independencia Norte	125	5%	
6	Rodriguez Peña Este	2512	Lat. RN 40 Nor Este	489	19,5%	100%
			Lat. RN 40 Sur Este	13	0,5%	
			Rodriguez Peña Oeste	1795	71%	
			Calle Diamante Sur	25	1%	
			Calle Diamante Norte	51	2%	
			Independencia Norte	76	3%	
			Independencia Sur	63	3%	
7	Independencia Sur	585	Rodriguez Peña Este	94	16,0%	100%
			Rodriguez Peña Oeste	392	67,0%	
			Independencia Norte	99	17%	
8	Independencia Norte	455	Rodriguez Peña Este	117	25,8%	100%
			Rodriguez Peña Oeste	229	50,4%	
			Independencia Sur	108	24%	

Figura 56. Proyección de censo Vehicular.
Fuente: Elaboración Propia

Resultados Obtenidos

A partir de la modelación de tránsito, pudieron identificarse nuevamente congestiones en Calle Diamante y Lateral Este de RN N°40 (Acceso Sur), cuyas colas máximas superan los 210m. La rama de Bajada de Acceso Sur, hacia el Oeste también presenta una congestión y cola de longitud máxima 510m, afectando ésta aún más la circulación sobre Acceso Sur.

Tabla 11. Resultados Obtenidos SITUACIÓN ACTUAL (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)

SITUACIÓN ACTUAL 2037			
Numero	Designación	Long. Cola	Long. Cola Máx.
1	Rodriguez Peña Este	215,25	487,27
2	Rama Bajada SO	439,51	510,21
3	Rodriguez Peña Oeste	34,90	57,67
4	Lateral RN40 SE	0,03	7,73
5	Calle Diamante Sur	202,78	210,68
6	Independencia Sur	302,98	336,56
7	Independencia Norte	175,35	257,22
8	Venezuela Sur	0,00	0,00
9	Venezuela Norte	3,07	116,62



Figura 57. Simulación en curso.
Fuente: Elaboración Propia, imágenes software VISSIM

4.5.3 PROYECTO ROTONDA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)

En este escenario se simula la situación con flujo Proyectado a diciembre de 2017 con el proyecto de una Rotonda de un radio de 30m, ubicada entre Rodríguez Peña y Calle Diamante.

Dentro de las características relevantes de este proyecto es que se contemplan expropiaciones, donde se busca conectar Calle Diamante con Calle Independencia, para permitir descongestionar Calle Diamante. También en Calle Diamante se prevé un Cul de Sac, lo que significa que se anulan las salidas y entradas directas hacia y desde Calle Diamante a Rodríguez Peña. **Estas expropiaciones y la previsión del Cul de Sac serán parte de ésta propuesta como así también de las siguientes.**



*Figura 58. Proyecto DNV - Municipalidad de Godoy Cruz.
Fuente: Dirección Nacional de Vialidad – Municipalidad de Godoy Cruz*



Figura 59. Situación con proyecto – Modelación de Tránsito.
Fuente: Elaboración Propia, imagen software VISSIM

Resultados Obtenidos

Se reduce levemente la congestión sobre Rodríguez Peña hacia el Oeste y sobre la lateral de RN N°40 (Acceso sur) también puede observarse que se producen largas colas sobre Rodríguez Peña hacia el Este, producto de los semáforos ubicados en Calle Independencia.

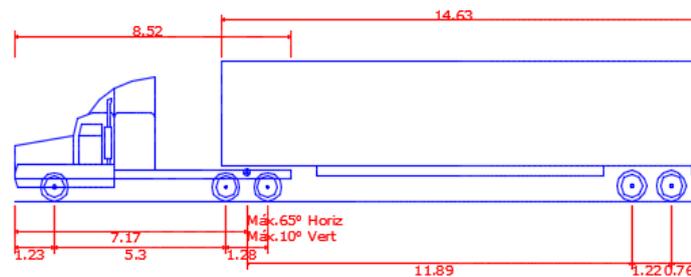
Tabla 12. Resultados Obtenidos PROYECTO ROTONDA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)

SITUACIÓN CON PROYECTO 2017			
Numero	Designación	Long. Cola	Long. Cola Máx.
1	Rodríguez Peña Este	291,01	329,05
2	Rama Bajada SO	4,18	220,98
3	Rodríguez Peña Oeste	1,17	68,82
4	Lateral RN40 SE	91,68	242,38
5	Independencia Sur	175,13	228,76
6	Independencia Norte	134,44	174,71
7	Venezuela Sur	0,17	7,09
8	Venezuela Norte	5,26	69,04



Figura 60. Congestion sobre Rodríguez Peña hacia el Este.
 Fuente: Elaboración propia, imagen Software VISSIM

Si bien los resultados evidencian una leve mejora en la congestión vehicular (con los valores de censos actualizados a diciembre de 2017), reduciendo la misma en dos casos, también puede observarse que el ancho del carril de circulación de la rotonda es insuficiente para poder efectuar el giro de algunos vehículos pesados, lo que produciría nuevamente congestiones en la intersección con el paso de los mismos. La modificación del ancho del carril de circulación, implica mayores dimensiones de la rotonda lo que no es posible por la inexistencia de mayor espacio físico.



WB-19 - Interstate Semi-Trailer	
Longitud total	21.040m
Anchura total	2.590m
Altura total de la carrocería	4.110m
Margen mín. entre la carrocería y el suelo	0.407m
Anchura máx. rodada	2.590m
Tiempo entre ángulos de giro	6.00s
Radio de giro de bordillo a bordillo	13.660m

Figura 61. Dimensiones vehículo WB-19.
 Fuente: Adaptado de software Vehicle Tracking Autodesk



Figura 62. Radios de giro para camión tipo WB-19.
Fuente: Adaptado de Vehicle Tracking Autodesk

4.5.4 PROYECTO ROTONDA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)

En este escenario se simula la situación con flujo Proyectado a diciembre de 2037 con el proyecto de una Rotonda, ubicada entre Rodriguez Peña y Calle Diamante.



Figura 63. Modelación Situación 2037 con Proyecto Rotonda.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM

Resultados Obtenidos

Aumenta notablemente la congestión con el incremento del flujo vehicular proyectado a 2037. La reducción de congestión alcanzada al inicio del proyecto con Rotonda de Rodríguez Peña hacia el Oeste y Lateral de RN N°40, se agrava nuevamente. Esto es evidenciado con los resultados de colas. En Lateral Este de RN N°40 (Acceso Sur) las colas máximas superan los 516m. La rama de Bajada de Acceso Sur, hacia el Oeste presenta menos congestión y la cola máxima es de 40m, esto es debido a la reducción de circulación desde Rodríguez Peña hacia el Este producto de un mal funcionamiento de la Rotonda. En Rodríguez Peña hacia el Oeste y hacia el Este se identifican colas máximas superiores a 252m y 332m respectivamente, reduciendo plenamente la capacidad de dicha arteria.

Tabla 13. Resultados Obtenidos PROYECTO ROTONDA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)

SITUACIÓN ACTUAL 2037			
Numero	Designación	Long. Cola	Long. Cola Máx.
1	Rodríguez Peña Este	295,80	332,35
2	Rama Bajada SO	10,50	220,45
3	Rodríguez Peña Oeste	169,80	251,55
4	Lateral RN40 SE	358,52	516,85
5	Independencia Sur	206,39	228,87
6	Independencia Norte	153,38	169,83
7	Venezuela Sur	0,20	7,02
8	Venezuela Norte	43,10	72,04

4.5.5 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)

En este escenario se simula la situación con flujo Proyectado a diciembre de 2017 con el proyecto de un separador fijo ubicado sobre Rodríguez Peña y Calle Diamante. Se busca eliminar maniobras en la intersección y que los vehículos desarrollen recorridos alternativos para reemplazarlas.

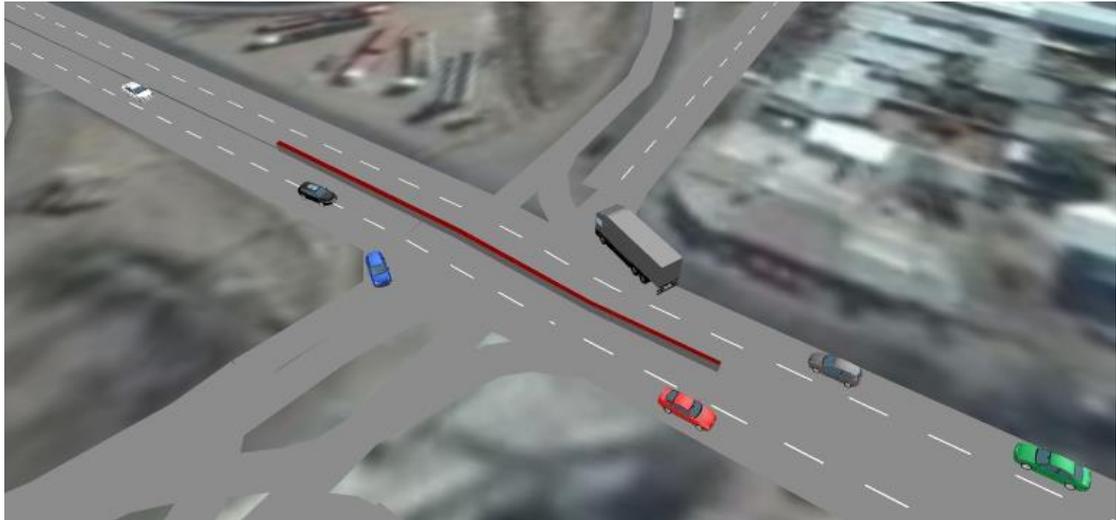


Figura 64. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña intersección Calle Diamante.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM

En este proyecto también se contempla expropiaciones, donde se busca conectar Calle Diamante con Calle Independencia (a través de Calle Las Margaritas), al igual que la alternativa anterior, para permitir descongestionar Calle Diamante. También, similar a la propuesta anterior, en Calle Diamante se prevé un Cul de Sac, lo que significa que se anulan las salidas y entradas directas hacia y desde Calle Diamante a Rodríguez Peña. Para poder realizar el cruce de Rodríguez Peña desde la Lateral de Acceso Sur y Calle Diamante, el tránsito indefectiblemente deberá circular por Calle Independencia, y desde allí tomar los diferentes destinos hacia el Oeste.



Figura 65. Conexión entre Calles Diamante y Calle Independencia a través de Calle Las Margaritas.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM

Resultados Obtenidos

Se reduce notablemente la congestión sobre Rodríguez Peña en ambas direcciones, sobre la rama de bajada Sur – Oeste de RN N°40 (Acceso sur) puede observarse que se producen colas, debido a la fluidez de tránsito sobre Rodríguez Peña de Este a Oeste.

Tabla 14. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)

SITUACIÓN ACTUAL 2017			
Numero	Designación	Long. Cola	Long. Cola Máx.
1	Rodríguez Peña Este	0,29	66,61
2	Rama Bajada SO	35,32	269,63
3	Rodríguez Peña Oeste	19,02	90,50
4	Lateral RN40 SE	5,37	155,41
5	Independencia Sur	278,34	464,09
6	Independencia Norte	6,58	59,22
7	Venezuela Sur	0,00	0,00
8	Venezuela Norte	0,00	0,00

4.5.6 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)

En este escenario se simula la situación con flujo Proyectado, esta vez a diciembre de 2037 con el proyecto de un separador fijo ubicado sobre Rodríguez Peña y Calle Diamante.

Resultados Obtenidos

Permanece la reducción de congestión sobre Rodríguez Peña en ambas direcciones, aunque por momentos hacia el Oeste pueden formarse colas consecuencia de los tiempos semafóricos. Sobre la rama de bajada Sur – Oeste de RN N°40 (Acceso sur) se incrementan aún más las colas, debido a la fluidez e incremento del tránsito sobre Rodríguez Peña de Este a Oeste. Por el mismo motivo se producen colas sobre sobre la Lateral RN N°40 (Acceso Sur).

Tabla 15. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)

SITUACIÓN CON PROYECTO 2037			
Numero	Designación	Long. Cola	Long. Cola Máx.
1	Rodriguez Peña Este	0,31	72,28
2	Rama Bajada SO	429,20	510,11
3	Rodriguez Peña Oeste	124,21	367,81
4	Lateral RN40 SE	46,19	264,89
5	Independencia Sur	406,73	478,87
6	Independencia Norte	20,27	104,57
7	Venezuela Sur	0,00	0,00
8	Venezuela Norte	101,43	176,80

Ante el aumento de longitud de colas en el Rulo de Bajada, es que se propone el incremento de la longitud del mismo, y se busca mejorar el entrecruzamiento con Carril Rodriguez Peña al final del Rulo de Bajada.

4.5.7 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur) E INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)

En este escenario se simula la situación con flujo Proyectado a diciembre de 2017 con el proyecto de un separador fijo ubicado sobre Rodríguez Peña y Calle Diamante con los mismos objetivos que los casos anteriores. También se contemplan expropiaciones, donde se busca conectar Calle Diamante con Calle Independencia, al igual que las alternativas anteriores. Permanece la propuesta de efectuar Cul de Sac en Calle Diamante, anulando las salidas y entradas directas hacia y desde Calle Diamante a Rodríguez Peña.

Además de estas propuestas se aumentará la longitud (desarrollo) de la Rama de Bajada de RN N°40 (Acceso sur) Sur- Oeste, permitiendo un mayor almacenamiento de vehículos en caso de colas. Inmediatamente después de la rama se adicionará un tercer carril sobre Rodríguez Peña, el cual mejora el entrecruzamiento de vehículos que ingresan y egresan por las ramas de R.N N°40 con los vehículos que circulan por

Rodríguez Peña. También se considera la apertura de Calle Venezuela desde el sur, para de esta manera poder descongestionar Calle Independencia.



*Figura 66. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña, aumento de longitud de Rama de bajada RN N°40 (Acc. Sur), incorporación de 3°Carril.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM*

En la intersección entre Calle Venezuela y Rodríguez Peña se propone colocar semáforos, perfectamente sincronizados con los semáforos existentes hoy en Calle Independencia. El objetivo de los mismos será el de evitar la saturación en Calle Independencia, dándole la oportunidad de utilizar esta vía a los usuarios que quieran ingresar a Rodríguez Peña desde Lateral de Acceso Sur como así también aquellos que circulen por Calle Independencia.



Figura 67. Calle Venezuela y Calle Independencia Semaforizadas.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM

También se propone que Calle Venezuela Sur, sea de un sentido de circulación Sur – Norte. Permitiendo también mayor almacenamiento, nuevamente para descongestionar Calle Independencia.

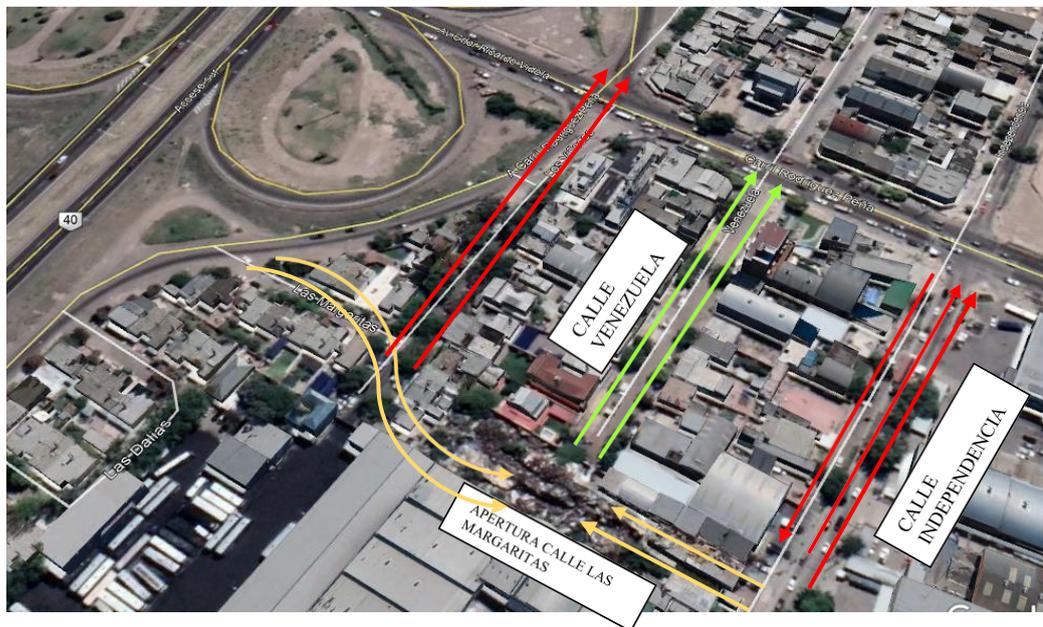


Figura 68. Ingreso a Calle Venezuela Desde Calle Independencia y Lateral Acceso Sur.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM

Resultados Obtenidos

Puede observarse que las colas en general han disminuido notablemente con esta alternativa. Permanecen y tienden a incrementarse las colas sobre la Lateral RN N°40 (Acceso Sur), nuevamente por la fluidez de tránsito en Rodríguez Peña en dirección Oeste- Este. Comienzan también a haber demoras en Rodríguez Peña en dirección Oeste-Este debido al semáforo en Calle Independencia. También puede notarse un aumento de longitud de colas en Calle Independencia Sur y Venezuela Norte.

Tabla 16. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur) E INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)

SITUACIÓN CON PROYECTO 2017			
Numero	Designación	Long. Cola	Long. Cola Máx.
1	Rodríguez Peña Este	0,34	47,87
2	Rama Bajada SO	0,00	0,00
3	Rodríguez Peña Oeste	0,09	28,42
4	Lateral RN40 SE	0,00	29,80
5	Calle Diamante Sur	0,00	0,00
6	Independencia Sur	14,84	89,60
7	Independencia Norte	6,30	57,40
8	Venezuela Sur	10,32	61,45
9	Venezuela Norte	10,59	86,96



Figura 69. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña, aumento de longitud de Rama de bajada RN N°40 (Acc. Sur), incorporación de 3° carril y apertura Calle Venezuela año 2017.

Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM

Tabla 17. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur) E INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)

SITUACIÓN CON PROYECTO 2037			
Numero	Designación	Long. Cola	Long. Cola Máx.
1	Rodriguez Peña Este	0,04	27,89
2	Rama Bajada SO	0,00	0,00
3	Rodriguez Peña Oeste	8,87	56,31
4	Lateral RN40 SE	168,95	212,69
5	Calle Diamante Sur	0,00	0,00
6	Independencia Sur	179,26	211,76
7	Independencia Norte	37,00	155,27
8	Venezuela Sur	33,06	128,55
9	Venezuela Norte	134,10	178,32



Figura 71. Separador Rígido sobre Rodriguez Peña, aumento de longitud de Rama de bajada RN N°40 (Acc. Sur), incorporación de 3ª carril y apertura Calle Venezuela año 2037.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM

4.5.9 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur), INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA Y 3° CARRIL EN CALLE INDEPENDENCIA NORTE Y SUR (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2017)

En este escenario se simula la situación anterior adicionando carriles de giro en Calle Independencia tanto Sur como Norte, con el objetivo de aumentar capacidad de almacenamiento en Calle Independencia.



*Figura 72. Adición de Carril de giro en Calle Independencia.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM*

Resultados Obtenidos

Se reducen las colas sobre Calle Independencia Sur, aumentando la capacidad de almacenamiento. Se observa una notable mejora de la capacidad y funcionamiento de las intersecciones en estudio.

Tabla 18. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur), INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA Y 3° CARRIL EN CALLE INDEPENDENCIA NORTE Y SUR (con flujo vehicular proyectado a diciembre 2017)

SITUACIÓN CON PROYECTO 2017

Nº de Contador	Designación	Long. Cola Prom.	Long. Cola Máx.
1	Rodriguez Peña Este	0,20	48,13
2	Rama Bajada SO	0,00	0,00
3	Rodriguez Peña Oeste	0,10	28,42
4	Lateral RN40 SE	0,00	0,00
5	Calle Diamante Sur	0,00	0,00
6	Independencia Sur	2,34	27,54
7	Independencia Norte	1,20	39,16
8	Venezuela Sur	11,48	67,33
9	Venezuela Norte	8,69	73,99



Figura 73. Separador Rígido sobre Rodriguez Peña, aumento de longitud de Rama de bajada RN N°40 (Acc. Sur), incorporación de 3°Carril y apertura Calle Venezuela + 3°Carril en Calle Independencia año 2017. Fuente: Elaboración propia, imagen Software VISSIM.

4.5.10 PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur), INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA Y 3° CARRIL EN CALLE INDEPENDENCIA NORTE Y SUR (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)

Resultados Obtenidos

Se obtienen los mismos resultados que para el caso anterior con el aumento correspondiente de longitud de colas proporcionalmente con el aumento de flujo vehicular.

Tabla 19. Resultados Obtenidos PROYECTO SEPARADOR FÍSICO SOBRE RODRIGUEZ PEÑA, AUMENTO DE LONGITUD DE RAMA DE BAJADA R.N N°40 (Acceso Sur), INCORPORACIÓN DE 3° CARRIL EN RODRIGUEZ PEÑA Y 3° CARRIL EN CALLE INDEPENDENCIA NORTE Y SUR (con flujo vehicular proyectado a dic. de 2037)

SITUACIÓN CON PROYECTO 2037			
Nº de Contador	Designación	Long. Cola Prom.	Long. Cola Máx.
1	Rodriguez Peña Este	10,01	310,37
2	Rama Bajada SO	0,00	0,00
3	Rodriguez Peña Oeste	8,88	50,42
4	Lateral RN40 SE	167,94	212,55
5	Calle Diamante Sur	0,00	0,00
6	Independencia Sur	8,43	118,20
7	Independencia Norte	6,25	84,49
8	Venezuela Sur	31,36	111,86
9	Venezuela Norte	29,18	152,24



Figura 74. Separador Rígido sobre Rodríguez Peña, aumento de longitud de Rama de bajada RN N°40 (Acc. Sur), incorporación de 3°Carril y apertura Calle Venezuela + 3°Carril en Calle Independencia año 2037.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM

Es fundamental que para estos casos los tiempos y coordinación semafórica sea la adecuada. Los semáforos de las Intersecciones de Carril Rodríguez Peña y Calles Venezuela e Independencia, deben estar perfectamente coordinados. Los tiempos que surgen de la simulación corresponden a un ciclo de 75seg, dando prioridad a Rodríguez Peña en ambas intersecciones.

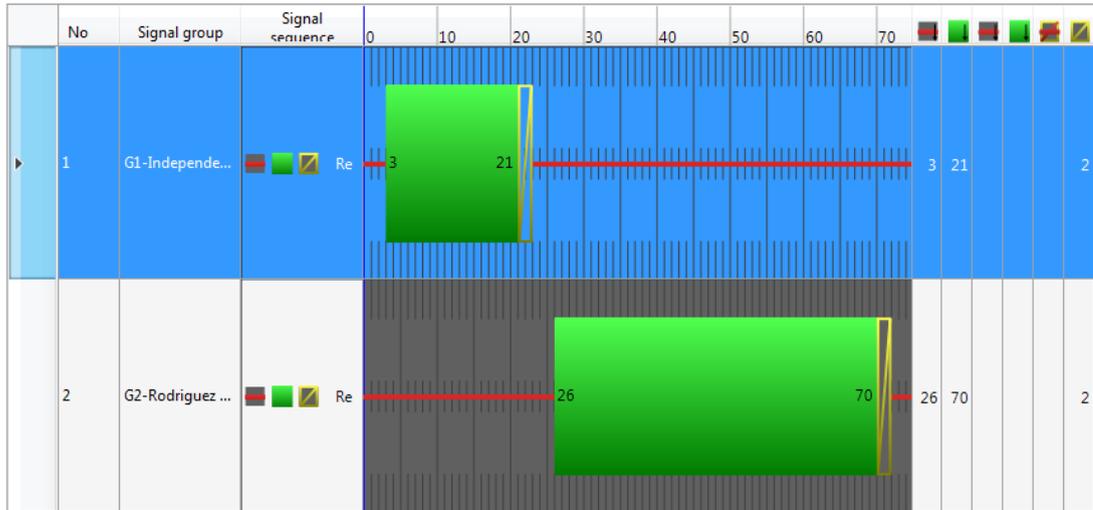


Figura 75. Tiempos de semáforos en Intersecciones de Carril Rodriguez Peña con Independencia y Venezuela.
Fuente: Elaboración Propia, imagen Software VISSIM

CAPITULO 5: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se realizará un análisis de las situaciones y propuestas planteadas, en donde se optará por la solución o propuesta más adecuada para la Red de Intersecciones, desde un criterio que se extiende desde el peatón hasta los vehículos pesados.

5.1 CONCLUSIONES DE ANÁLISIS DE LA RED DE INTERSECCIONES

El diseño de la red vial bajo estudio al año 2017 genera un nivel de congestión del tráfico que se mide, en cada uno de los 9 contadores identificados; a través de la Longitud de cola Promedio [m]; la Longitud de cola máxima [m] y la velocidad promedio [km/h]. La Tabla 20. Indicadores de congestión para el diseño actual al año 2017 para cada contador y la Figura 76 y Figura 77 muestran dichos valores para el año 2017.

Tabla 20. Indicadores de congestión para el diseño actual al año 2017 para cada contador

Número	Designación	Longitud de Cola Promedio [m]	Longitud de Cola Máxima [m]	Velocidad [km/h]
1	Rodriguez Peña Este	0,53	53,28	32,00
2	Rama Bajada SO	208,05	510,05	31,00
3	Rodriguez Peña Oeste	3,42	55,54	29,00
4	Lateral RN40 SE	11,35	206,60	31,00
5	Calle Diamante Sur	78,83	212,76	29,00
6	Independencia Sur	46,22	123,38	31,00
7	Independencia Norte	14,84	120,93	29,00
8	Venezuela Sur	0,00	0,00	29,00
9	Venezuela Norte	0,00	0,00	30,00

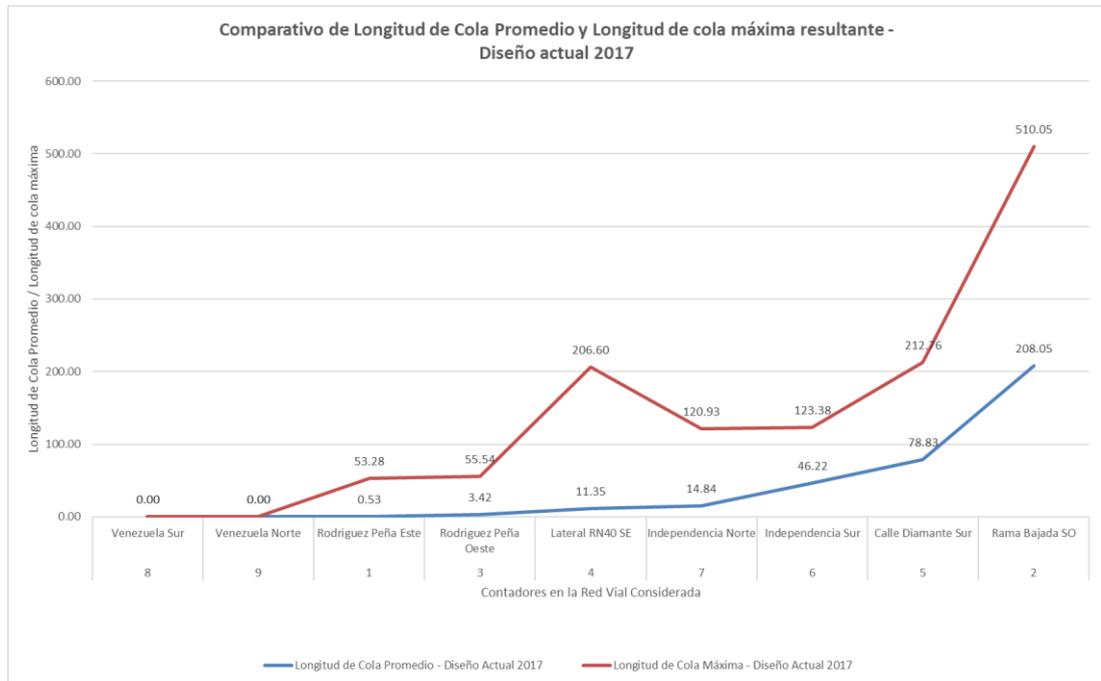


Figura 76. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de Cola Máxima resultante Diseño Actual 2017.

Fuente: Elaboración Propia

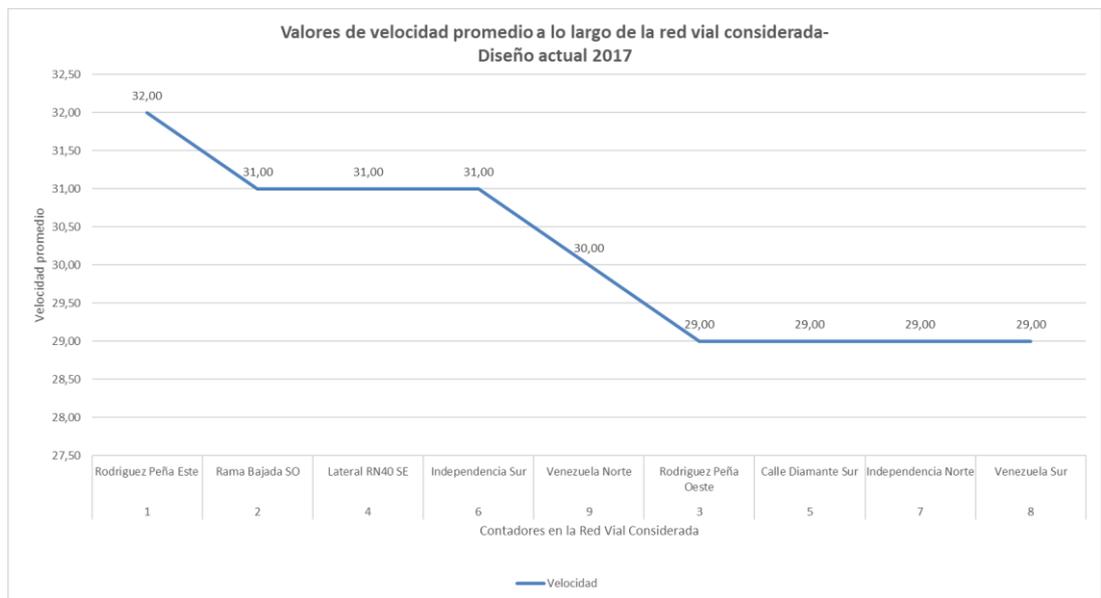


Figura 77. Valores de Velocidad Promedio a lo largo de la Red Vial considerada diseño actual 2017.

Fuente: Elaboración Propia

El análisis descriptivo inicial para la Longitud de cola promedio resultante del Actual Diseño de la red vial al año 2017 (Tabla 20. Indicadores de congestión para el diseño actual al año 2017 para cada contador) indica que su valor varió entre un mínimo de 0.00 m y un máximo de 280.05 m con un valor promedio de 40.36 m y una desviación

estándar de 68.31 m.

El análisis descriptivo inicial para la Longitud de cola máxima resultante del Actual Diseño de la red vial al año 2017 (Tabla 20. Indicadores de congestión para el diseño actual al año 2017 para cada contador) indica que su valor varió entre un mínimo de 0.00 m y un máximo de 510.05 m con un valor promedio de 142.50 m y una desviación estándar de 158.54 m.

Finalmente, el análisis descriptivo inicial para la Velocidad promedio resultante del Actual Diseño de la red vial al año 2017 (Tabla 20. Indicadores de congestión para el diseño actual al año 2017 para cada contador) indica que su valor varió entre un mínimo de 29.00 km/h y un máximo de 32.00 km/h con un valor promedio de 30.11 km/h y una desviación estándar de 1.16 km/h

El diseño actual de la red de intersecciones, realizado con criterios vigentes al año 1970, fue realizado desde el enfoque de los paradigmas de movilidad y seguridad vial. Desde esta perspectiva de diseño se busca reducir la congestión y tiempos de demora, incrementar la vida útil de la Red de Intersecciones y garantizar la circulación segura de los diferentes usuarios de la misma.

Se consideraron tres alternativas al diseño actual que en forma sintética se pueden describir como:

1) Propuesta de diseño 1: Situación Actual con Rotonda

- ✓ Considera como criterios de diseño principales, reducir los puntos de conflicto entre vehículos y reducción de congestión vehicular en Calle Diamante.
- ✓ Esta propuesta de diseño genera un nivel de congestión del tráfico que se mide, en cada uno de los 9 contadores identificados; a través de la Longitud de cola Promedio [m]; la Longitud de cola máxima [m] y la velocidad promedio[km/h]. La Tabla 21 y las Figura 76 y Figura 77 muestran dichos valores para el año 2017.

Tabla 21. Indicadores de congestión para la Propuesta de Diseño 1 para las condiciones de tráfico al año 2017 para cada contador.

Número	Designación	Longitud de Cola Promedio [m]	Longitud de Cola Máxima [m]	Velocidad [km/h]
1	Rodriguez Peña Este	280,22	332,34	30,00
2	Rama Bajada SO	18,66	516,87	30,00
3	Rodriguez Peña Oeste	2,00	85,75	28,00
4	Lateral RN40 SE	3,81	55,69	29,00
5	Calle Diamante Sur	0,00	0,00	30,00
6	Independencia Sur	161,59	228,81	27,00
7	Independencia Norte	137,00	174,51	30,00
8	Venezuela Sur	11,67	173,10	29,00
9	Venezuela Norte	12,34	66,78	30,00

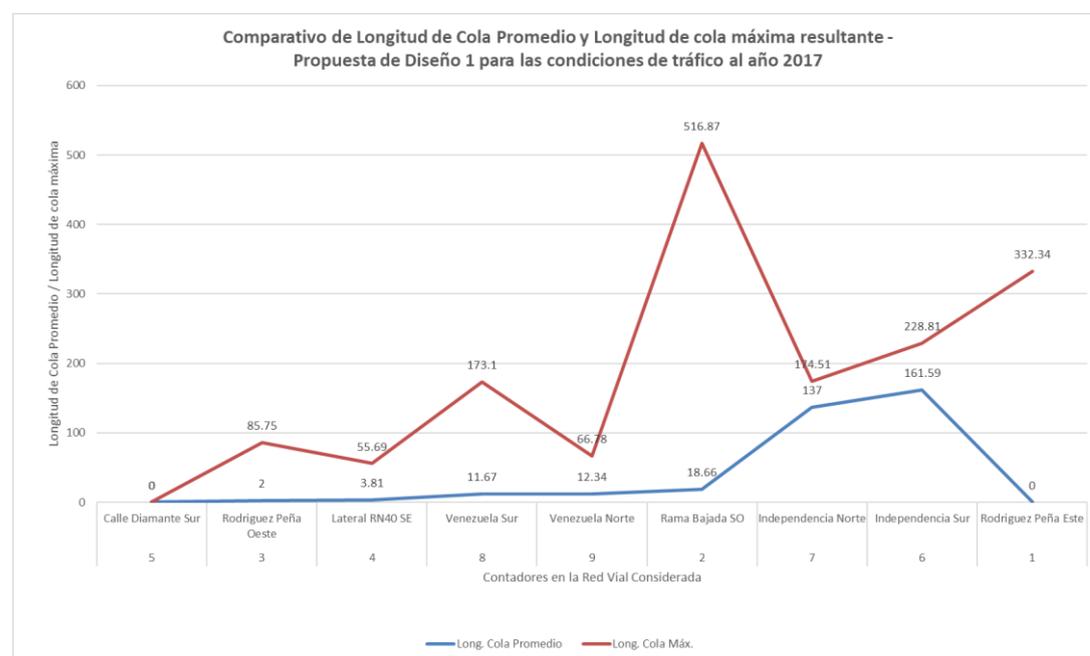


Figura 78. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de Cola Máxima resultante para Propuesta de Diseño 1 al año 2017.
Fuente: Elaboración Propia

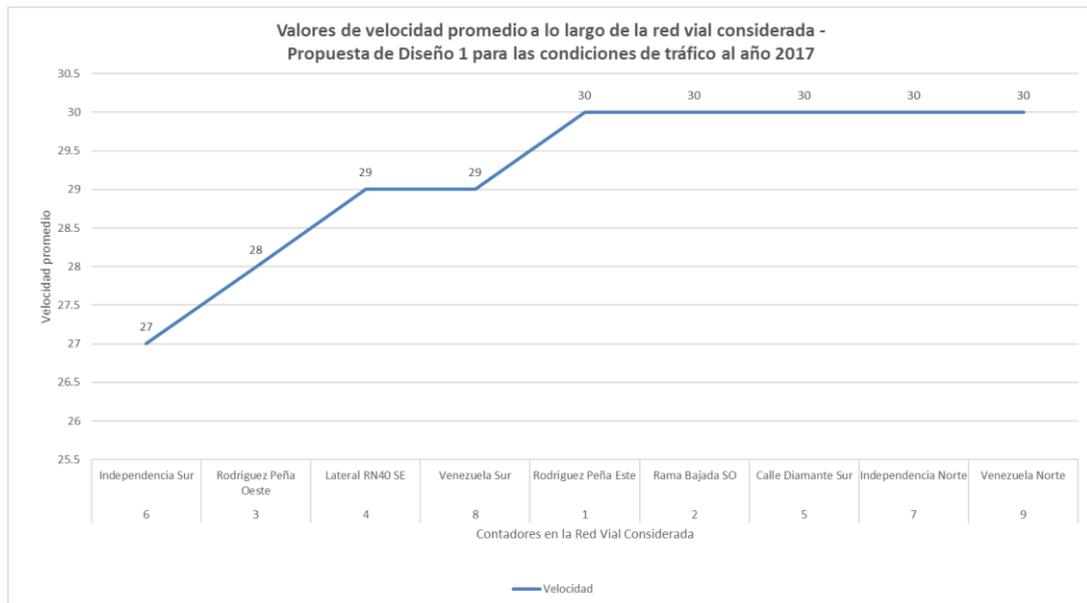


Figura 79. Valores de Velocidad Promedio a lo largo de la Red Vial considerada para Propuesta de diseño 1 al año 2017.

Fuente: Elaboración Propia

2) Propuesta de diseño 2: Colocación de separador rígido sobre Calle Rodríguez Peña, aumento de longitud de rama de bajada desde acceso sur y a continuación de la misma adición de carril sobre Rodríguez Peña. Apertura de Calle Las Margaritas y semaforización en Calle Venezuela.

- ✓ Considera como criterios de diseño principales dinamizar flujo vehicular de Rodríguez Peña en dirección Oeste-Este y Este-Oeste, reducir congestión vehicular.
- ✓ Esta propuesta de diseño genera un nivel de congestión del tráfico que se mide, en cada uno de los 9 contadores identificados; a través de la Longitud de cola Promedio [m]; la Longitud de cola máxima [m] y la velocidad promedio [km/h]. La Tabla 22 y las Figura 80 y Figura 81 muestran dichos valores para el año 2017.

Tabla 22. Indicadores de congestión para la Propuesta de Diseño 2 para las condiciones de tráfico al año 2017 para cada contador.

Número	Designación	Longitud de Cola Promedio [m]	Longitud de Cola Máxima [m]	Velocidad [km/h]
1	Rodriguez Peña Este	0,42	47,87	39,00
2	Rama Bajada SO	0,00	0,00	39,00
3	Rodriguez Peña Oeste	0,09	28,42	41,00
4	Lateral RN40 SE	0,00	0,00	41,00
5	Calle Diamante Sur	0,00	0,00	40,00
6	Independencia Sur	14,75	89,60	39,00
7	Independencia Norte	6,30	57,40	39,00
8	Venezuela Sur	11,51	67,33	39,00
9	Venezuela Norte	8,84	80,06	40,00

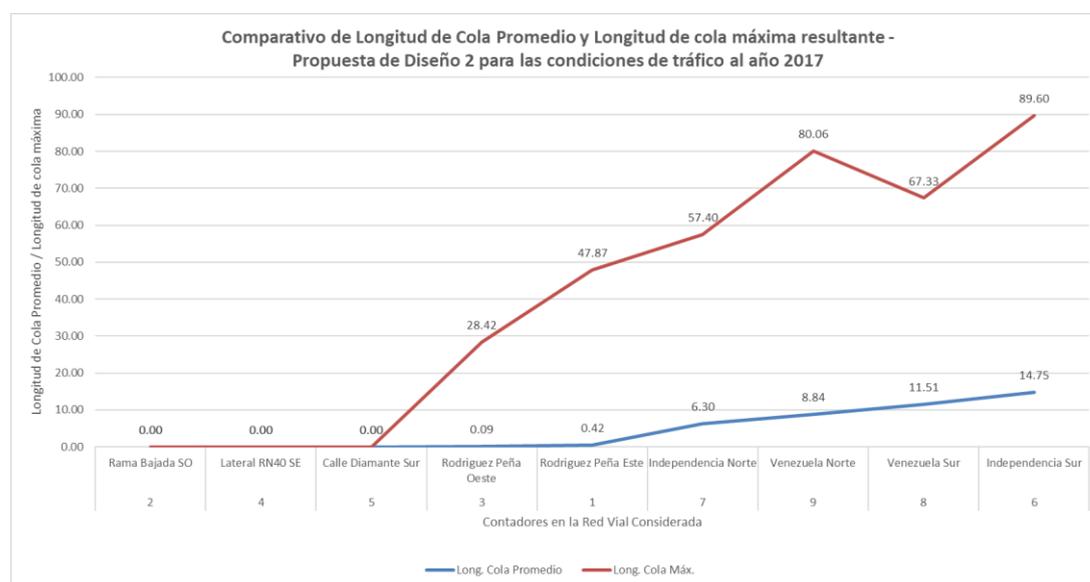


Figura 80. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de Cola Máxima resultante para Propuesta de Diseño 2 al año 2017.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 81. Valores de Velocidad Promedio a lo largo de la Red Vial considerada para Propuesta de diseño 2 al año 2017.

Fuente: Elaboración propia

3) Propuesta de diseño 3: Misma situación que en Propuesta de Diseño 2 y adición de carriles de Giro en Calle Independencia.

- ✓ Considera como criterios de diseño principales los mencionados en Propuesta de diseño 2 y mejora de fluidez de tránsito en Calle Independencia
- ✓ Esta propuesta de diseño genera un nivel de congestión del tráfico que se mide, en cada uno de los 9 contadores identificados; a través de la Longitud de cola promedio [m]; la Longitud de cola máxima [m] y la velocidad promedio [km/h]. La Tabla 23 y la Figura 82 y Figura 83 muestran dichos valores para el año 2017.

Tabla 23. Indicadores de congestión para la Propuesta de Diseño 3 para las condiciones de tráfico al año 2017 para cada contador.

Número	Designación	Longitud de Cola Promedio [m]	Longitud de Cola Máxima [m]	Velocidad [km/h]
1	Rodriguez Peña Este	0,20	48,13	42,00
2	Rama Bajada SO	0,00	0,00	40,00
3	Rodriguez Peña Oeste	0,10	28,42	40,00
4	Lateral RN40 SE	0,00	0,00	41,00
5	Calle Diamante Sur	0,00	0,00	40,00
6	Independencia Sur	2,34	27,54	39,00
7	Independencia Norte	1,20	39,16	39,00
8	Venezuela Sur	11,48	67,33	42,00
9	Venezuela Norte	8,69	73,99	41,00

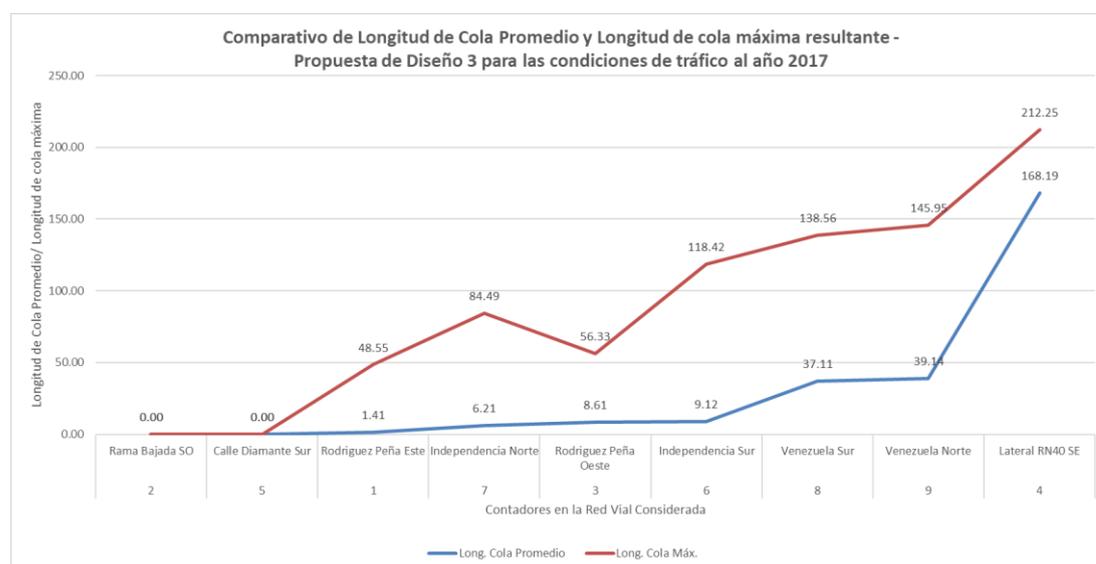


Figura 82. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de Cola Máxima resultante para Propuesta de Diseño 3 al año 2017.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 83. Valores de Velocidad Promedio a lo largo de la Red Vial considerada para Propuesta de diseño 2 al año 2017.

Fuente: Elaboración Propia

El análisis comparativo de la longitud de cola promedio [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual al 2017 muestra que existe una diferencia en el valor promedio resultante y que la Propuesta de Diseño 3 arroja la mayor disminución promedio de longitud de cola con un valor de -37.69 m en la red vial considerada como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24. Comparativo de la longitud de cola promedio [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual al 2017

Numero	Designación	Actual 2017 Long. Cola Promedio	Actual 2017 con Rotonda Long. Cola Promedio	Cambio	Actual 2017 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA 2017 Long. Cola Promedio	Cambio	Actual 2017 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA +Carril Giro Independencia 2017 Long. Cola Promedio	Cambio
1	Rodriguez Peña Este	0.53	280.22	279.68	0.42	-0.11	0.20	-0.33
2	Rama Bajada SO	208.05	18.66	-189.39	0.00	-208.05	0.00	-208.05
3	Rodriguez Peña Oeste	3.42	2.00	-1.42	0.09	-3.34	0.10	-3.32
4	Lateral RN40 SE	11.35	3.81	-7.53	0.00	-11.35	0.00	-11.35
5	Calle Diamante Sur	78.83	0.00	-78.83	0.00	-78.83	0.00	-78.83
6	Independencia Sur	46.22	161.59	115.37	14.75	-31.47	2.34	-43.88
7	Independencia Norte	14.84	137.00	122.15	6.30	-8.54	1.20	-13.64
8	Venezuela Sur	0.00	11.67	11.67	11.51	11.51	11.48	11.48
9	Venezuela Norte	0.00	12.34	12.34	8.84	8.84	8.69	8.69
CAMBIO PROMEDIO				29.34		-35.71		-37.69

El análisis comparativo de la longitud de cola máxima [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual al 2017 muestra que existe una diferencia en el valor promedio resultante y que la Propuesta de Diseño 3 arroja la mayor disminución promedio de longitud de cola máxima con un valor de -110.88 m en la red vial considerada como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25. Comparativo de la longitud de cola máxima [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual al 2017

Numero	Designación	Actual 2017 Long. Cola Máx.	Actual 2017 con Rotonda Long. Cola Máx.	Cambio	Actual 2017 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA 2017 Long. Cola Máx.	Cambio	Actual 2017 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA +Carril Giro Independe ncia 2017 Long. Cola Máx.	Cambio
1	Rodriguez Peña Este	53.28	332.34	279.06	47.87	-5.40	48.13	-5.14
2	Rama Bajada SO	510.05	516.87	6.83	0.00	-510.05	0.00	-510.05
3	Rodriguez Peña Oeste	55.54	85.75	30.21	28.42	-27.11	28.42	-27.11
4	Lateral RN40 SE	206.60	55.69	-150.91	0.00	-206.60	0.00	-206.60
5	Calle Diamante Sur	212.76	0.00	-212.76	0.00	-212.76	0.00	-212.76
6	Independe ncia Sur	123.38	228.81	105.43	89.60	-33.78	27.54	-95.84
7	Independe ncia Norte	120.93	174.51	53.59	57.40	-63.53	39.16	-81.77
8	Venezuela Sur	0.00	173.10	173.10	67.33	67.33	67.33	67.33
9	Venezuela Norte	0.00	66.78	66.78	80.06	80.06	73.99	73.99
CAMBIO PROMEDIO				39.04		-101.32		-110.88

Finalmente, el análisis comparativo de la velocidad promedio [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual al 2017 muestra que existe una diferencia en el valor promedio resultante y que la Propuesta de Diseño 3 arroja el mayor incremento promedio de la velocidad con un valor de incremento de 10.33 km/h en la red vial considerada como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. Comparativo de la velocidad promedio [km/h] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual al 2017

Numero	Designación	Actual 2017 Velocidad	Actual 2017 con Rotonda Velocidad	Cambio	Actual 2017 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R. N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA 2017 Velocidad	Cambio	Actual 2017 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R. N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA +Carril Giro Independencia 2017 Velocidad	Cambio
1	Rodriguez Peña Este	32,00	30,00	-2,00	39,00	7,00	42,00	10,00
2	Rama Bajada SO	31,00	30,00	-1,00	39,00	8,00	40,00	9,00
3	Rodriguez Peña Oeste	29,00	28,00	-1,00	41,00	12,00	40,00	11,00
4	Lateral RN40 SE	31,00	29,00	-2,00	41,00	10,00	41,00	10,00
5	Calle Diamante Sur	29,00	30,00	1,00	40,00	11,00	40,00	11,00
6	Independencia Sur	31,00	27,00	-4,00	39,00	8,00	39,00	8,00
7	Independencia Norte	29,00	30,00	1,00	39,00	10,00	39,00	10,00
8	Venezuela Sur	29,00	29,00	0,00	39,00	10,00	42,00	13,00
9	Venezuela Norte	30,00	30,00	0,00	40,00	10,00	41,00	11,00
CAMBIO PROMEDIO				-0,89		9,56		10,33

El Grafico 2 y Grafico 3 muestran los valores de cola máximas [m] y las velocidades promedio [km/h] resultantes del diseño tradicional actual al año 2017 y los valores resultantes de las tres propuestas de diseño vial integral para la red vial considerada.

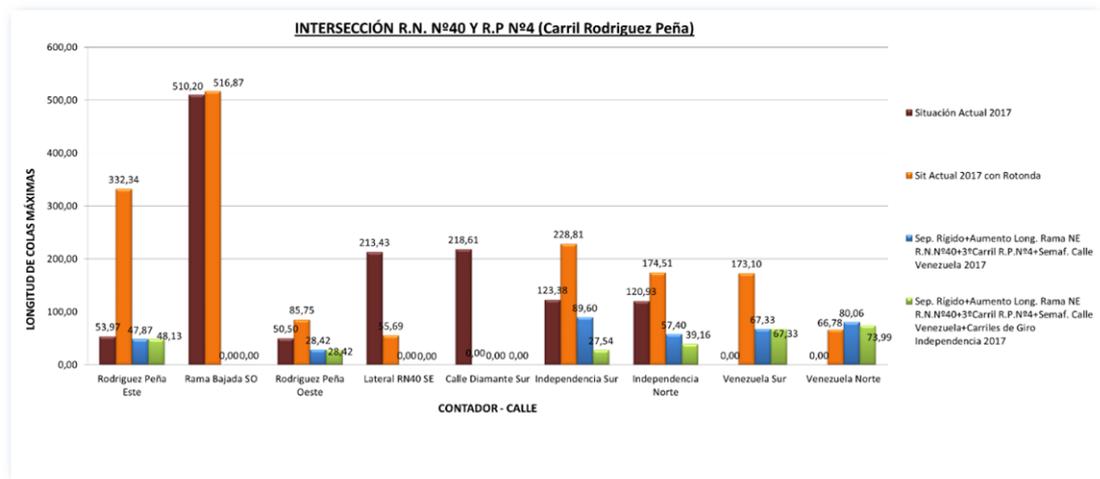


Gráfico 2. Longitudes de colas máximas. Situación 2017.
Fuente: Elaboración Propia

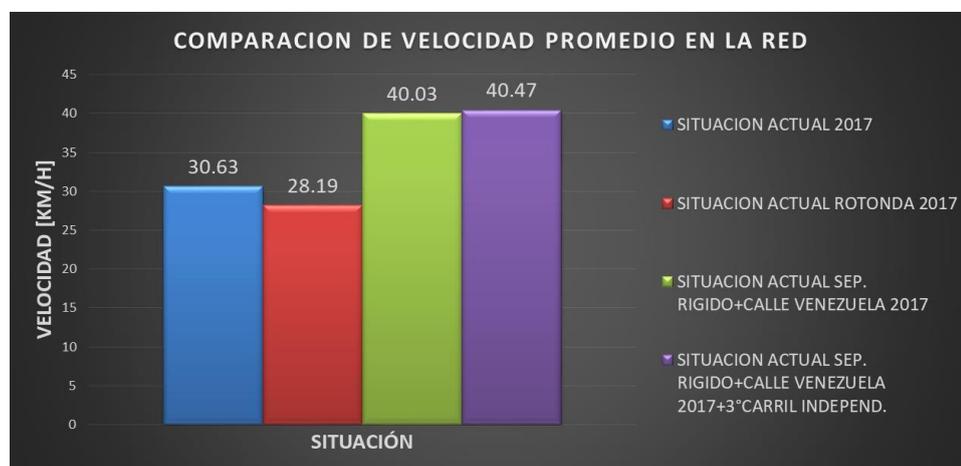


Gráfico 3. Comparación de velocidades medias de marcha en la Red. Situación Año 2017.

Como primera conclusión, el análisis de los resultados hallados muestra que el nivel de congestión de tránsito en la Red de intersecciones resultante de un diseño vial integral presenta diferencia respecto del nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 y se halla evidencia que soporta la hipótesis alternativa o de investigación H_i .

H_i : El nivel de congestión de tránsito en la intersección se ubicará sistemáticamente en un valor menor para al menos una de las propuestas de diseño vial integral al comparar su valor con el nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional.

Esto es consistente con lo propuesto por (E. Lieberman & Rathi, published in

1975/1997) donde puede evidenciarse Relaciones de causa y efecto. Específicamente los orígenes de condiciones congestionadas y relacionarlas con los factores que lo causaron.

Como segunda conclusión, el análisis del nivel de congestión muestra que la Propuesta de Diseño 3: Colocación de separador rígido sobre Calle Rodríguez Peña, aumento de longitud de rama de bajada desde acceso sur y a continuación de la misma adición de carril sobre Rodríguez Peña. Apertura de Calle Las Margaritas, semaforización en Calle Venezuela y carriles de giro en Calle Independencia es la que presenta mejor respuesta al diseño actual con datos al 2017.

Esto es consistente con lo postulado por (CEPAL;GTZ, 2003), acciones tales como el mejoramiento del diseño de intersecciones, una apropiada demarcación de las vías, una señalización racionalizada, y la corrección del ciclo de los semáforos, pueden traer importantes alivios para la congestión y tienen en general un bajo costo, siendo el conocimiento de la ingeniería de tránsito el principal requisito.

El análisis realizado y las conclusiones alcanzadas permiten cumplir con el objetivo general de este trabajo enunciado como “Evaluar la diferencia en el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales bajo estudio, generada por el diseño vial basado en paradigmas actuales o tradicionales y el diseño vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial”.

De igual forma, el análisis realizado y las conclusiones alcanzadas permiten cumplir con los objetivos específicos:

1. Evaluar el nivel de demanda de transporte alcanzado en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña.
2. Evaluar la capacidad vial de la calle / camino / intersección en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña
3. Determinar el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña

Para evaluar el grado de robustez de las propuestas de diseño vial desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial frente al diseño actual basado en paradigmas actuales o tradicionales se proyectan los datos del 2017 al año 2037 y se realiza el análisis comparativo de los resultados correspondientes.

El diseño de la red vial bajo estudio genera un nivel de congestión del tráfico, proyectado al año 2037, que se mide, en cada uno de los 9 contadores identificados; a través de la Longitud de cola [m]; la Longitud de cola máxima [m] y la velocidad [km/h]. La Tabla 27 y las Figura 84 y Figura 85 muestran dichos valores para el año 2037.

Tabla 27. Indicadores de congestión proyectados al año 2037 para el diseño actual para cada contador

Número	Designación	Longitud de Cola Promedio - Diseño Actual proyectada a 2037 [m]	Longitud de Cola Máxima - Diseño Actual proyectada a 2037 [m]	Velocidad - Diseño Actual proyectada a 2037 [km/h]
1	Rodriguez Peña Este	380.17	487.20	18.00
2	Rama Bajada SO	445.51	510.17	19.00
3	Rodriguez Peña Oeste	38.15	57.95	19.00
4	Lateral RN40 SE	184.01	206.63	18.00
5	Calle Diamante Sur	198.12	211.81	19.00
6	Independencia Sur	306.47	336.49	19.00
7	Independencia Norte	120.93	256.02	19.00
8	Venezuela Sur	0.00	0.00	18.00
9	Venezuela Norte	0.21	49.16	18.00

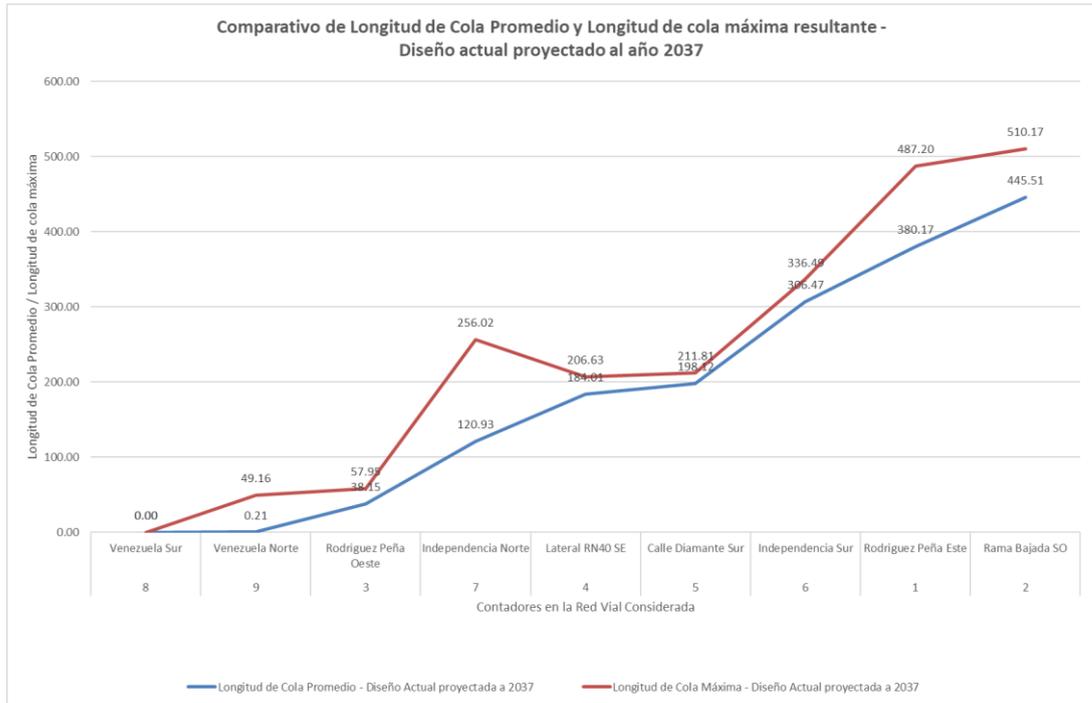


Figura 84. Comparativo de Longitud de Cola Promedio y Longitud de cola máxima resultante -Diseño actual proyectado al año 2037.
Fuente: Elaboración Propia.

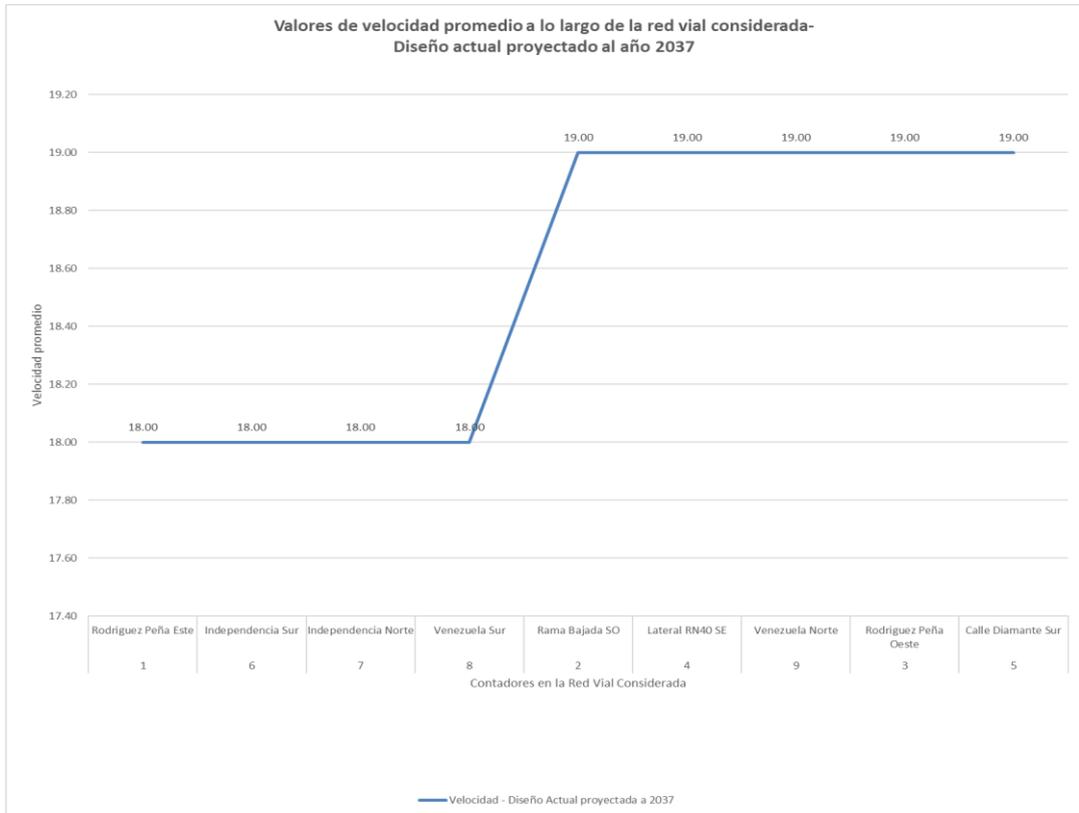


Figura 85. Valores de velocidad promedio a lo largo de la red vial considerada- Diseño actual proyectado al año 2037.
Fuente: Elaboración Propia

El impacto esperado del actual diseño para la demanda de tráfico proyectada para el año 2037 será negativo ya que la simulación de dicho evento muestra que la longitud de cola se incrementará en promedio en 145,59 m; la longitud máxima de cola se incrementará en 92.54 m y la velocidad promedio caerá de 30.11 km/h a 18.56 km/h como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Comparativo Actual 2017_2037

Numero	Designación	Actual 2017			Actual proyectada a 2037			Actual 2017			Actual proyectada a 2037		
		Long. Cola Promedio	Long. Cola Promedio	Cambio	Long. Cola Máx.	Long. Cola Máx.	Cambio	Velocidad	Velocidad	Cambio	Velocidad	Velocidad	Cambio
1	Rodríguez Peña Este	0.53	380.17	379.63	53.28	487.20	433.92	32.00	18.00	-14.00			
2	Rama Bajada SO	208.05	445.51	237.45	510.05	510.17	0.12	31.00	19.00	-12.00			
3	Rodríguez Peña Oeste	3.42	38.15	34.72	55.54	57.95	2.41	29.00	19.00	-10.00			
4	Lateral RN40 SE	11.35	184.01	172.67	206.60	206.63	0.03	31.00	18.00	-13.00			
5	Calle Diamante Sur	78.83	198.12	119.29	212.76	211.81	-0.95	29.00	19.00	-10.00			
6	Independencia Sur	46.22	306.47	260.25	123.38	336.49	213.10	31.00	19.00	-12.00			
7	Independencia Norte	14.84	120.93	106.09	120.93	256.02	135.09	29.00	19.00	-10.00			
8	Venezuela Sur	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.00	18.00	-11.00			
9	Venezuela Norte	0.00	0.21	0.21	0.00	49.16	49.16	30.00	18.00	-12.00			
CAMBIO PROMEDIO				145.59			92.54			-11.56			

Se consideraron las mismas tres alternativas al diseño actual proyectado al año 2037 y el análisis comparativo.

El análisis comparativo de la longitud de cola [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual proyectada al año 2037 muestra que existe una diferencia en el valor promedio resultante y que la Propuesta de Diseño 3 arroja la mayor disminución promedio de longitud de cola con un valor de -155.97 m en la red vial considerada como se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29. Comparativo Longitud Cola Promedio año 2037

		Actual proyectada a 2037	Actual 2037 con Rotonda		Actual proyectada a 2037 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA 2017		Actual proyectada a 2037 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA +Carril Giro Independencia 2017		
Numero	Designación	Long. Cola Promedio	Long. Cola Promedio	Cambio	Long. Cola Promedio	Cambio	Long. Cola Promedio	Cambio	
1	Rodriguez Peña Este	380.17	293.75	-86.42	2.48	-377.69	1.41	-378.76	
2	Rama Bajada SO	445.51	4.13	-441.37	0.00	-445.51	0.00	-445.51	
3	Rodriguez Peña Oeste	38.15	126.88	88.73	8.87	-29.27	8.61	-29.54	
4	Lateral RN40 SE	184.01	217.28	33.27	136.47	-47.54	168.19	-15.82	
5	Calle Diamante Sur	198.12	0.00	-198.12	0.00	-198.12	0.00	-198.12	
6	Independencia Sur	306.47	206.44	-100.02	177.74	-128.72	9.12	-297.35	
7	Independencia Norte	120.93	154.79	33.86	29.06	-91.87	6.21	-114.72	
8	Venezuela Sur	0.00	25.12	25.12	37.23	37.23	37.11	37.11	
9	Venezuela Norte	0.21	43.45	43.24	42.10	41.89	39.14	38.93	
CAMBIO PROMEDIO				-66.86		-137.73		-155.97	

El análisis comparativo de la longitud de cola máxima [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual proyectada al año 2037 muestra que existe una diferencia en el valor promedio resultante y que la Propuesta de Diseño 3 arroja la mayor disminución promedio de longitud de cola máxima con un valor de -145.65 m en la red vial considerada como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30. Comparativo Longitud Cola Máxima año 2037

Numero	Designación	Actual proyectada a 2037	Actual 2037 con Rotonda	Cambio	Actual proyectada a 2037 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA 2017	Cambio	Actual proyectada a 2037 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA +Carril Giro Independencia 2017	Cambio
		Long. Cola Máx.	Long. Cola Máx.		Long. Cola Máx.		Long. Cola Máx.	
1	Rodriguez Peña Este	487.20	332.51	-154.69	95.56	-391.64	48.55	-438.65
2	Rama Bajada SO	510.17	146.03	-364.14	0.00	-510.17	0.00	-510.17
3	Rodriguez Peña Oeste	57.95	248.07	190.13	64.76	6.81	56.33	-1.62
4	Lateral RN40 SE	206.63	504.45	297.82	213.07	6.44	212.25	5.62
5	Calle Diamante Sur	211.81	0.00	-211.81	0.00	-211.81	0.00	-211.81
6	Independencia Sur	336.49	228.72	-107.77	210.80	-125.68	118.42	-218.07
7	Independencia Norte	256.02	171.05	-84.97	140.32	-115.69	84.49	-171.53
8	Venezuela Sur	0.00	172.46	172.46	152.64	152.64	138.56	138.56
9	Venezuela Norte	49.16	72.00	22.84	168.01	118.86	145.95	96.79
CAMBIO PROMEDIO				-26.68		-118.92		-145.65

Finalmente, el análisis comparativo de la velocidad promedio [m] para las tres propuestas de diseño alternativas a la situación actual proyectada al 2037 muestra que existe una diferencia en el valor promedio resultante y que la Propuesta de Diseño 3 arroja el mayor incremento promedio de la velocidad con un valor de incremento de 13.78 km/h en la red vial considerada como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Comparativo Velocidad Promedio año 2037

Numero	Designación	Actual proyectada a 2037	Actual 2037 con Rotonda	Cambio	Actual proyectada a 2037 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA 2017	Cambio	Actual proyectada a 2037 con SEP. RÍGIDO+AU MENTO LONG. RAMA NE R.N N°40+3º CARRIL R.P.N°4+SE MAF. CALLE VENEZUELA +Carril Giro Independencia 2017	Cambio
1	Rodriguez Peña Este	18.00	23.00	5.00	31.00	13.00	32.00	14.00
2	Rama Bajada SO	19.00	21.00	2.00	31.00	12.00	32.00	13.00
3	Rodriguez Peña Oeste	19.00	23.00	4.00	30.00	11.00	33.00	14.00
4	Lateral RN40 SE	18.00	21.00	3.00	31.00	13.00	32.00	14.00
5	Calle Diamante Sur	19.00	21.00	2.00	30.00	11.00	32.00	13.00
6	Independencia Sur	19.00	23.00	4.00	31.00	12.00	33.00	14.00
7	Independencia Norte	19.00	23.00	4.00	30.00	11.00	32.00	13.00
8	Venezuela Sur	18.00	23.00	5.00	30.00	12.00	32.00	14.00
9	Venezuela Norte	18.00	22.00	4.00	30.00	12.00	33.00	15.00
CAMBIO PROMEDIO				3.67		11.89		13.78

La Figura 86 y la Figura 87 muestran los valores de cola máximas y las velocidades promedio resultantes del diseño tradicional actual al año 2037 y los valores resultantes de las tres propuestas de diseño vial integral para la red vial considerada.

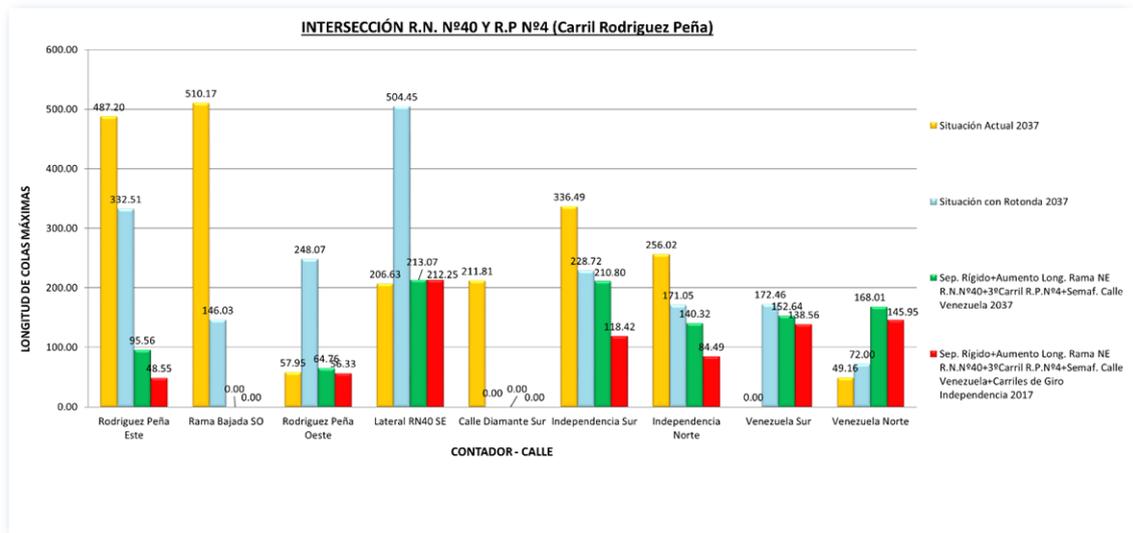


Figura 86. Longitudes de colas máximas. Situación 2037.
Fuente: Elaboración Propia

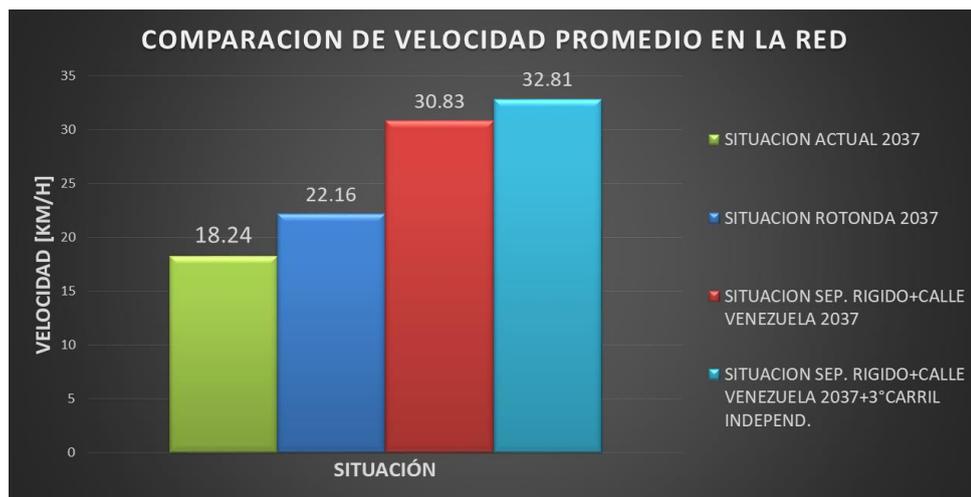


Figura 87. Comparación de velocidades medias de marcha en la Red. Situación Año 2037.
Fuente: Elaboración Propia

Como tercera conclusión, el análisis de los resultados proyectados al año 2037 muestra que el nivel de congestión de tránsito en la red de intersecciones resultante de un diseño vial integral sigue presentando diferencia respecto del nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional por lo que se sigue rechazando la hipótesis nula H_0 y se halla evidencia que soporta la hipótesis alternativa o de investigación H_i .

Hi: El nivel de congestión de tránsito en la intersección se ubicará sistemáticamente en un valor menor para al menos una de las propuestas de diseño vial integral al comparar su valor con el nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional.

Esto es consistente con lo analizado para el resultado hallado para el año 2017.

Como cuarta conclusión, el análisis del nivel de congestión muestra que la Propuesta de Diseño 3: *Colocación de separador rígido sobre Calle Rodríguez Peña, aumento de longitud de rama de bajada desde acceso sur, a continuación de la misma adición de carril sobre Rodríguez Peña. Apertura de Calle Las Margaritas y semaforización en Calle Venezuela y adiciones de carriles de giro en Calle Independencia*, es la que presenta mejor respuesta al diseño actual con datos proyectados al año 2037. Esto es consistente con lo hallado para el año 2017.

El análisis realizado y las conclusiones alcanzadas para el año 2017 y para el año 2037 permiten cumplir con el objetivo general de este trabajo enunciado como “Evaluar la diferencia en el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales bajo estudio, generada por el diseño vial basado en paradigmas actuales o tradicionales y el diseño vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial”.

De igual forma, el análisis realizado y las conclusiones alcanzadas permiten cumplir con el objetivo general de este trabajo enunciado como “Evaluar la diferencia en el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales bajo estudio, generada por el diseño vial basado en paradigmas actuales o tradicionales y el diseño vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial”.

De las alternativas planteadas para la resolución de la Red de Intersecciones en cuestión, la alternativa que contempla la incorporación de un elemento rígido sobre Rodríguez Peña en la intersección con Calle Diamante, el aumento de longitud (desarrollo) de la Rama de bajada desde el Sur al Oeste desde RN N°40 (Acceso Sur) y la incorporación de un tercer carril en dirección Este – Oeste a continuación de la Rama de bajada desde Acceso Sur sobre Rodríguez Peña, parecería la solución más adecuada para la misma, adicionando para una mejora de la intersección e intersecciones siguientes, la apertura de Calle Venezuela y adición de carriles de giro en Calle Independencia.

Esta Alternativa sería conveniente desde el punto de vista económico, ya que se continúa con la génesis de la tipología de intercambiador, considerando algunas modificaciones e intervenciones a la situación actual de la Red de Intersecciones. Tampoco se requieren grandes intervenciones al tránsito que circula diariamente por la zona.

De acuerdo a la Alternativa superadora, a continuación, se detallan los aspectos finales de cada intervención que se realizaría en la Red de Intersecciones:

5.1.1 ASPECTOS REFERIDOS AL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

5.1.1.1 RULO DE BAJADA ACCESO SUR

Para la solución propuesta de incrementar la longitud de este rulo, se utilizarán curvas compuestas, de radios 50m – 40m – 110m – 100m – 110m – 40m. Este desarrollo permitirá aumentar el carril de aceleración y entrecruzamiento una vez incorporado a Carril Rodríguez Peña.

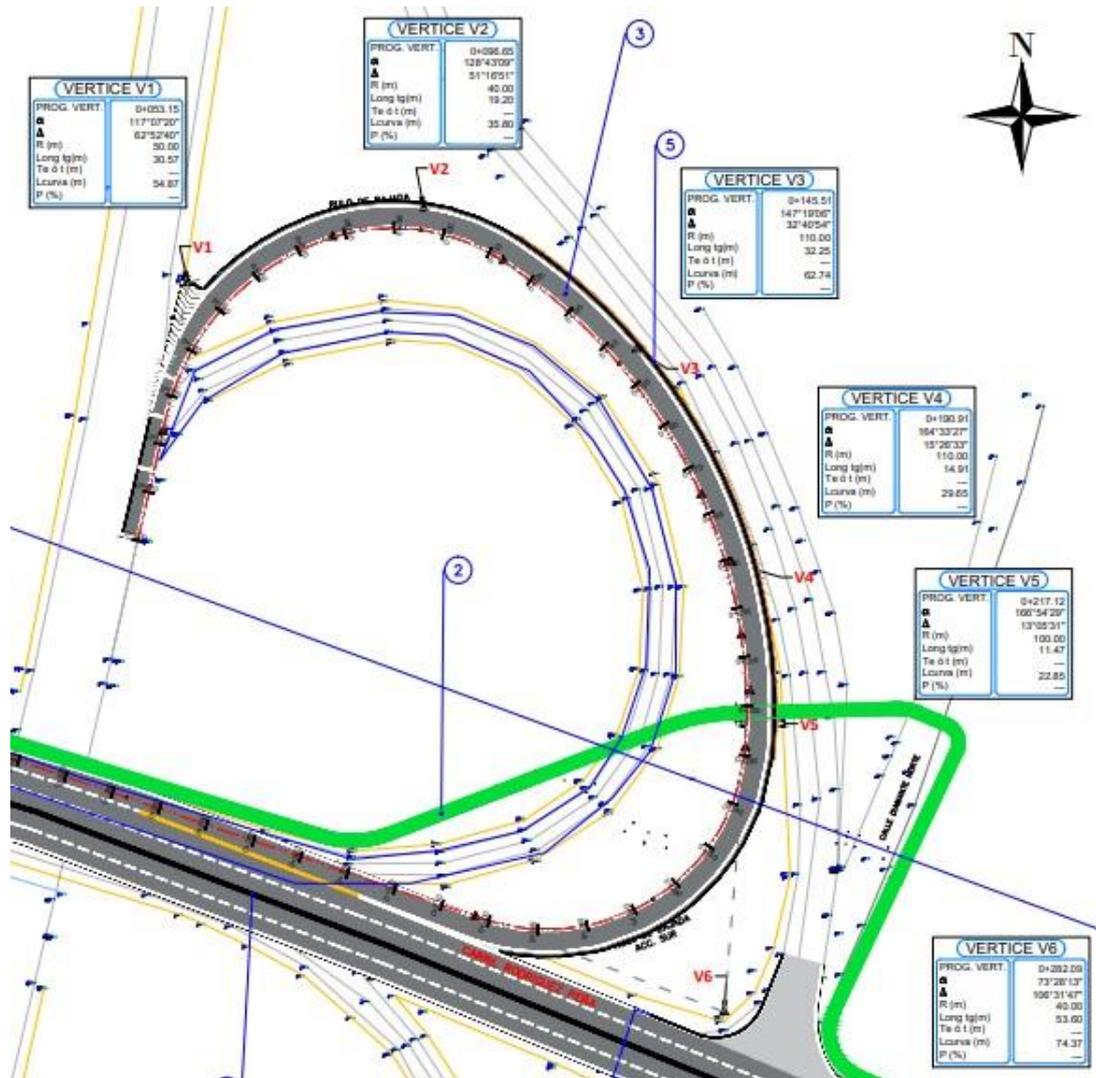


Figura 88. Planimetría de Rulo de Bajada Acceso Sur.

Fuente: elaboración propia utilizando Software AutoCAD Civil3d

También se realizó la propuesta y análisis en altimetría, en donde la pendiente de bajada es de 1,76% y al final del trazado se propone una curva longitudinal de 100m.

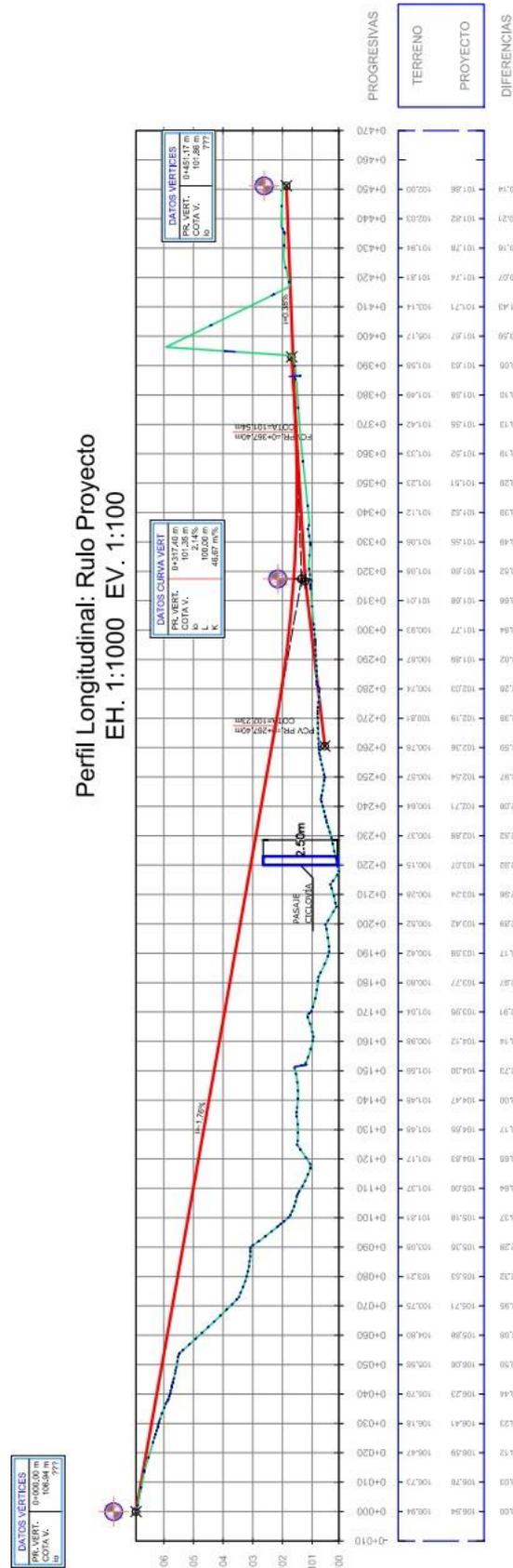


Figura 89. Altimetría Rulo de Bajada.
Fuente: elaboración propia utilizando Software AutoCAD Civil3d

Para poder llevar a cabo este desarrollo alimétrico es necesario construir un muro de contención de hormigón armado para no invadir la Lateral de Acceso Sur lado Este. Este muro tiene una longitud total de 120m y de altura variable. Las alturas de muros son de 6m, 4m y 3m con longitudes de 70m, 30m y 20m respectivamente. A continuación, se muestran algunos de los perfiles transversales de la obra lineal correspondiente al Rulo de Bajada, en los cuales puede observarse el terreno natural (color marrón), y la estructura propuesta con el muro de contención.

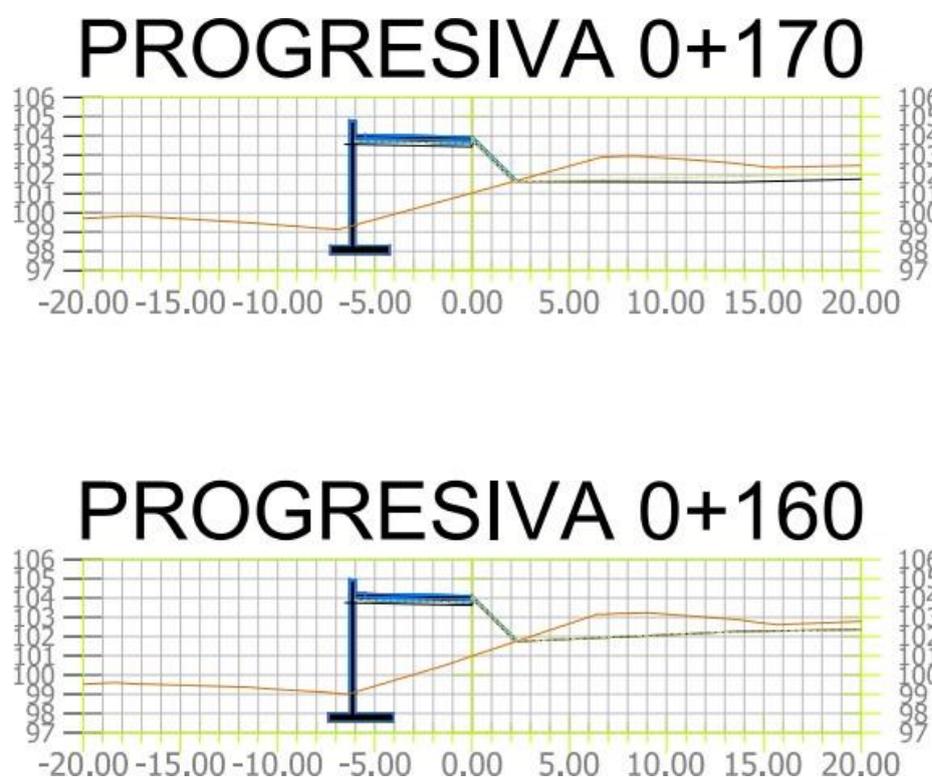


Figura 90. Perfiles transversales de Rulo de Bajada. Fuente: elaboración propia utilizando Software AutoCAD Civil3d

Esta propuesta de alimetría sugiere la posibilidad de cruce de una ciclovía, que se comentará en las siguientes páginas.

5.1.1.2 COLOCACIÓN DE DEFENSA RÍGIDA TIPO NEW JERSEY EN RODRIGUEZ PEÑA

Esta barrera rígida permitirá separar los vehículos en Rodríguez Peña para mejorar la seguridad vial y también eliminar movimientos transversales principalmente en Calle Diamante y Lateral Acceso Sur, como resultado de mejoras en la fluidez de tránsito y congestión anteriormente mencionados. Se opta por este tipo de mediana dado que ya existe actualmente en Rodríguez Peña en tramo anterior a Acceso Sur y para no reducir los anchos de calzada existentes. Se continuará el New Jersey existente desde el Lado Oeste de Acceso Sur. Se dará inicio desde el New Jersey existente hasta la mediana existente en Calle Independencia.

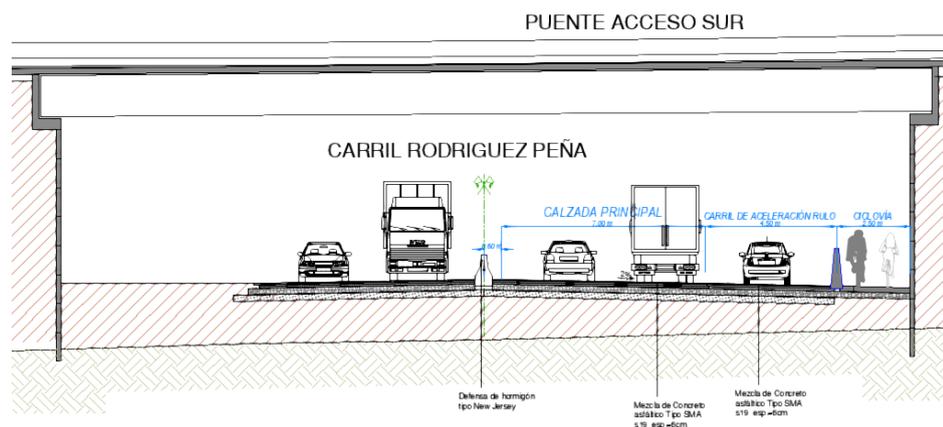


Figura 91. Perfil Tipo Carril Rodríguez Peña con defensa rígida central y protección ciclovía.
Fuente: Elaboración Propia, utilizando software AutoCAD Civil 3d.

Como necesidades complementarias, se plantean una serie de propuestas que hacen a las mejoras de la red.

5.1.1.3 CICLOVÍA

Actualmente en la Red en estudio, resulta muy peligroso circular utilizando otros medios de transporte como es una bicicleta. Es por eso que se propone la implementación de una ciclovía.

En Carril Rodríguez Peña funciona, entre otros puntos de atracción, la denominada

“Zona Industrial de Godoy Cruz”, lo cual genera la necesidad de contar el mismo con una cicloví. Actualmente la misma está planteada en forma conjunta con las veredas peatonales a lo largo del Carril Rodríguez Peña por cuestiones de Seguridad. Esta pierde continuidad en la zona de Intersección con Acceso Sur.



Figura 92. Ciclovia planteada en Red de Estudio.
Fuente: Elaboración propia, utilizando software AutoCAD Civil 3d

La ciclovia propuesta tendrá un ancho mínimo de 2,5m, y la misma es de Hormigón y colocada sobre una base granular compactada de 15cm de espesor. Se colocará una barrera rígida que separe la ciclovia del carril de Rodriguez Peña, con una altura no menor de 1m, para garantizar la protección del ciclista.

La ciclovia pasará a través del Rulo, la intersección será a desnivel con una alcantarilla de cruce. Se verificó en altimetría la altura de la alcantarilla.



Figura 93. Alcantarilla de Cruce en altimetría de Rulo. Fuente: Elaboración Propia, utilizando Software AutoCAD Civil 3d

Debajo del Puente de Acceso Sur, una vez que se atraviesa el Rulo de Bajada, la ciclovía se proyecta a continuación del muro del estribo del Puente. También se colocará una barrera rígida a continuación del carril de aceleración del rulo de bajada, como se comentó anteriormente.



*Figura 94. Ubicación de ciclovía debajo de Puente de Acceso Sur.
Fuente: Elaboración propia*

5.1.2 MEJORAS EN ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EXISTENTE

Actualmente la red presenta deterioros producto de falta de mantenimiento en largos periodos de tiempo.



*Figura 95. Deterioros en Carril Rodríguez Peña.
Fuente: Elaboración Propia*

Para certificar que las fallas y deterioros eran sólo superficiales, se realizó un estudio de suelo y luego se verificó que la estructura fuera suficiente para las condiciones y exigencias de tránsito actuales.

5.1.2.1 ESTUDIO DE SUELO

El estudio de suelo determinó que las capas existentes están compuestas por 6cm de Carpeta asfáltica, 7cm de Base Negra, 50cm de Base Granular Estabilizada y 60cm de Suelo Natural.

RESUMEN DE ESTUDIO DE SUELO

Prog. m.	Cota cm.	N° de Muestra	Granulometría							Límites de Atterberg			Clasificación		Sales %	PROCTOR		CBR		Observaciones		
			1" 1/2	1"	3/4"	3/8"	n°4	n°10	n°40	n°200	LL (%)	LP (%)	IP (%)	HRB.		I.G.	Hum.	Dens.	Seco		Emb.	Hinch.
900	(0-6)	9838	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Carpeta	
900	(6-13)	9839	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Base Negra	
900	(13-63)	9840	93,59	84,76	79,08	65,18	52,21	42,12	25,93	13,92	20,00	16,50	3,5	A-1-a	0	0,02	---	---	92,18	83,29	0,0	Base Estabilizada
900	(63-123)	9841	---	---	---	---	100,00	98,11	90,15	64,02	25,00	18,00	7,0	A-4	6	0,27	12,5	1,884	26,32	20,18	0	Suelo Fino Nat.
900	(A partir 123)	9842	---	---	---	---	34,88	29,68	22,63	11,87	17,00	17,00	0,0	A-1-a	0	---	---	---	---	---	---	Suelo Natural Granular
2850	(0-8)	9843	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	Carpeta
2850	(8-23)	9844	97,11	92,4	86,81	74,13	59,95	48,36	31,37	15,19	20,00	17,00	3,0	A-1-b	0	0,015	---	---	89,64	80,75	0,0	Base Estabilizada
2850	(23-73)	9845	---	---	---	---	54,00	49,05	36,02	19,03	17,00	17,00	0,0	A-1-b	0	---	3,5	1,680	40,74	38,84	0,0	Suelo Natural Granular
2850	(73-140)	9846	---	---	---	---	100,00	100,00	93,29	28,62	17,00	17,00	0,0	A-2-4	0	---	---	---	---	---	---	Suelo Natural (***)

Figura 96. Resumen de Estudio de Suelo.

Fuente: Laboratorio Vial perteneciente a Dirección Provincial de Vialidad Mendoza

El valor de CBR o Valor Soporte (Embebido o en condiciones de saturación) de la capa utilizada para fundar la estructura es del 20,2% y se trata de un suelo tipo A-4, según clasificación HRB.

Con estos datos y con las condiciones de tránsito actuales se realizó nuevamente el cálculo de la estructura en Carril Rodríguez Peña, considerando una tasa de crecimiento interanual del 3% y una vida útil de 20 años. La Metodología utilizada es la propuesta por ASSHTO 93', utilizando como herramienta para el cálculo el software PAS5.

En el APENDICE 14: CÁLCULO ESTRUCTURAL DE TRAMO DE RED VIAL EN ESTUDIO se detalla el cálculo estructural realizado.

De acuerdo a los espesores de capas de la estructura existente, obtenida en estudios de suelos, los mismos serían suficientes de acuerdo al cálculo de nuevos espesores de la estructura calculada. A partir de esto es que se propone realizar en las capas superiores de la estructura de pavimento existente.

En la zona de la red de estudio se propone un fresado de 6cm (en Carpeta Asfáltica

de pavimento existente), nueva carpeta asfáltica de espesor 6cm de SMA 19 (Stone Mastic asphalt) con tamaño máximo de agregado de 19mm. La mezcla de SMA es una mezcla de muy altas prestaciones, para zonas de distribuidores con giros (con existencia de posibilidad de vuelco de combustible) y tránsitos pesado.

Para el nuevo Carril de entrecruzamiento y el Rulo de bajada de Acceso Sur, se propone la estructura de pavimento calculada, 6cm de SMA 19, base negra de 6cm, y Base y Sub Base granular de 20cm cada una. Al margen de que el TMDA para el Rulo de Bajada difiere del de R.P. N°4, se considera que las velocidades de circulación son reducidas sobre el mismo y las exigencias pueden ser similares a las de R.P. N°4.

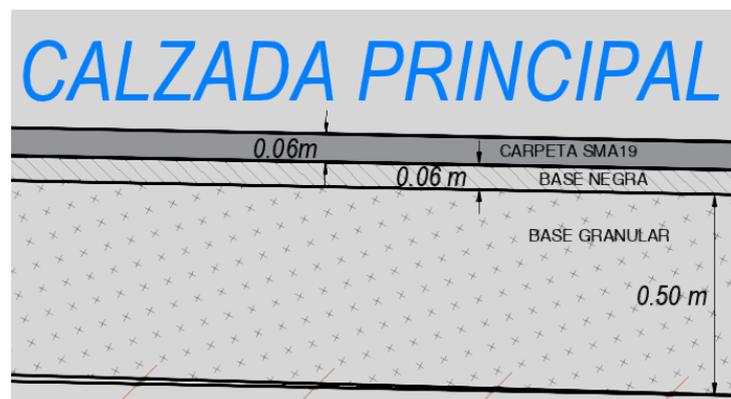
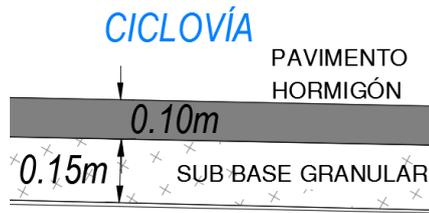


Figura 97. Perfil Estructural Carril Rodriguez Peña
Fuente: Elaboración Propia



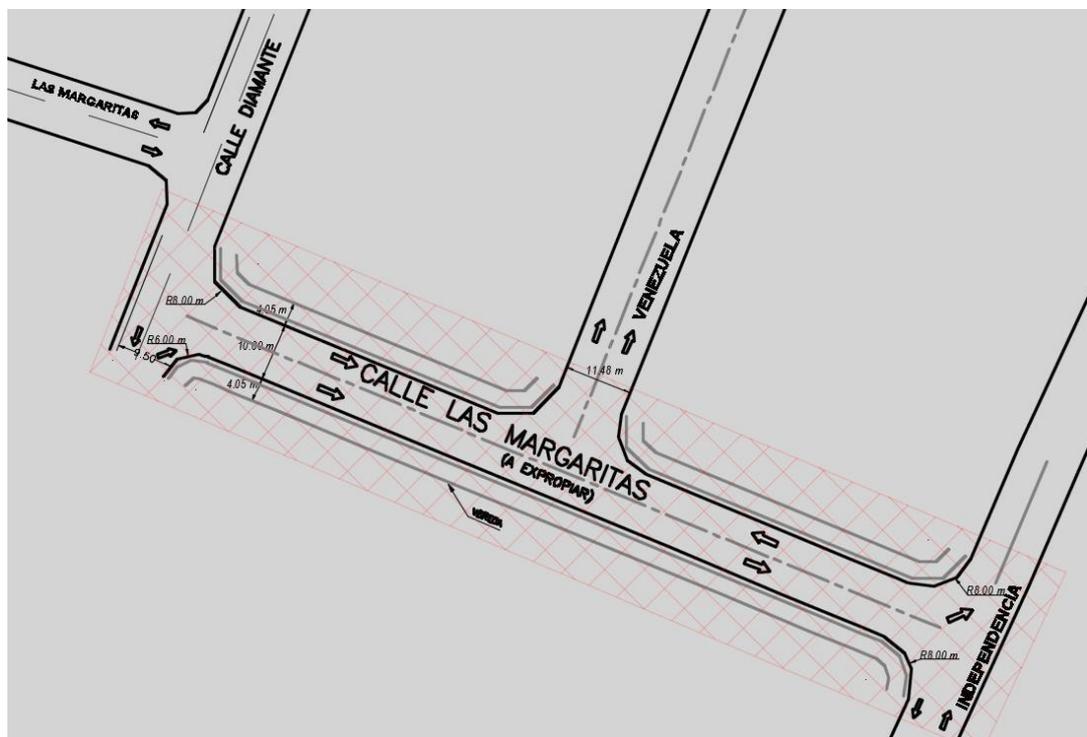
Figura 98. Perfil Estructural Carril de Aceleración Rulo sobre Rodriguez Peña y Rulo de Bajada Acceso Sur.
Fuente: Elaboración Propia



*Figura 99. Perfil Estructural Ciclovía.
Fuente: Elaboración Propia*

5.1.3 APERTURA DE CALLE LAS MARGARITAS

Como propuesta resultante de los análisis de simulaciones, como se comentó anteriormente, será necesaria la ejecución de una expropiación, dando lugar a la continuidad de Calle Las Margaritas. Es por eso que, para poder llevarla a cabo, fue necesario plantear un perfil tipo de calzada y verificar luego radios de giro con Calles Diamante, Venezuela e Independencia.



*Figura 100. Expropiación y continuidad Calle Las Margaritas.
Fuente: Elaboración Propia utilizando software AutoCAD.*

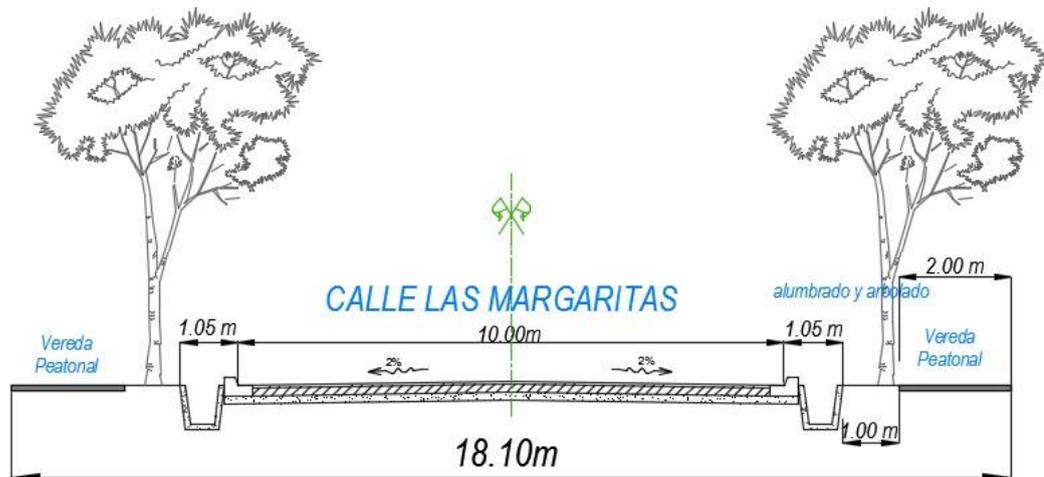


Figura 101. Perfil Tipo Propuesto Calle Las Margaritas.
Fuente: Elaboración Propia utilizando software AutoCAD

Para verificar los radios de giro se utiliza nuevamente el vehículo tipo WB-19, utilizado para el proyecto de Rotonda sobre R.P. N°4. Para las intersecciones que forman parte de la continuidad de Calle Las Margaritas desde Lateral Este de Acceso Sur hasta Calle Independencia, se utilizaron radios de 8m para permitir el giro de camiones de grandes dimensiones. Esto implica indefectiblemente modificar las ochavas existentes, en radios mayores, dado que los espacios existentes disponibles en las veredas peatonales pueden reducirse mas.



Figura 102. Intersección Calle Las Margaritas y Calle Diamante.
Fuente: GoogleEarth

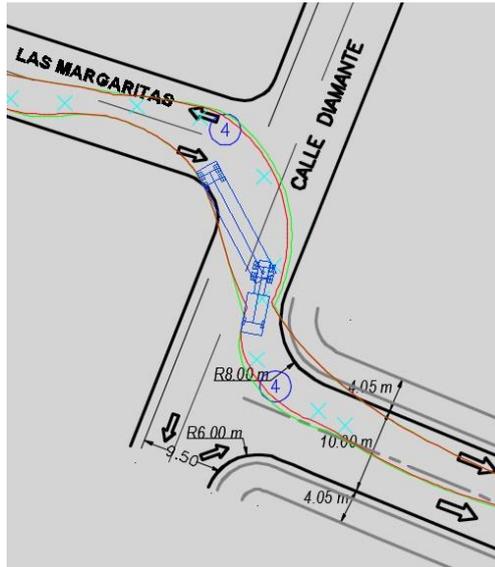


Figura 103. Verificación de radio de giro en Calle Diamante.
 Fuente: Elaboración Propia utilizando software Vehicle Trackin de Autodesk

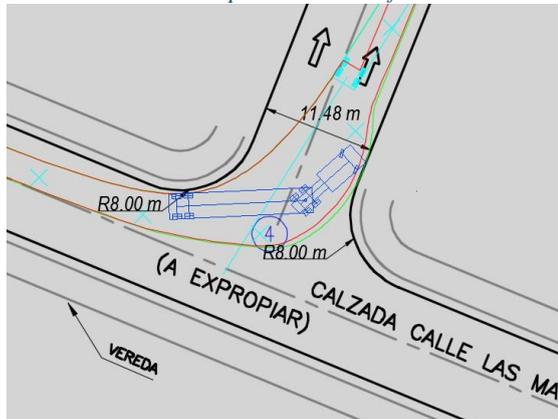


Figura 104. Verificación de radio de giro en Calle Venezuela.
 Fuente: Elaboración Propia utilizando software Vehicle Trackin de Autodesk

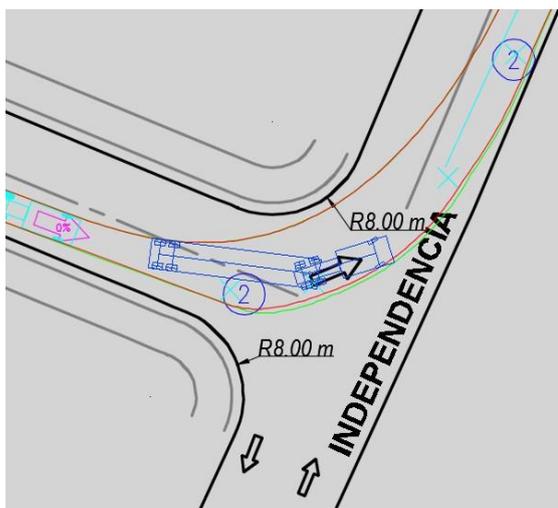


Figura 105. Verificación de radio de giro en Calle Independencia.
 Fuente: Elaboración Propia utilizando software Vehicle Trackin de Autodesk

Para garantizar el giro de este tipo de vehículos también se propone la eliminación de estacionamientos en ambos lados y en toda la longitud de Calle Las Margaritas.

Con respecto a la estructura de pavimento de Calle Las Margaritas, ya sea en el sector existente como en la nueva traza producto de la expropiación a realizar, se propone reforzar o modificar la estructura existente y realizar un nuevo diseño estructural para el nuevo sector. Estas mejoras y nuevo diseño estructural surgirán de estudios de suelos a realizar en el sector.

5.1.4 PROPUESTAS PARA CRUCES PEATONALES Y CICLISTAS

Mejora de situación Actual

Se propone modificar estas zonas de espera para cruce de peatones y acompañar a éstas con una correcta demarcación horizontal.



*Figura 106. Propuesta de Mejoras de isletas peatonales.
Fuente: Elaboración Propia utilizando Software AutoCAD*

Semáforos Peatonales

Con respecto a cruces en intersecciones semaforizadas, se podría proteger al peatón con fases semafóricas que tengan en cuenta la prioridad para el mismo, como así también señalización lumínica sobre veredas.



*Figura 107. Semáforo con protección al peatón.
Fuente: imágenes obtenidas de Internet.*

Se satisface esta condición para intersecciones urbanas, si durante cada una de las ocho horas de un día representativo en la calle principal se verifica los siguientes volúmenes de tránsito:

- Si entran 600 o más vehículos por hora en la intersección o si 1000 o más vehículos por hora entran a la intersección en la calle principal, cuando existe una faja separadora con ancho mínimo de 1.20 metros.
- Si durante las mismas ocho horas mencionadas cruzan 50 o más peatones por hora en el cruce de mayor volumen correspondiente a la calle principal.

Si bien es una posible mejora, no sería aplicable en la Red desde el punto de vista de la Capacidad Vial, ya que esto produciría una notable reducción de la misma, al otorgarle fases exclusivas para cruce peatonal.

Barreras Físicas

También podrían colocarse elementos o barreras físicas que obliguen a “encauzar” al peatón a que realice el cruce en sectores preparados para tal fin. Estas serán necesarias y complementarias en el caso de que se implemente una pasarela peatonal.



*Figura 108. Barrera para encauce peatonal.
Fuente: Imagen obtenida de Internet*

CICLISTAS

Se contabilizaron 10 ciclistas en la hora en los mismos periodos de tiempo en los que se realizaron los censos peatonales, tal como se comentó anteriormente en el punto “Estudio de circulación de peatones y ciclistas”.

De esta manera no sería necesario efectuar ninguna obra adicional y para el cruce en intersecciones y transversales se podrían utilizar las mismas que para los peatones. Al margen de la poca circulación de ciclistas en la zona, se plantean cruces para salvaguardar la seguridad de los mismos.

5.1.5 PASARELA PARA CRUCE DE PEATONES Y CICLISTAS

A partir de los estudios realizados de Censos de peatones y ciclistas y análisis de la situación actual y futura, no sería necesario realizar más intervenciones que las propuestas anteriormente mencionadas, de todas formas y para mejorar la Seguridad Vial se propone la implementación de una pasarela sobre Rodríguez Peña intersección Calle Independencia, siendo esta ubicación la más conveniente ya que se observa que es donde existe el mayor flujo peatonal en la zona, como así también no existen interferencias de servicios.

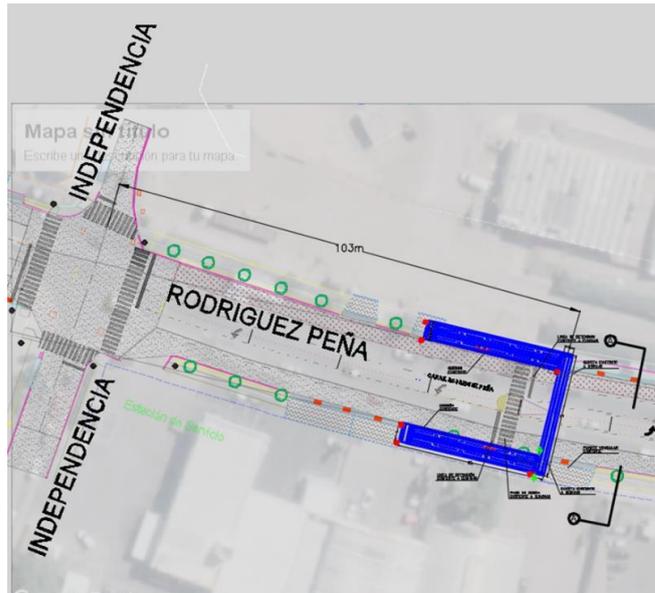


Figura 109. Ubicación de Pasarela.

Fuente: Elaboración Propia.

La pasarela contiene rampas con una pendiente de 9% para que sea funcional ya sea para peatones como ciclistas.

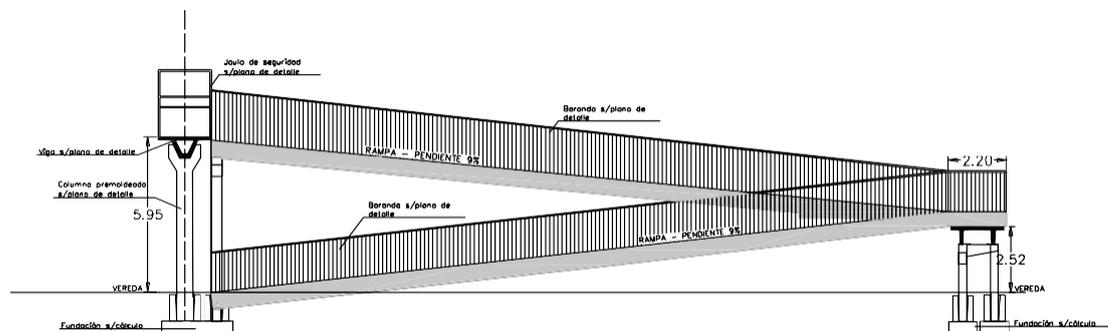


Figura 110. Vista Lateral de Pasarela.

Fuente: Elaboración Propia utilizando Software AutoCAD

Está compuesta principalmente con elementos prefabricados de hormigón Armado y con estructura metálica en sectores de barandas y jaula de seguridad.

VISTA LATERAL

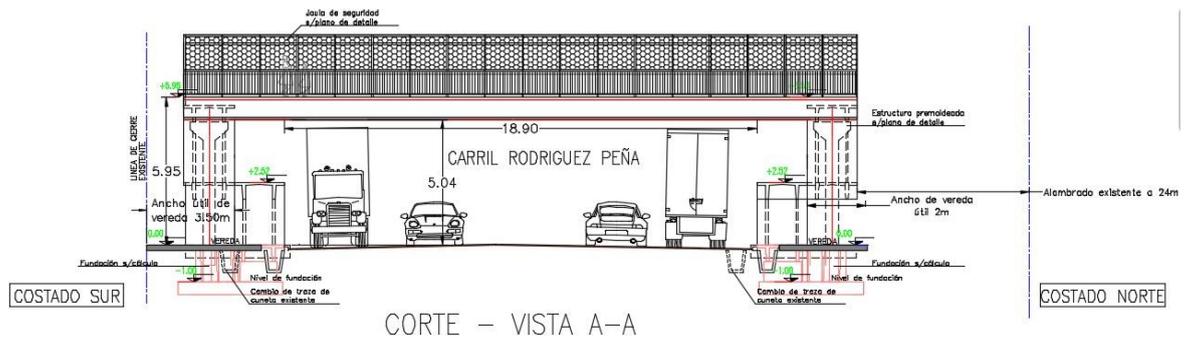


Figura 111. Corte y Vista de Pasarela.
Fuente: Elaboración Propia

5.1.6 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE DRENAJE

De acuerdo a las condiciones actuales de drenaje, a partir de la propuesta de mejora, se considera que no sería necesario modificar o mejorar la situación de drenaje existente, solo respetar las pendientes tanto transversales como longitudinales en el nuevo carril y ciclovía aprovechando la construcción de nuevo pavimento, para garantizar la correcta evacuación de agua. Se destaca también que debajo de Puente de acceso Sur, la posibilidad de existencia de abundante agua proveniente de lluvias, es aún menor.

5.1.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Para poder llevar a cabo la solución adoptada, se realizó un estudio económico para verificar la rentabilidad económica de la solución. En este análisis se utiliza como parámetro de comparación y decisión, el Costo Operativo Vehicular. Se utilizó la Metodología y el Software HDM-VOC. En el APENDICE 13: HDM-VOC se detallan los cálculos realizados y características de la herramientas de análisis económico de la Red Vial en Estudio. El análisis resulta positivo desde el punto de vista económico del usuario.

5.2 CONCLUSIONES FINALES

Para recapitular, este estudio presenta las siguientes conclusiones:

Como primera conclusión, el análisis de los resultados hallados muestra que el nivel de congestión de tránsito en la Red de Intersecciones resultante de un diseño vial integral presenta diferencia respecto del nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 y se halla evidencia que soporta la hipótesis alternativa o de investigación H_1 .

H_1 : El nivel de congestión de tránsito en la intersección se ubicará sistemáticamente en un valor menor para al menos una de las propuestas de diseño vial integral al comparar su valor con el nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional.

Como segunda conclusión, el análisis del nivel de congestión muestra que la Propuesta de Diseño 3: *Colocación de separador rígido sobre Calle Rodríguez Peña, aumento de longitud de rama de bajada desde acceso sur, a continuación de la misma adición de carril sobre Rodríguez Peña. Apertura de Calle Las Margaritas y semaforización en Calle Venezuela y adiciones de carriles de giro en Calle Independencia* es la que presenta mejor respuesta al diseño actual con datos al 2017.

Como tercera conclusión, el análisis de los resultados proyectados al año 2037 muestra que el nivel de congestión de tránsito en la intersección resultante de un diseño vial integral sigue presentando diferencia respecto del nivel de congestión de tránsito resultante del diseño vial tradicional por lo que se sigue rechazando la hipótesis nula H_0 y se halla evidencia que soporta la hipótesis alternativa o de investigación H_1 .

Como cuarta conclusión, el análisis del nivel de congestión muestra que la Propuesta de Diseño 3: *Colocación de separador rígido sobre Calle Rodríguez Peña, aumento de longitud de rama de bajada desde acceso sur, a continuación de la misma adición de carril sobre Rodríguez Peña. Apertura de Calle Las Margaritas y semaforización*

en Calle Venezuela y adiciones de carriles de giro en Calle Independencia, es la que presenta mejor respuesta al diseño actual con datos proyectados al año 2037.

El análisis realizado y las conclusiones alcanzadas para el año 2017 y para el año 2037 permiten cumplir con el objetivo general de este trabajo enunciado como “Evaluar la diferencia en el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales bajo estudio, generada por el diseño vial basado en paradigmas actuales o tradicionales y el diseño vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial”.

De igual forma, el análisis realizado y las conclusiones alcanzadas permiten cumplir con el objetivo general de este trabajo enunciado como “Evaluar la diferencia en el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales bajo estudio, generada por el diseño vial basado en paradigmas actuales o tradicionales y el diseño vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de movilidad y seguridad vial”.

Como así también se cumplen con los objetivos específicos:

- 1) “Evaluar el nivel de demanda de transporte alcanzado en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña” en donde se determinó la cantidad de vehículos que circulan por la Red de Intersecciones analizadas.
- 2) “Evaluar la capacidad vial de la calle / camino / intersección en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña” a partir del análisis de la capacidad geométrica.
- 3) “Determinar el nivel de congestión del tránsito en la red de intersecciones viales ubicada en la zona Industrial del carril Rodríguez Peña” a partir del Nivel de servicio y las variables de medición de congestión definidas.

Como conclusiones generales puede enunciarse que:

- ✓ el Nivel de Congestión de Tránsito en la Red de Intersecciones resultante de un diseño Vial Integral es menor que el Nivel de Congestión de Tránsito en la Intersección resultante de un Diseño Vial tradicional.
- ✓ los niveles de congestión resultantes de acuerdo al Diseño Vial propuesto desde el enfoque de paradigmas de Movilidad y Seguridad Vial han alcanzado niveles aceptables frente al análisis de la Red de Intersecciones basado en Paradigmas tradicionales. Si bien los niveles de congestión no se han reducido a niveles óptimos, han mejorado de acuerdo a la demanda actual y la proyectada en los próximos 20 años, en lo que respecta a la importancia de la zona Industrial de Carril Rodríguez Peña.
- ✓ Las propuestas alternativas de diseño presentadas, para la red vial considerada, han sido evaluadas y analizadas desde el punto de vista del Diseño Geométrico, Diseño Estructural, Tránsito, Capacidad Vial, Nivel de servicio y Costo de Operación Vehicular.

Impacto esperado del presente trabajo

Dentro de las características destacables de esta propuesta de mejora, puede citarse que se han resuelto principalmente aspectos de Congestión Vial y Seguridad Vial, las cuales son de gran importancia en la Situación Actual.

El presente trabajo resuelve una problemática Vial identificada al año 2011 dentro de la Provincia de Mendoza, entre tres reparticiones (Municipal, Provincial y Nacional). La Metodología de análisis aplicada marca lineamientos o pautas para resolver futuras problemáticas viales similares.

Cabe destacar que las mejoras deberán desarrollarse en su totalidad y simultáneamente, para garantizar los resultados esperados, por lo que, entre otras, la expropiación a realizar, para permitir la continuidad de Calle Las Margaritas, es de vital importancia y condicionante para todos los trabajos y mejoras propuestas.

Finalmente, desde la perspectiva de la evolución actual de la gestión de la demanda de tráfico (Stanley et al., 2003) la presente propuesta de rediseño de la red vial considerada contempla a todos los usuarios de la Red de Intersecciones permitiendo una mejor convivencia al incluir múltiples diferentes modos de transporte; el movimiento eficiente y seguro de todos los usuarios; y proveer soluciones sensitivas al contexto (Litman, 2003).

APENDICE 1: NIVEL DE SERVICIO EN CALLES URBANAS Y CAPACIDAD EN ENTRECruzAMIENTOS

NIVELES DE SERVICIO EN CALLES URBANAS

CARACTERÍSTICAS DE FLUJO

La velocidad de los vehículos en las calles urbanas está influenciada por tres factores principales: el ambiente de la calle, la interacción entre los vehículos y el control del tránsito. Como resultado, estos factores también afectan la calidad del servicio.

El entorno de la calle incluye las características geométricas de la instalación, el carácter de la actividad en la carretera y los usos del suelo adyacentes. Por lo tanto, el entorno refleja el número y el ancho de los carriles, el tipo de mediana, la densidad de la entrada / punto de acceso, el espacio entre las intersecciones señalizadas, la existencia de estacionamiento, el nivel de actividad peatonal y el límite de velocidad.

La interacción entre los vehículos está determinada por la densidad del tráfico, la proporción de camiones y autobuses y los movimientos de giro. Esta interacción afecta la operación de vehículos en las intersecciones y, en menor medida, entre las señales (Transportation Research Board, 2000).

El control de tráfico (incluidas las señales y letreros) obliga a una parte de todos los vehículos a reducir la velocidad o detenerse. Las demoras y los cambios de velocidad causados por los dispositivos de control de tráfico reducen la velocidad del vehículo; sin embargo, tales controles son necesarios para establecer el derecho de paso.

VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE (FFS)

El entorno de la calle afecta la elección de velocidad del conductor. Cuando la interacción del vehículo y el control del tráfico no son factores, la velocidad elegida por el conductor promedio se denomina velocidad de flujo libre (FFS). FFS es la velocidad promedio del flujo de tráfico cuando los volúmenes de tráfico son lo

suficientemente bajos como para que los conductores no se vean influenciados por la presencia de otros vehículos y cuando el control de tráfico de intersección (es decir, señal o señal) no está presente o está lo suficientemente distante como para no tener efecto en la elección de velocidad. Como consecuencia, el FFS se observa típicamente a lo largo de las partes intermedias del segmento de la calle urbana.

NIVELES DE SERVICIO

La velocidad de desplazamiento promedio de los vehículos a lo largo de una calle urbana es el determinante del nivel de servicio operativo (LOS). La velocidad de desplazamiento a lo largo de un segmento, sección o longitud completa de una calle urbana depende de la velocidad de movimiento entre las intersecciones señalizadas y la cantidad de retraso de control incurrido en las intersecciones señalizadas (Transportation Research Board, 2000).

La calle urbana LOS se basa en la velocidad promedio de viaje a través del vehículo para el segmento, sección o toda la calle urbana en consideración. Las siguientes declaraciones generales caracterizan a LOS a lo largo de las calles urbanas.

LOS A describe principalmente operaciones de flujo libre a velocidades de viaje promedio, generalmente alrededor del 90 por ciento de la FFS para la clase de calle dada. Los vehículos no tienen obstáculos para maniobrar dentro del flujo de tráfico. El retraso de control en las intersecciones señalizadas es mínimo.

LOS B describe operaciones razonablemente sin obstáculos a velocidades de viaje promedio, generalmente alrededor del 70 por ciento del FFS para la clase de la calle. La capacidad de maniobra dentro del flujo de tráfico está solo ligeramente restringida, y los retrasos de control en las intersecciones señalizadas no son significativos.

LOS C describe operaciones estables; sin embargo, la capacidad de maniobrar y cambiar de carril en ubicaciones de cuadra media puede estar más restringida que en LOS B, y las colas más largas, la coordinación de señales adversas o ambas pueden contribuir a velocidades de viaje promedio más bajas de aproximadamente el 50 por ciento del FFS para la clase de calle.

LOS D limita con un rango en el que pequeños aumentos en el flujo pueden causar aumentos sustanciales en el retraso y disminuciones en la velocidad de desplazamiento. LOS D puede deberse a una progresión de señal adversa, un tiempo de señal inapropiado, volúmenes altos o una combinación de estos factores. Las velocidades de viaje promedio son aproximadamente el 40 por ciento de FFS.

LOS E se caracteriza por retrasos significativos y velocidades de viaje promedio del 33 por ciento o menos del FFS. Dichas operaciones son causadas por una combinación de progresión adversa, alta densidad de señal, altos volúmenes, formación de colas extensas en intersecciones críticas y temporización de señal inapropiada.

LOS F se caracteriza por el flujo de las calles urbanas a velocidades extremadamente bajas, típicamente de un tercio a un cuarto del FFS. La congestión de intersección es probable en lugares críticos señalizados, con grandes retrasos, grandes volúmenes y largas colas.

NIVEL DE SERVICIO EN INTERSECCIONES NO SEÑALIZADAS

Existe el análisis y procedimiento para determinación de la capacidad, el nivel de servicio, los requisitos del carril, efectos del tránsito y las características de diseño de dos vías en Intersecciones sin señalización. Dentro de éstas intersecciones existen las intersecciones con disco pare en dos vías (TWSC) y disco pare en todas las vías (AWSC), las cuales no son frecuentes en Argentina. Además, existe un procedimiento para estimar la capacidad de las rotondas. Cada tipo de intersección no señalizada (TWSC, AWSC y rotonda) se aborda en forma separada (Transportation Research Board, 2000).

NIVEL DE SERVICIO EN INTERSECCIONES SEÑALIZADAS

El análisis debe considerar una amplia variedad de condiciones predominantes, incluida la cantidad y distribución de los movimientos del tránsito, la composición del tránsito, las características geométricas y los detalles de la señalización de la intersección. La metodología se centra en la determinación de LOS para condiciones

conocidas o proyectadas (Transportation Research Board, 2000).

La demora del dispositivo del control promedio por vehículo se estima para cada grupo de carriles y se agrega para cada aproximación y para la intersección como un todo. LOS están directamente relacionados con el valor de retraso de control. Los criterios se enumeran en la siguiente tabla:

Tabla 32. Criterios de LOS en Intersecciones señalizadas

LOS	Control Delay per Vehicle (s/veh)
A	≤ 10
B	> 10–20
C	> 20–35
D	> 35–55
E	> 55–80
F	> 80

ANÁLISIS DE CAPACIDAD EN ENTRECruzAMIENTOS

Se utiliza un solo Nivel de Servicio para caracterizar el flujo total en el segmento de entrecruzamiento, aunque se reconoce que en algunas situaciones (particularmente en casos de operaciones restringidas) los vehículos sin entrecruzamiento pueden lograr operaciones de mayor calidad que los vehículos de entrecruzamiento (Transportation Research Board, 2000).

En general, los criterios para determinar los Niveles de Servicio, permiten densidades ligeramente más altas que en cualquier umbral de nivel de servicio dado que en un segmento de autopista básico comparable o segmento de autopista de varios carriles. Esto sigue la filosofía que los conductores esperan y aceptarán mayores densidades en los segmentos de entrecruzamiento que en los segmentos básicos de autopistas o autopistas de varios carriles. El límite de LOS E / F no sigue este enfoque. Más bien, refleja densidades que son algo menores que las identificadas para segmentos básicos de autopistas o autopistas de varios carriles. Debido a la turbulencia adicional en los segmentos de entrecruzamiento, se cree que la descomposición ocurre a densidades algo más bajas que en los segmentos básicos de autopistas y autopistas de varios carriles (Transportation Research Board, 2000).

PARÁMETROS DE SEGMENTOS DE ENTRECruzAMIENTO

Todas las condiciones existentes o proyectadas de la carretera y del tránsito deben especificarse al aplicar la metodología. Las condiciones de la carretera incluyen la longitud del segmento, el número de carriles, el tipo de configuración en estudio y el tipo de terreno o condiciones de pendiente. Si no se conoce la velocidad de flujo libre de la autopista (FFS), se deben especificar las características del segmento básico de autopista o autopista de varios carriles para permitir su determinación.

APENDICE 2: VOLUMEN, VELOCIDAD, DENSIDAD

VOLUMEN O INTENSIDAD DE TRÁNSITO

El volumen de tránsito es el número de vehículos que circulan en un determinado punto durante un intervalo definido de tiempo. La unidad en la que se expresa este valor es vehículos por unidad de tiempo. Un intervalo común de tiempo para el volumen es un día, descrito como vehículos por día. Los volúmenes diarios frecuentemente son usados como base para la planificación de los caminos.

En Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio, se usan los volúmenes horarios, ya que el volumen varía considerablemente durante las 24 horas del día. La hora del día que tiene el volumen horario más alto es llamada “hora pico” (HP), u hora de máxima demanda (HMD).

VELOCIDAD

El término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, generalmente expresada en kilómetros por hora (km/h).

DENSIDAD

La densidad es el número de vehículos que hay en una determinada sección de vía y generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km). La densidad se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{v}{S} \quad \text{Ecuación 5. Cálculo de densidad}$$

Donde:

D: Densidad (veh/ km/ carril)

V: Razón de flujo (veh / h)

S: Velocidad promedio de viaje (km/h)

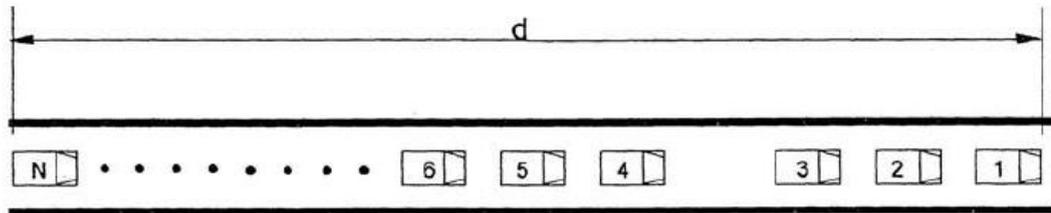


Imagen 2. Densidad o concentración (Mayor et al., 1994)

RELACIONES ENTRE VOLUMEN, FLUJO Y DENSIDAD

Para determinar las relaciones existentes entre los parámetros del tránsito, se realizaron investigaciones con algunos modelos matemáticos, las cuales contienen las principales variables que intervienen en el cálculo del flujo vehicular, flujo (q), densidad (k) y velocidad (u). Estas variables se encuentran relacionadas en la ecuación general:

$$q = k\bar{u}_s$$

Ecuación 6. Ec. General del Flujo Vehicular

Donde:

u_s = velocidad media espacial (Km/h)

k = densidad (vehículo/km/carril)

q = flujo (vehículo/h)

La relación existente entre los parámetros del tránsito según (Greenshields, Bibbins, Channing, & Miller, 1935) propone un modelo de tránsito ininterrumpido, que predice y explica las tendencias que se observan en un flujo de tránsito real. (Greenshields et al., 1935) utiliza un conjunto de datos (k , u) bajo diferentes condiciones de tránsito, luego plantea una relación lineal entre la velocidad y la densidad, como se puede observar en la siguiente figura:

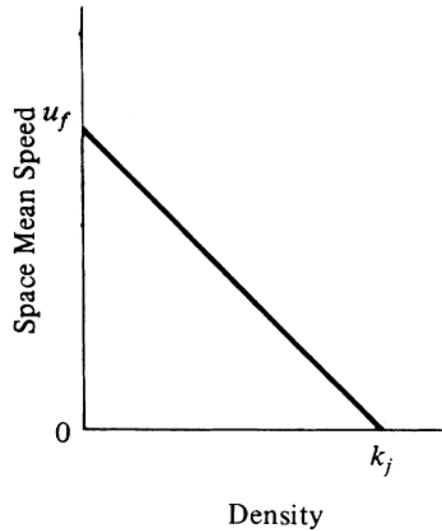


Imagen 3. Velocidad vs Densidad (Garber & Hoel, 2002)

Donde:

k_j = valor máximo de densidad, denominada densidad de congestión (vehículo/km/carril)

u_f = velocidad máxima absoluta se obtiene cuando el flujo tiende a 0, y se conoce como velocidad libre media (km/h).

Además, plantea la siguiente ecuación utilizando el método de mínimos cuadrados:

$$\bar{u}_s = u_f - \frac{u_f}{k_j} k$$

Ecuación 7. Cálculo de la velocidad de acuerdo al modelo Greenshield

Donde:

u_s = velocidad media espacial (Km/h)

u_f = velocidad máxima absoluta (km/h)

k = densidad (vehículo/km/carril)

k_j = densidad de congestión (vehículo/km/carril)

Reemplazando u_s , en la ecuación general del flujo, se tiene:

$$q = u_f k - \frac{u_f}{k_j} k^2$$

Ecuación 8. Ecuación que relaciona Velocidad con Densidad

Donde:

q = Flujo (vehículo/h)

La ecuación representa gráficamente una parábola como se muestra en la siguiente figura:

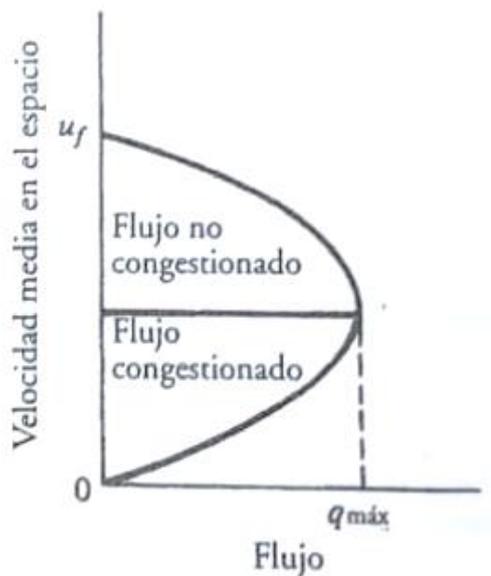


Imagen 4. Velocidad vs Flujo (Garber & Hoel, 2005)

Esta relación entre flujo y densidad, permitirá encontrar la densidad a la cual el flujo se maximiza, para esto se procede a encontrar el máximo valor, derivando la ecuación que relaciona la Velocidad con Densidad, de la siguiente manera:

$$\frac{dq}{d\bar{u}_s} = u_f \frac{k_j}{u_f} - 2\bar{u}_s \frac{k_j}{u_f} = k_j - 2\bar{u}_s \frac{k_j}{u_f}$$

Para encontrar el flujo maximizado es necesario sustituir la ecuación anterior de k , en la ecuación de u_s obtenida por mínimo cuadrados:

$$\frac{dq}{d\bar{u}_s} = 0 \quad k_j = 2\bar{u}_s \frac{k_j}{u_f} \quad u_o = \frac{u_f}{2}$$

Esto significa que el máximo flujo se presenta cuando el tráfico está fluyendo a la mitad de la velocidad del flujo libre. Sustituyendo luego la velocidad óptima y densidad en la ecuación fundamental del tránsito, es posible obtener el flujo máximo:

$$\begin{aligned}\frac{dq}{dk} &= 0 \\ u_f &= 2k \frac{u_f}{k_j} \\ \frac{k_j}{2} &= k_o\end{aligned}$$

Por lo tanto, en el flujo máximo, la densidad k_o es la mitad de la densidad de congestión. Por tanto, el flujo máximo para la relación de Greenshields se puede obtener de la ecuación:

$$q_{\max} = \frac{k_j u_f}{4}$$

De esta manera se puede concluir que según el modelo de (Greenshields et al., 1935)

- Cuando la densidad es cero, el flujo también es cero, porque no hay vehículos en el carril.
- A medida que aumenta la densidad, el flujo también aumenta hacia condiciones de flujo máximo.
- Cuando la densidad alcanza un máximo (densidad de congestión), el flujo debe ser cero porque los vehículos tienden a alinearse y no pueden circular.
- A medida que la densidad aumenta desde cero, el flujo también aumentará inicialmente desde cero hasta un valor máximo. Un incremento continuo adicional de la densidad, conducirá entonces a una reducción continua del flujo, el cual finalmente será cero cuando la densidad sea igual a la densidad de congestión. Por lo tanto, la curva adopta la geometría mostrada en la siguiente imagen:

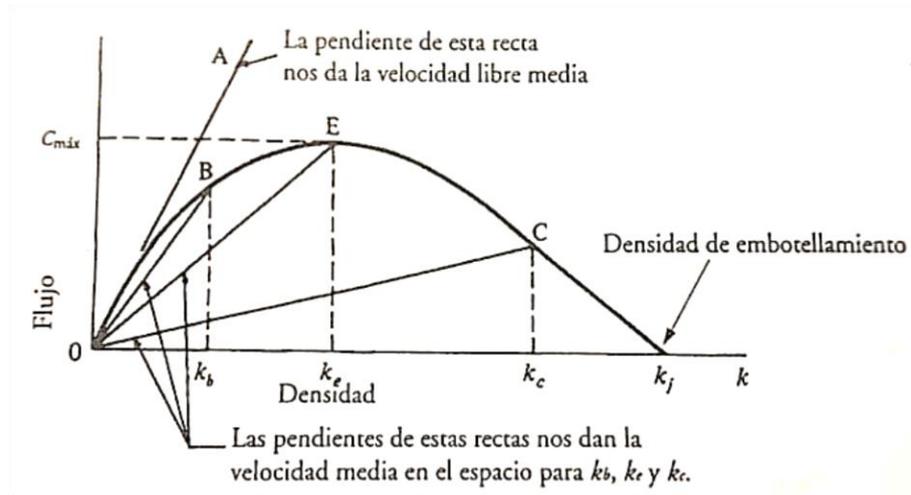


Imagen 5. Flujo vs Densidad (Garber & Hoel, 2005)

APENDICE 3: FLUJOS Y CARACTERISTICAS DEL TRÁNSITO

Existen distintos flujos a conocer:

• FLUJO CONTINUO

Es la condición en la cual un vehículo recorre un tramo de un carril o vía, y no está obligado a parar por ninguna causa externa.

• FLUJO CONVERGENTE / DIVERGENTE

Es el flujo que ingresa o sale de una vía, en un punto de una zona divergente determinada.

• FLUJO INTERRUMPIDO

Es la condición en la cual un vehículo, en el recorrido por una vía, está obligado a parar por causas externas, tales como una intersección o señalización.

• TASA DE FLUJO DE SATURACIÓN

El concepto de flujo de saturación o tasa de flujo de saturación “s” se usa para determinar la capacidad de un grupo de carriles. La tasa de flujo de saturación es la tasa máxima de flujo que puede atravesar la intersección desde un acceso o en el grupo de carriles, bajo las condiciones prevalecientes de tránsito y de la vía. La tasa de flujo de saturación está dada en unidades de vehículos/hora (veh/h), según la siguiente expresión:

$$s = s_o f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$$

Ecuación 9. Tasa de flujo de Saturación

En donde:

S: Tasa de flujo de saturación

So: Flujo de saturación base

fw: factor por ancho de carril

fHV: factor por vehículos pesados

fg: factor de ajuste por inclinación del acceso

fp: factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento

fb: factor de ajuste por efecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona

fa: factor de ajuste por tipo de área

fLU: factor de ajuste por utilización de carril

fLT: factor de ajuste por giro a la izquierda en el GC

fRT: factor de ajuste por giro a la derecha en el GC

fLpb: factor de ajuste por movimiento a la izquierda de peatones

fRpb: factor de ajuste por movimiento a la derecha de peatones y ciclistas

• CAPACIDAD

La capacidad según la Metodología del HCM (Transportation Research Board, 2000) se obtiene de la siguiente manera:

$$Q = \frac{S \times g}{C}$$

Ecuación 10. Capacidad de acceso vehicular

Donde:

Q: Capacidad del acceso a analizar

S: Tasa de flujo de saturación

g: Tiempo de verde para el grupo

C: longitud del ciclo del semáforo

• GRADO DE SATURACIÓN

Para hallar el grado de saturación se deben tener los datos mencionados anteriormente y aplicar la siguiente fórmula:

$$X = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 11. Grado de Saturación

Donde:

- X:** Grado de saturación del acceso
V: volumen en hora punta reajustado
Q: Capacidad del acceso

• **DEMORAS**

El nivel de servicio de un acceso o intersección vial urbana depende directamente de las demoras originadas en la misma, por ende, se debe calcular la demora total por vehículo con la siguiente ecuación:

$$d = d_1 + d_2$$

$$d_1 = 0.5C \frac{\left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \left(\frac{g}{C}\right)\right]}$$

$$d_2 = 900 T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + 8 \frac{k I X}{c T}} \right]$$

Ecuación 12. calculo de Demoras de vehículos en acceso o Intersección

Donde:

- T:** Tiempo del periodo de análisis (h)
k: factor de demora incremental que depende de las condiciones de control
I: factor de ajuste por filtración de tráfico en intersección previa
c: capacidad del grupo carril (veh/h)
X: grado de saturación (v/c)

DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

La variación de los volúmenes de tránsito por carriles presenta las siguientes características:

- En vías urbanas de 3 o más carriles de operación en un sentido, la mayor velocidad y capacidad se desarrolla en el carril del medio, las paradas de autobuses y los giros a derecha e izquierda hacen que la circulación en los carriles laterales sea más lento.
- En carreteras, el carril cercano a la mediana central es utilizado por vehículos más rápidos y para sobrepaso, presenta mayores volúmenes de tránsito en el carril inmediato al acotamiento.
- En autopistas, se presentan mayores volúmenes en el carril cercano a la mediana central.

Se presentan variaciones de volumen respecto a la distribución direccional en calles que comunican el centro de una ciudad con la periferia, el flujo de tránsito es máximo hacia el centro en las mañanas y hacia la periferia en las tardes y noches.

En lo que respecta a la composición del tránsito, en un análisis de volúmenes se hace importante conocer la cantidad de automóviles, autobuses, camiones, etc., los mismos que se expresan en forma de porcentaje respecto al volumen total.

VARIACIÓN HORARIA DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

Es la variación que se presenta en los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, esta variación depende del tipo de ruta y la actividad que prevalezca sobre la misma, como ser: rutas de tipo agrícola, comercial, turística, etc.

Un ejemplo de variaciones horarias se presenta en las ciudades, los volúmenes de tráfico son bajos en la madrugada, este se incrementa hasta un máximo entre las 07:30 y las 09:30 horas; luego baja para alcanzar otro máximo entre las 14:00 y las 15:00

horas; por último, alcanza un tercer máximo entre las 18:00 y las 20:00 horas para luego bajar nuevamente a un mínimo en la madrugada.

VARIACIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA

El valor obtenido de un volumen horario de máxima demanda, no necesariamente es constante a lo largo de toda la hora, existen periodos dentro de la hora donde las tasas de flujo son mayores a la de la hora misma.

Para hacer un análisis de las variaciones de volumen de tráfico en la hora de máxima demanda se utiliza el factor horario de máxima demanda que relaciona el volumen horario de máxima demanda con el flujo máximo.

VARIACIÓN DIARIA DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

En carreteras principales se presentan volúmenes estables de lunes a viernes, registrándose valores máximos durante los fines de semana ya que se añade la demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional. Existe una notable variación en días de eventos especiales como ser: aniversarios regionales o estatales, navidad, fin de año, competiciones deportivas, etc.

VARIACIÓN MENSUAL DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

Los meses en que las vías presentan máximos volúmenes de tránsito son por lo general los meses de vacación escolar, meses de vacación de fin de año, mes de alguna festividad regional, etc. Por lo general estas variaciones se mantienen constantes año a año siempre que no se realice cambios importantes en el diseño de la vía, en los usos de la tierra, o se construyan vías alternas.

VOLÚMENES DE TRÁNSITO ABSOLUTOS O TOTALES

Son volúmenes de tránsito que están clasificados de acuerdo al lapso de tiempo determinado para su cálculo, este lapso puede ser un año, un mes, una semana, un día o una hora.

- **TRÁNSITO ANUAL (TA).**- Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 365 días consecutivos. (T = 1 año).

- **TRÁNSITO MENSUAL (TM).**- Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 30 días consecutivos. (T = 1 mes).

- **TRÁNSITO SEMANAL (TS).**- Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 7 días consecutivos. (T = 1 semana).

- **TRÁNSITO DIARIO (TD).**- Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 24 horas consecutivas. (T = 1 día).

- **TRÁNSITO HORARIO (TH).**- Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 60 minutos consecutivos. (T = 1 hora).

VOLÚMENES DE TRÁNSITO MEDIOS DIARIOS (TMD)

El TMD es una medida de tránsito fundamental, está definida como el número total de vehículos que pasan por un punto determinado durante un periodo establecido. El periodo debe estar dado como días completos y además estar comprendido entre 1 a 365 días. En función del número de días del periodo establecido, los volúmenes de tránsito promedio diarios se clasifican en:

- **TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL (TMDA)**

$$TMDA = \frac{TA \text{ (Tránsito Anual)}}{365}$$

- **TRÁNSITO MEDIO DIARIO MENSUAL (TMDM)**

$$TMDM = \frac{TM \text{ (Tránsito Mensual)}}{30}$$

- **TRÁNSITO MEDIO DIARIO SEMANAL (TMDS)**

$$TMDS = \frac{TA \text{ (Tránsito Semanal)}}{7}$$

APENDICE 4: INTERSECCIONES

Una intersección según (AASHTO, 2011) se define como el área general donde dos o más caminos se unen o cruzan, incluyendo la plataforma e instalaciones al costado del camino para los movimientos del tránsito dentro del área. Cada carretera se irradia desde una intersección y forma parte de ella como un ramal. La intersección más común, dos carreteras que se cruzan, tiene cuatro ramales. No se recomienda una intersección con más de cuatro ramales.

En gran medida, las intersecciones son una parte importante de una instalación vial porque la eficiencia, seguridad, velocidad, costo de operación, y capacidad de la vía dependen de su diseño. Cada intersección comprende movimientos de giro entre estas carreteras, los cuales pueden facilitarse mediante varios diseños geométricos y controles de tránsito, según el tipo de intersección.

Los tipos generales de cruces de carreteras (Imagen 1) son las intersecciones a nivel (izquierda) e intersecciones a desnivel (derecha).

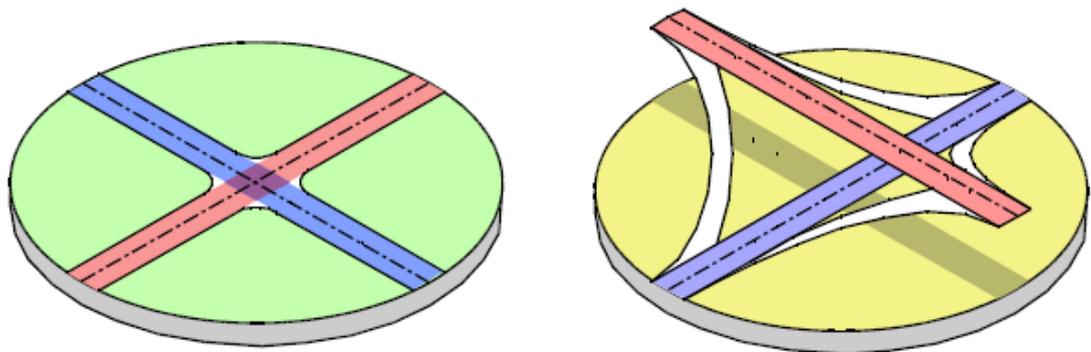


Imagen 6. Tipos de Intersecciones

Fuente: Reproducido de Manual de Carreteras (Bañón Blazquez & García Beviá, 2000)

Dentro de las Intersecciones a Nivel existen pueden establecerse diferentes tipologías de las mismas en función del número de vías que concurren 1) tres ramales perpendiculares u oblicuos, 2) cuatro ramales perpendiculares u oblicuos, 3) múltiple y 4) giratoria como se muestran en la Imagen 2.

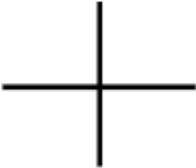
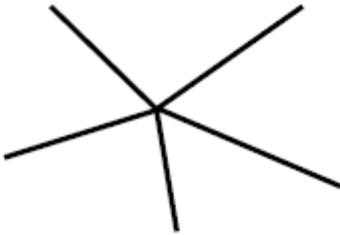
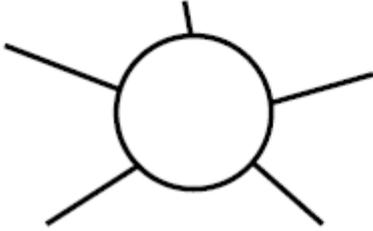
	Perpendiculares	Oblicuas
Tres ramales	 En T	 En Y
Cuatro ramales	 En cruz	 En X
Múltiple		
Giratoria		

Imagen 7. Tipos de Intersecciones a Nivel

Fuente: Reproducido de (Bañón Blazquez & García Beviá, 2000)

En relación con los Distribuidores o Intersecciones a desnivel, se debe destacar que demandan una distancia total de viaje algo más larga que los cruces directos a-nivel, pero el costo del viaje extra es menor que el ahorro en el costo por la reducción de costos de paradas y demoras (State, 1979). Existen diversos Tipos de Distribuidores o Intersecciones a desnivel. La Imagen 3 muestra los distintos tipos posibles de Intersecciones a desnivel.

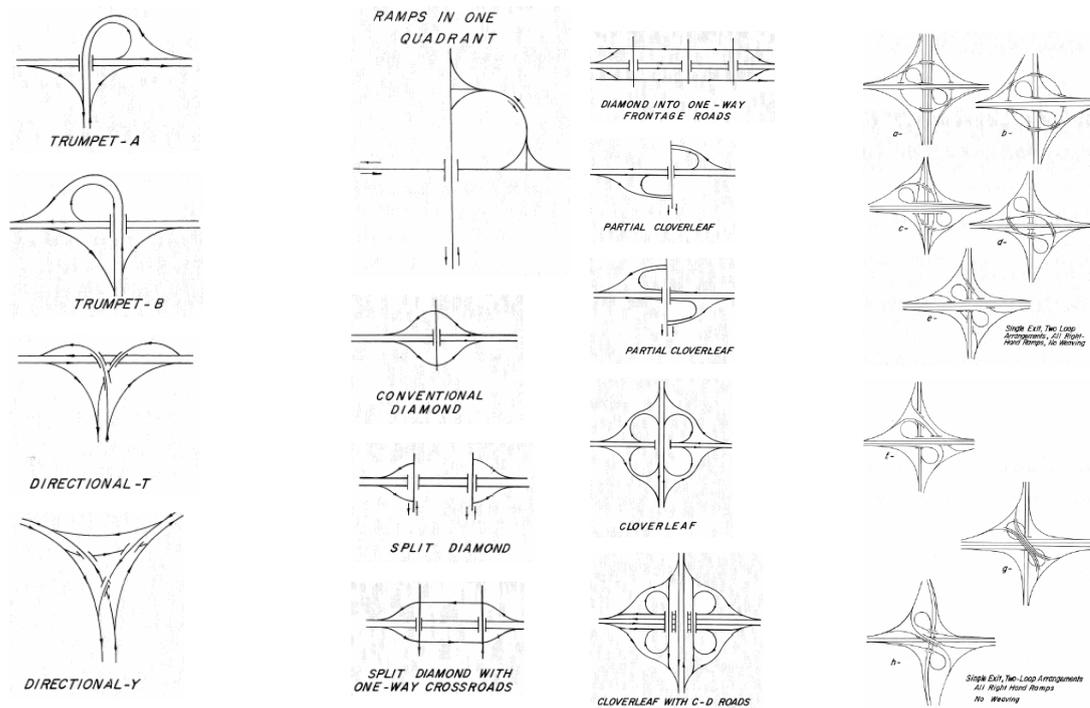


Imagen 8. Diferentes Tipos de Distribuidores

Fuente: Reproducido de Manual de Diseño Vial - Distribuidores (State, 1979)

Ciertos elementos de diseño de una intersección, principalmente los relativos a la acomodación de los movimientos de giro, son comunes y aplicables a las intersecciones y a algunas partes de ciertos distribuidores. Los elementos de diseño que se definirán en los apartados siguientes se aplican a intersecciones y a sus características accesorias.

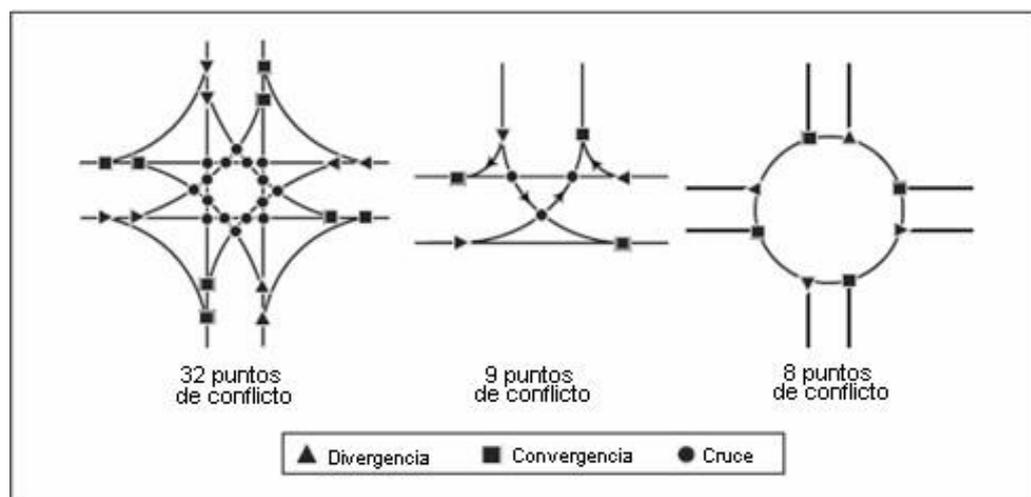
APENDICE 5: CONGESTION VEHICULAR EN INTERSECCIONES

Los conceptos básicos de posibles causas de congestión vehicular en Intersecciones se definen a continuación:

A) DISEÑO VIAL DE LAS INTERSECCIONES

Las intersecciones son puntos de conflicto significativos en el sistema vial. Su impacto sobre la seguridad, capacidad, velocidad y costos del usuario es considerable. Por esta razón, las intersecciones merecen especial atención en su diseño.

En una intersección, los vehículos que desean tomar distintas trayectorias generan puntos de conflictos.



*Imagen 9. Puntos de conflictos en Intersecciones.
Fuente: Reproducido de Manual de Diseño Vial - Distribuidores (State, 1979)*

El número de puntos de conflicto crece rápidamente con el número de ramales de la intersección.

El diseño de una intersección comprende cuatro elementos básicos: humano, operacionales, físicos y económicos (Transportation, 2000).

Cada intersección tiene diferentes tipos diferentes de conflictos vehiculares. La posibilidad de que estos conflictos se produzcan en realidad se puede reducir en gran medida a través de la prestación de distancias visuales adecuadas y los controles de circulación adecuada. La prevención de conflictos y la eficiencia de las operaciones de tránsito aún dependen del juicio, la capacidad, y la respuesta de cada conductor (AASHTO, 2011).

Las intersecciones deben diseñarse por un especialista vial que contemple todos los aspectos del diseño geométrico incluyendo las características de conducción propias de la región. Existen intersecciones viales urbanas con errores en el diseño, o no cuentan con alguna tipología o clasificación convencional dentro de algún manual de ingeniería de tránsito o normativa internacional. Es decir, intersecciones que han sido construidas sin criterios de ingeniería de tránsito, al no contar con estos criterios no llegan a ser eficientes, lo que generan problemas como mayor tiempo de espera, demoras, colas, accidentes, etc.

El objetivo principal del diseño de una intersección según (AASHTO, 2011) es propiciar la conveniencia, rapidez y comodidad de la gente que atraviesa la intersección, en tanto se realza el movimiento eficiente de los vehículos automotores, ómnibus, camiones, bicicletas, y peatones. El diseño de la intersección debería ajustarse estrechamente a las trayectorias naturales y características de operación de sus usuarios.

En el diseño de una intersección deberían considerarse cinco elementos básicos.

- **Factores Humanos**
 - Hábitos de conducción
 - Aptitud de los conductores para tomar decisiones
 - Expectativas del conductor
 - Tiempo de decisión y reacción
 - Ajuste de las trayectorias naturales del movimiento
 - Uso y hábitos de los peatones
 - Uso y hábitos del tránsito ciclista

- **Consideraciones de Tránsito**

- Diseño y capacidades reales
- Movimientos de giro en la hora de diseño
- Tamaño y características operacionales de los vehículos
- Variedad de movimientos (divergencia, convergencia, entrecruzamiento y cruce)
- Velocidades de los vehículos
- Tránsito
- Experiencia de choques
- Movimientos ciclistas
- Movimientos peatonales

- **Elementos Físicos**

- Carácter y uso de la propiedad lindera
- Alineamientos verticales en la intersección
- Distancia de visibilidad
- Ángulo de intersección
- Área de conflicto
- Carriles de cambio de velocidad
- Características de diseño geométrico
- Dispositivos de control de tránsito
- Equipo de iluminación
- Características de seguridad
- Tránsito ciclista
- Factores ambientales
- Cruces peatonales

- **Factores Económicos**

- Costos de las mejoras
- Efectos de controlar o limitar los derechos-de-paso en las propiedades linderas residenciales o comerciales donde la canalización restringe o prohíbe los movimientos vehicula-res.
- Consumo de energía

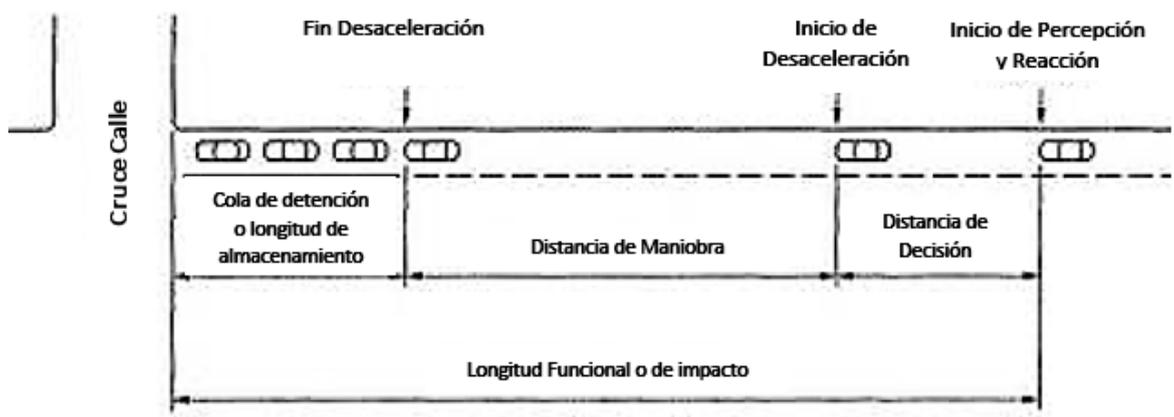
ÁREA DE INTERSECCIÓN FUNCIONAL

Una intersección se define por sus áreas funcional y física. El área funcional de una intersección se extiende corriente arriba y abajo desde el área de la intersección física e incluye cualesquiera carriles auxiliares y su canalización asociada.

El área funcional en un acceso a una intersección o acceso a propiedad comprende tres elementos básicos:

- (1) distancia de percepción-reacción
- (2) distancia de maniobra
- (3) distancia de almacenaje de fila o cola.

Estos elementos se muestran en la Imagen 5.



*Imagen 10. Elementos de un Área funcional en una Intersección.
Fuente: Reproducido de (AASHTO, 2011)*

La distancia recorrida durante el tiempo de percepción-reacción dependerá de la velocidad del vehículo, atención del conductor, y familiaridad del conductor con la ubicación. Donde haya un carril de giro-izquierda o derecha, la distancia de maniobra incluye la longitud necesaria para frenar y cambiar de carril. En ausencia de carriles de giro, comprende el frenado hasta una detención cómoda. La longitud de almacenaje debería ser suficiente como para acomodar la fila más larga esperada durante mayor tiempo.

Idealmente, los accesos a propiedad no deberían ubicarse en el área funcional de una intersección, o en el área de influencia de un acceso a propiedad adyacente.

B) DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO

El propósito de los dispositivos de control de tránsito, así como los principios para su uso, es promover la seguridad y la eficiencia de las carreteras al proporcionar el movimiento ordenado de todos los usuarios de las calles, autopistas, ciclovías y caminos privados abiertos a los viajes públicos en toda la nación.

Los dispositivos de control de tránsito notifican a los usuarios de la carretera de las reglamentaciones y proporcionan advertencias y orientación necesaria para la operación uniforme y eficiente de todos los elementos del flujo de tráfico de una manera destinada a minimizar la ocurrencia de accidentes.

Los dispositivos de control de tránsito se definirán como todos los letreros, señales, marcas y otros dispositivos utilizados para regular, advertir o guiar el tránsito, colocado sobre o adyacente a una calle, carretera, instalación peatonal, ciclovía o camino privado abierto a viajes públicos por autoridad de una agencia pública u oficial que tenga jurisdicción, o, en el caso de una carretera privada, por autoridad del propietario privado o funcionario privado que tenga jurisdicción (Administrator, 2012).

Para ser eficaz, un dispositivo de control de tráfico debe cumplir cinco requisitos básicos:

- A. Satisfacer una necesidad;
- B. Lograr su atención;
- C. Transmitir un significado claro y simple;
- D. Transmitir respeto de los usuarios de la carretera; y
- E. Dé el tiempo adecuado para una respuesta adecuada.

C) INCOMPATIBILIDADES DE SEÑALIZACIÓN DE TRÁNSITO.

Tanto el diseño como la señalización deben informar correctamente en el tiempo oportuno y lugar adecuado. Las intersecciones necesitan señalización simple, que refleje lo que el proyectista espera que los conductores hagan.

Los movimientos permitidos debieran ser evidentes y fáciles; los no-permitidos debieran ser difíciles.

En las intersecciones urbanas que son competencia de los Municipios se hacen ciertos cambios y modificaciones con el fin de mejorar la satisfacción de los interesados. Pero en ese cambio no siempre se analiza cómo repercutirá el cambio en toda la vía.

En otras ocasiones, se observa incompatibilidades en la señalización de una intersección, producto del desconocimiento.



Imagen 11. Incongruencia de Señalización Vial.
Fuente: Adaptado de imágenes google

D) ACCIDENTES

Las colisiones de tránsito impactan severamente las vidas en los Estados Unidos y otros países (Engineers et al., 2016). La seguridad del tránsito en las carreteras existentes es ciertamente menos que óptima, ya que más de 1 millón de personas mueren anualmente en todo el mundo en accidentes de tráfico, lo que representa la décima causa principal de muerte en el mundo (OMS, 2009).

La recopilación y el análisis de datos de seguridad son fundamentales para el diseño de programas para reducir Accidentes. Los analistas usan datos de seguridad para ayudar a entender por qué ocurren las colisiones, para ayudar a identificar ubicaciones propensas a colisiones, para ayuda para decidir qué programas de seguridad o

contramedidas deben implementarse, y para ayudar a las evaluaciones de la efectividad de la contramedida.

La seguridad es un componente relevante en el trabajo de los diseñadores de carreteras e ingenieros de tránsito, quienes han desarrollado pautas y estándares para buenas prácticas con énfasis en el diseño de caminos más seguros. La dificultad aparece cuando la teoría es implementada en el mundo real, ya que la teoría no siempre cubre la realidad, y seguir escrupulosamente las pautas no es sencillo. Este problema de seguridad parece ser más grave en las carreteras rurales. Según estudios de la Asociación Luchemos por la Vida, Argentina ostenta uno de los índices más altos de mortalidad producida por accidentes de tránsito: veintidós personas mueren por día, casi 8.000 muertos por año, y más de 120.000 heridos anuales de distinto grado, además de cuantiosas pérdidas materiales. La cantidad de muertos en 2018 fue de 7274. Y corresponde a una cifra elevada respecto de otros países.

Año	1990	2000	2008	2012	2014	2018	Porcentaje de disminución de muertos 1990-2018
Canadá	3963	2904	2431	2079	1834	1841	54%
Holanda	1.376	1.082	677	566	570	598	57%
Suecia	772	591	397	285	282	324	58%
España	9.032	5.777	3.100	1.903	1.680	1.806	80%
Argentina	7.075	7.545	8.205	7.485	7.613	7.274	0%

*Imagen 12. Comparativa de Accidentes Viales entre Argentina y otros Países.
Fuente: adaptado de(Asociación Civil, 2019)*

Los conductores y los vehículos tienen diferentes propiedades (tiempos de reacción, eficiencia de frenado, capacidades visuales, atención, opción de velocidad), que determinará si se produce o no un bloqueo. Para la gran mayoría de los eventos (es decir, movimiento de uno o más vehículos y / o peatones y ciclistas) en el sistema de transporte, los eventos ocurren con un bajo riesgo de choque (es decir, la probabilidad de que ocurra un choque es muy baja para la mayoría de los eventos en la red de transporte).

Los choques en las áreas rurales son a menudo más severos que en las áreas urbanas debido a las velocidades más altas del vehículo, y el resultado de los choques puede ser más grave (Federal Highway Administration, 2015)

En las intersecciones rurales ocurren alrededor del 20 % de los accidentes, y en las urbanas alrededor del 50 %, porque:

- 1.7.1 los conflictos entre vehículos y/o usuarios vulnerables son mucho más probables;
- 1.7.2 los errores humanos son además más probables, dado que los usuarios deben elegir entre varias trayectorias, ajustar su velocidad, y maniobrar bajo altas restricciones de tiempo y espacio.

SISTEMAS DE CONTROL DE INTERSECCIONES

Las intersecciones pueden operar con señales de prioridad: intersección priorizada, o con semáforos: intersección semaforizada(CEPAL;GTZ, 2003).

- 1.7.3 *Intersecciones Priorizadas*: Estas intersecciones regulan el derecho de paso mediante la señal “CEDA el PASO” o la señal “PARE”. La señal “CEDA el PASO” indica a los conductores que la enfrentan, que la prioridad corresponde a los vehículos de la otra vía; no tienen necesidad de detenerse si en el flujo vehicular por la vía principal existe un espacio suficiente para cruzarla o incorporarse a éste con seguridad. Esta señal debe instalarse en todos los casos en que la visibilidad no esté restringida, según el criterio que se presenta más adelante. La señal “PARE” tiene por propósito ordenar a los conductores que detengan completamente su vehículo y reanuden la marcha sólo cuando puedan hacerlo en condiciones que eviten accidentes. Debe ser colocada sobre la línea en que los vehículos deben detenerse, de manera tal que el conductor disponga de buena visibilidad sobre la vía prioritaria para poder reanudar la marcha con seguridad.

1.7.4 *Intersecciones SemafORIZADAS*: Los semáforos son una forma más sofisticada de controlar una intersección. Permiten separar los períodos de tiempo en que se puede avanzar por cada calle que llega a una intersección. La distribución de tiempos se denomina reparto o fases, en tanto que ciclo es el tiempo transcurrido desde el inicio de una determinada fase hasta que ella vuelve a activarse. En general, el semáforo tiende a ser considerado como una medida positiva, que produce beneficios y mejora la seguridad en cualquier situación. No obstante, esta creencia no siempre se ve corroborada. Para que la instalación de un semáforo produzca beneficios reales a la población tiene que darse un conjunto de condiciones que permitan que los beneficios efectivamente sean mayores que los costos. Por ejemplo, dada la variabilidad de la demanda, es posible que un semáforo tenga plena justificación en ciertos períodos del día o ciertas estaciones del año y en el resto constituya un costo para la comunidad.

En las intersecciones en donde es necesaria la implementación de un sistema de semáforos coordinados debido a que son vías principales y el flujo de vehículos es considerable, se debe de tomar en cuenta los tiempos óptimos sobre las fases que deben tener los semáforos y que los ciclos de preferencia al peatón no se vean interrumpidos, por ejemplo, por un giro a la derecha de un vehículo.

APENDICE 6: CLASIFICACION DE VIAS

Vía Principal o Accesos

- a) Su rol principal es establecer las relaciones interprovinciales entre las diferentes áreas urbanas a nivel regional.
- b) Sus calzadas permiten desplazamientos a grandes distancias, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 8 km. Velocidad de Diseño entre 80 y 100 km/h.
- c) Tiene muy alta capacidad de desplazamiento de flujos vehiculares, en ambos sentidos.
- d) Flujo predominante de automóviles, camionetas y vehículos de carga. Prohibición de circulación para vehículos de tracción animal y humana.
- e) Sus cruces con otras vías o con circulaciones peatonales preferentemente deberán ser a distintos niveles.
- f) Sus cruces con otras vías deben estar a distancias no menores de 1.000 m, debiendo contar a lo menos con enlace controlado. Paradas de buses sólo en lugares especialmente diseñados y habilitados.
- g) Segregación funcional, en general, completa respecto de las actividades del entorno. Servicios anexos prohibidos sin accesos especiales.
- h) Prohibición absoluta y permanente del estacionamiento y la detención de cualquier tipo de vehículo, sobre la calzada de circulación.
- i) El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas no debe, en conjunto, ser inferior a 21 m.
- j) Debe estar conformada por un sólo cauce, bidireccional, debidamente canalizado y

dispondrá de una mediana de ancho mínimo de 2 m, pudiendo contar además con desagües.

k) No se contempla en ellas la existencia de ciclovías, pero pueden existir en las vías locales.

Vía troncal o corredores

a) Su rol principal es establecer la conexión entre las diferentes zonas urbanas de una provincia.

b) Sus calzadas permiten desplazamientos a grandes distancias, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 6 km. Velocidad de Diseño entre 50 y 80 km/h.

c) Tiene alta capacidad de desplazamiento de flujos vehiculares, considerando ambos sentidos.

d) Flujo predominantemente de locomoción colectiva y automóviles, con prohibición para vehículos de tracción animal y humana.

e) Sus cruces con otras vías o circulaciones peatonales pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sobre las demás, salvo que se trate de cruces con vías expresas, las cuales siempre son preferenciales. Sus cruces a nivel con otras vías troncales deben ser controlados. El cruce de peatones podrá ser a desnivel, en caso contrario, deberá estar restringido a los cruces semaforizados y prohibido en todo otro lugar de la vía.

f) Los cruces, paraderos de locomoción colectiva, servicios anexos y otros elementos singulares, deben estar distanciados entre sí a una distancia tal que no ocasione un perjuicio notorio sobre el patrón de circulación de esta tipología de vías.

g) Presenta una segregación funcional parcial con su entorno. Servicios anexos sólo con accesos normalizados.

- h) Prohibición absoluta y permanente del estacionamiento y la detención de cualquier tipo de vehículo en su calzada.
- i) El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas, en conjunto, no debe ser inferior a 14m.
- j) Deberán existir aceras a ambos costados, cada una de ellas de 3,5 m de ancho mínimo, en su condición más desfavorable.
- k) En el caso de existir ciclovías, las cuales podrán ser materializadas en veredas.

Vía colectora:

- a) Su rol principal es de corredor de distribución entre la residencia y los centros de empleo y de servicios, y de repartición y/o captación hacia o desde la trama vial de nivel inferior.
- b) Sus calzadas atienden desplazamientos a distancia media, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 3 km. Velocidad de Diseño entre 40 y 50 km/h.
- c) Tiene capacidad media-alta de desplazamiento de flujos vehiculares, considerando ambos sentidos.
- d) Flujo predominante de automóviles. Restricciones para vehículos de tracción animal.
- e) Sus cruces con otras vías o circulaciones peatonales pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sobre las demás, salvo que se trate de cruces con vías expresas troncales, los cuales deben ser controlados.
- f) No hay limitación para establecer el distanciamiento entre sus cruces con otras vías.
- g) Ausencia de todo tipo de segregación con el entorno. Servicios anexos sólo con

accesos normalizados.

- h) Puede prohibirse el estacionamiento de cualquier tipo de vehículos en ella.
- i) La distancia entre líneas oficiales no debe ser inferior a 20 m.
- j) El ancho mínimo de sus calzadas pavimentadas, en conjunto no debe ser inferior a 14 m.
- k) Deberán existir veredas a ambos costados, cada una de ellas de 2 m de ancho mínimo.
- l) Puede o no existir ciclovías.

Vía de servicio:

- a) Vía central de centros o subcentros urbanos que tienen como rol permitir la accesibilidad a los servicios y a los comercios emplazados en sus márgenes.
- b) Su calzada atiende desplazamientos a distancia media, con una recomendable continuidad funcional en una distancia mayor de 1 km. Velocidad de Diseño entre 30 y 40 km/h.
- c) Tiene capacidad media de desplazamiento de flujos vehiculares, considerando toda su calzada.
- d) Flujo predominante de locomoción colectiva. Restricción para vehículos de tracción animal.
- e) Sus cruces pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sólo respecto a las vías locales y pasajes, los cuales podrán ser controlados.
- f) No hay limitación para establecer el distanciamiento entre sus cruces con otras vías.

La separación entre paraderos de locomoción colectiva preferentemente será mayor de 300 m.

- g) Ausencia de todo tipo de segregación con el entorno.
- h) Permite estacionamiento de vehículos, para lo cual deberá contar con banda especial, la que tendrá un ancho consistente con la disposición de los vehículos que se adopte.
- i) La distancia entre líneas oficiales no debe ser inferior a 15 m.
- j) El ancho mínimo de su calzada pavimentada no debe ser inferior a 7 m, tanto si se trata de un sólo sentido de tránsito o doble sentido de tránsito.
- k) Debe estar conformada por un sólo cauce.
- l) Deberán existir aceras a ambos costados, cada una de ellas de 2,5 m de ancho mínimo, en su condición más desfavorable.
- m) Puede o no existir ciclovías.

Vía municipal o calle:

- a) Su rol es establecer las relaciones entre las vías Troncales, Colectoras y de Servicios y de acceso a la vivienda.
- b) Su calzada atiende desplazamientos a cortas distancias. Ausencia de continuidad funcional para servicios de transporte. Velocidad de Diseño entre 20 y 30 km/h.
- c) Tiene capacidad media o baja de desplazamientos de flujos vehiculares.
- d) Flujo de automóviles y vehículos de tracción animal y humana, excepcionalmente locomoción colectiva.

- e) Sus cruces pueden ser a cualquier nivel, manteniéndose la preferencia de esta vía sólo respecto a los pasajes.
- f) No hay limitación para establecer el distanciamiento entre sus cruces con otras vías.
- g) Presenta alto grado de accesibilidad con su entorno.
- h) Permite estacionamiento de vehículos en su calzada.
- i) La distancia entre líneas oficiales no debe ser inferior a 11 m.
- j) El ancho mínimo de su calzada no debe ser inferior a 7 m, tanto si se trata de un sólo sentido de tránsito o doble sentido de tránsito.
- k) Deberán existir veredas a ambos costados, cada una de ellas de 2 m de ancho mínimo.
- l) No se contempla en ella la presencia de ciclovías.

APENDICE 7: CENSOS DE TRÁNSITO Y ESTUDIOS DE VELOCIDAD

CENSOS VOLUMÉTRICOS DE TRÁNSITO

Los ingenieros a menudo usan el recuento de la cantidad de vehículos, bicicletas o peatones que pasan por un punto, ingresan a una intersección o usan una instalación en particular, como un carril de circulación, cruce o acera. Los recuentos suelen ser muestras de volúmenes reales, aunque el recuento continuo se realiza cada vez más para ciertas situaciones o circunstancias. Las modernas estaciones automáticas de conteo de vehículos se encuentran a lo largo de arterias señalizadas y en instalaciones de autopistas y son características estándar en combinación con estaciones de pesaje en movimiento e instalaciones de peaje automatizadas. Los períodos de muestreo pueden variar desde unos pocos minutos hasta un mes o más, según las necesidades de los datos (Engineers et al., 2016).

El período de recuento seleccionado para una ubicación determinada depende del uso planificado de los datos y de los métodos disponibles para recopilarlos. Los períodos de conteo deben ser representativos de la hora del día, día de la semana o mes del año que sea de interés en el estudio. El período de conteo debe evitar eventos especiales y clima adverso a menos que el propósito sea estudiar tales fenómenos. Los períodos de conteo pueden variar de una hora a un año. Los recuentos manuales son generalmente por períodos de menos de 1 día. Los períodos de conteo típicos para movimientos de giro, conteos de muestras, clasificaciones de vehículos, peatones y bicicletas incluyen: período pico (2 horas); períodos pico de mañana y tarde (4 horas); períodos pico de mañana, mediodía y tarde (6 horas); y durante el día (12 horas). Los intervalos de conteo son típicamente de 5 o 15 minutos. Para fines de análisis de capacidad, los intervalos de recuento de 15 minutos son adecuados, lo que es consistente con las metodologías del Manual de Capacidad de Carreteras (H. R. Board, 1965).

Los recuentos en intersecciones a menudo requieren múltiples observadores, excepto en condiciones de tráfico ligero o con configuraciones de carril simples. Si se van a examinar muchas clases de vehículos en una intersección concurrida con varios movimientos simultáneos, cada observador debe poder registrar datos para dos o tres carriles. A veces son deseables los métodos simplificados para identificar clases de vehículos. Por ejemplo, uno podría clasificar todos los vehículos de motor con dos o

cuatro neumáticos como automóviles y todos los vehículos de motor con seis o más neumáticos como camiones. El esquema de clasificación debe ser bien entendido por todos los observadores antes del comienzo del conteo (Engineers et al., 2016).

MODALIDADES DE CENSOS DE TRÁNSITO

✓ Censos Manuales:

- Se usan por lo general para contabilizar volúmenes de giro y volúmenes clasificados.
- La duración del conteo varía con el propósito del conteo. Algunos censos clasificados pueden durar hasta 24 horas.
- El equipo usado es variado; desde hojas de papel marcando cada vehículo hasta contadores electrónicos con teclados. Ambos métodos son manuales.
- Durante periodos de tránsito alto, es necesario más de una persona para efectuar los censos. La exactitud y confiabilidad de los censos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona.

✓ Contadores de tránsito Mecánicos:

Contadores permanentes son usados para aforar el tránsito continuamente. Es usado a menudo para estudios de tendencias. Pueden ser actuados por células fotoeléctricas, detectores magnéticos y detectores de lazo.

✓ Contadores Portátiles:

Toman nota de los volúmenes aforados cada hora y 15 minutos, dependiendo del modelo. Pueden ser tubos neumáticos u otro tipo de detector portátil. Entre sus ventajas se cuentan: una sola persona puede mantener varios contadores y, además, proveen censos permanentes de todas las variaciones del tránsito durante el periodo

del conteo. Entre sus desventajas se cuentan: no permiten clasificar los volúmenes por tipo de vehículo y movimientos de giro y muchas veces se necesitan censos manuales ya que muchos contadores (en particular los de tubo neumático) cuentan más de un vehículo cuando son accionados por vehículos de más de un eje o por vehículos que viajen a velocidades bajas.

PROGRAMACIÓN DE LOS CENSOS

El número de horas de conteo varía con el método usado y el propósito. Los contadores mecánicos pueden estar contando las 24 horas del día. Es conveniente que los censos manuales en intersecciones, se lleven a cabo por un mínimo de 12 horas, incluyendo en este espacio de tiempo las horas de mayor demanda. Censos por periodos de tiempo de 16 horas, proveen más información. Por lo general, para la mayoría de los propósitos de ingeniería de tránsito, los censos deben ser efectuados durante días representativos de un día de la semana típico (martes, miércoles y jueves) a menos que el objetivo del estudio requiera días de fin de semana. Por lo general censos realizados con incrementos de tiempo de 15 minutos son suficientes. Sin embargo, algunas veces es necesario efectuar censos en intervalos menores para el diseño de carriles de giro y para cálculo de tiempos de semáforos (Secretaría de Desarrollo Social, 1994).

Los días de censos se determinan de acuerdo al tipo de zonificación existente en el área de estudio de la tesis, en este caso es una zona principalmente de uso Industrial y en menor medida residencial. Al ser zona industrial y residencial, se ~~por~~ realizar los censos vehiculares de lunes a viernes durante horas establecidas en los Capítulos siguientes.

ESTIMACIÓN DE VELOCIDADES

La velocidad es una medida importante para las operaciones de tránsito, porque los usuarios de la autopista o red vial relacionan la velocidad con la economía, la seguridad, el tiempo, la comodidad y la conveniencia. La velocidad es una medida básica del rendimiento del tránsito. Por lo tanto, los datos de velocidad puntual tienen una serie de aplicaciones, que funcionan para determinar la operación de tránsito y los parámetros de control, establecer elementos de diseño de la carretera, analizar la capacidad de la carretera, evaluar la seguridad de la carretera, monitorear las tendencias de velocidad y medir la efectividad de los controles o programas. Los estudios de velocidad puntual están diseñados para medir velocidades en ubicaciones específicas bajo el tránsito y las condiciones ambientales que prevalecen en el momento del estudio. Hay dos enfoques principales para recopilar velocidades de vehículos en ubicaciones puntuales. El primero es el método de selección de vehículos individuales, donde se muestrea un subconjunto de vehículos en la corriente de tránsito utilizando predominantemente técnicas de medición de velocidad manual. Alternativamente, el método de muestreo para todos los vehículos registra casi todas las velocidades del vehículo utilizando equipos automáticos de medición en carretera o en carretera. Mientras que el primer método está dirigido a mediciones de velocidad a corto plazo, el segundo es apropiado para el rendimiento del sistema, monitoreando sistemas que dependen de la estimación continua (Engineers et al., 2016).

Para la elaboración de esta tesis se estimó las velocidades medias espaciales de los vehículos que transitan. Se determinó la velocidad media espacial de los vehículos, de la siguiente forma:

$$V \text{ promedio} = \text{Distancia recorrida} / \text{Promedio de tiempo del recorrido}$$

Ecuación 13. Determinación de la Velocidad Promedio de vehículos

APENDICE 8: PLANIFICACIÓN

ETAPAS DE PLANIFICACIÓN

Reconocimiento de la necesidad: Cuando se identifica un caso de congestión vehicular (falta de acceso a un centro comercial, una intersección con elevado índice de accidentes, etc.), puede o no ser evidente mientras no se realice un estudio que establezca las necesidades presentes y realice las proyecciones futuras.

Metas de la planificación: La planificación debe tener una dirección y un propósito específico. Los objetivos de la planificación representan la dirección en que una sociedad, distrito, región o estado desea moverse. Un sector interesado principalmente en el avance económico se sentirá atraído por el comercio y la industria como objetivo principal y proyectará un sistema de transporte adecuado a esas actividades. Una ciudad a la cual preocupe la eficiencia funcional exigirá vías públicas rectas y directas, mientras que otra que se interese por las casualidades estéticas tolerará cierto grado de congestionamiento o de desviación si con ello puede preservar la belleza de los árboles y edificios antiguos. Los objetivos representan los deseos generales de una sociedad, es decir deben estar contenidos en un Plan Maestro para que todos los esfuerzos vayan en la misma dirección y que no sean aislados.

Objetivos: Sirven para lograr las metas. Los criterios se aplican para cuantificar objetivos.

Estudio de demanda: El estudio de la demanda establece un fondo de información a partir del cual se puede proceder a la planificación. Los estudios determinan la historia del crecimiento y representan el estado de la población, el uso del suelo, la industria, el comercio, los actuales sistemas de transporte y el uso que se hace de esos sistemas.

Análisis de la demanda: Son las proyecciones. Una vez establecida la demanda, el tránsito se distribuye entre vías y modalidades que se deben de proyectar con los resultados obtenidos del Estudio de la Demanda como se explicará más adelante.

Luego, la capacidad actual se compara con la demanda actual y se nota el exceso o la falta de capacidad.

Diseño de soluciones: Se tienen que considerar todas las soluciones posibles para desarrollar con más detalle las dos o tres que resulten más prometedoras. Además, comparar las consecuencias sociales y ambientales y su costo económico.

Evaluación de alternativas: Las varias alternativas que se seleccionen para su análisis detallado se deben evaluar para la presentación a los organismos de decisión. Las evaluaciones deben considerar la utilidad o efectividad de las soluciones alternativas; es decir, si con ellas se lograrán los objetivos propuestos. También se debe calcular el costo económico de cada una, así como los costos sociales y ambientales. Se tienen que determinar todas las consecuencias significativas de cada solución alternativa.

Presentación: Los planes que se recomiendan y las alternativas viables se presentan a la correspondiente área de planificación. También conviene incluir los métodos de financiamiento que se sugieren.

Ejecución del plan: Una vez aprobado y autorizado el plan, hay que establecer los métodos de financiamiento que permitan preparar los planos y diseños finales, la adquisición de terreno, la presentación de presupuestos y la construcción, seguidos por la etapa final: la operación (Hay, 1998).



Figura 1. Etapas de Planificación en el transporte

LA PLANIFICACIÓN EN EL TRANSPORTE

Según (Engineers et al., 2016) en la mayoría de las principales áreas metropolitanas, las autopistas son un componente esencial del sistema de transporte por carretera para atender a los viajeros, vehículos comerciales, vehículos de tránsito y conductores recreativos. La red de autopistas urbanas también presta servicios a proveedores de servicios de emergencia, movimiento de equipos de defensa nacional y evacuación de emergencia. Las agencias o reparticiones de transporte que operan y planifican mejoras a las autopistas e intercambios en las principales áreas metropolitanas enfrentan muchos desafíos para hacerlo, con altos volúmenes de tránsito, uso de suelo y grandes demandas de acceso local como norma.

El enfoque de aplicar la ingeniería de tránsito en el entorno urbano generalmente ha pasado de construir caminos nuevos o ensanchados a proporcionar instalaciones equilibradas que sean multimodales y estén bien integradas con los objetivos económicos y sociales de las comunidades a las que sirven. Las prácticas modernas en la planificación, diseño y operación de instalaciones de flujo ininterrumpido urbano implican la implementación de políticas, estrategias y tecnologías con un enfoque en mejorar el rendimiento general del sistema. Los objetivos principales son minimizar

la congestión (y sus efectos secundarios), mejorar la seguridad, mejorar la movilidad para todos los usuarios y proporcionar un sistema de transporte robusto que admita una amplia gama de propósitos.

En entornos urbanos, puede ser particularmente desafiante mejorar las instalaciones de transporte dentro del conjunto de limitaciones que se enfrentan comúnmente. Las crecientes demandas de viaje, los presupuestos limitados y las limitaciones físicas son típicas del contexto urbano. Proporcionar mejoras de transporte que sean económicas y adaptables a las demandas cambiantes y las preferencias del usuario es un principio fundamental en la práctica moderna de la ingeniería de tránsito. Las tareas del ingeniero se han expandido más allá de servir únicamente como un experto técnico con respecto a la planificación, diseño y operación de una instalación de transporte.

Las herramientas y procesos de ingeniería han evolucionado y la aplicación de consideraciones de diseño y análisis basadas en el rendimiento se está volviendo más común. Bajo un enfoque basado en el desempeño para el diseño del proyecto y la selección de atributos, las decisiones se pueden tomar en función de múltiples factores utilizando medidas cuantificables de costo y beneficio para que las agencias públicas hagan un uso eficiente de fondos públicos limitados. Los ingenieros deben aplicar estrategias de gestión de riesgos, así como análisis financieros / económicos para evaluar alternativas. Particularmente en el contexto urbano, los diseñadores deberían utilizar la gama creciente de herramientas y técnicas para proporcionar a los interesados el mejor diseño / proyecto basado en una priorización de los valores de los interesados. Como asesores financieros para la inversión de fondos públicos, corresponde a los ingenieros de transporte utilizar las herramientas disponibles para cuantificar la implicación de los diferentes diseños para los valores de los interesados para que puedan tomar decisiones de proyecto más informadas.

La planificación en el transporte es una etapa significativamente importante, porque en esta etapa se pueden presentar diversos problemas que pueden identificarse y solucionarse de acuerdo al nivel de planificación que se lleve a cabo y al tipo de necesidad que se requiera satisfacer (Hay, 1998). Además, siguen, por lo general, un patrón las cuales se describen en el APENDICE 8: PLANIFICACIÓN.

USUARIOS A TOMAR EN CUENTA DURANTE LA PLANIFICACIÓN: PEATONES, CICLISTAS Y CONDUCTORES

Un factor a tomar en cuenta en la planificación de cualquier proyecto es la identificación de los usuarios. En esta etapa, se identifica y analiza la totalidad de los actores que van a intervenir de manera directa o indirecta en el proyecto. En el caso específico de esta tesis, son todos aquellos individuos que intervienen en la red en estudio y sus intersecciones viales y no solo los conductores. Además, en una intersección vial urbana existen elementos básicos que interactúan entre sí, esta interacción de elementos hace que se produzcan los flujos de tránsito. Estos son:

- El Usuario: Peatones, ciclistas y conductores
- El vehículo: privado, público y comercial
- La viabilidad: calles y carreteras
- Los dispositivos de control: marcas, señales y semáforos
- El medio ambiente en general (Mayor et al., 1994)

Los seres humanos, como usuarios de las diferentes vías, medios de transporte, etc. son elementos primordiales del tránsito por calles y carreteras, quienes deben ser estudiados y entendidos claramente con el propósito de poder ser controlados y analizar sus necesidades en forma apropiada. Por otro lado, es importante estudiar al peatón, ya que es el usuario más vulnerable en una intersección vial urbana, lo cual lo convierte en un componente importante dentro de la seguridad vial. En la mayoría de los países del mundo que cuentan con un número grande de vehículos, los peatones muertos anualmente en accidentes de tránsito ocupan una cifra muy alta.

En Mendoza, del total de accidentes con lesiones, un tercio corresponde a peatones. Mucho de los accidentes sufridos por peatones ocurren porque éstos no cruzan en las zonas demarcadas para ellos o porque no siempre los flujos están adecuadamente canalizados.

Por otra parte, el ciclista es otro usuario vulnerable con problemas de seguridad vial por

accidentes producidos por los vehículos motorizados, falta de infraestructura para ciclovías y/o mal diseño de las calles que han sido diseñadas para darle prioridad a la circulación de vehículos.

Podemos concluir del autor Rafael Cal y Mayor (Mayor et al., 1994) que los ciclistas son un factor a tomar en cuenta dentro de la planificación y que incentivar el uso de las bicicletas con la construcción de ciclovías, podría ser una medida importante que ayude a la mitigación ambiental y fundamentalmente de la congestión vehicular sobre todo en tramos relativamente cortos. Por último, el conductor de vehículos, que desarrolla su capacidad de conducir en vías e intersecciones diseñadas en general para vehículos según sus dimensiones, peso, potencia, radios de giro, velocidad, poder de aceleración y desaceleración, capacidad de frenado, etc.

Por consiguiente, es necesario considerar que existen varios usuarios de las vías que deben convivir adecuadamente con estricta seguridad vial e infraestructura adecuada, adaptada a las condiciones de cada uno de estos usuarios.

APENDICE 9: SEMÁFOROS

Funciones de los semáforos:

- Interrumpir periódicamente el tránsito de un flujo vehicular o peatonal para permitir el paso de otro flujo vehicular o peatonal.
- Regular la velocidad de una vía para poder mantener la circulación continua de vehículos a velocidad constante.
- Controlar la circulación por sentido de flujo vehicular.
- Reducir o eliminar de ser posible el número de accidentes de tránsito generado por colisiones perpendiculares.
- Controlar de manera ordenada los flujos de tránsito.

En cada uno de los accesos a la intersección se coloca al menos un semáforo, en cuya cabeza aparecen tres luces –roja, amarilla y verde- que se encienden sucesiva y ordenadamente. Teniendo en cuenta las posibles combinaciones de luces rojas y verdes que pueden estar simultáneamente encendidas en toda la intersección, se definen dos conceptos consustanciales a las intersecciones semaforizadas:

- **Fase:** Tiempo durante el que puede realizarse un determinado movimiento dentro de la intersección, es decir, el tiempo durante el cual una serie de semáforos permanecen en verde.
- **Ciclo:** Tiempo necesario para que vuelvan a repetirse las mismas condiciones de regulación dentro de la intersección; dicho de otro modo, es el resultado de la suma de las diferentes fases, así como de los tiempos de transición –o de amarillo- entre ellas.

Existen diversos tipos de semáforos de acuerdo al uso y mecanismo de operación de

sus controles, los cuales se mencionan a continuación (Bañón Blazquez & García Beviá, 2000):

TIPOS DE SEMÁFOROS

A) Semáforo para el control del tránsito de vehículos

- Semáforos pre sincronizados o de tiempos predeterminados:

- Semáforos accionados o activados por el tránsito
 - Totalmente accionado
 - Parcialmente accionado
 - Semáforos ajustados al tránsito

B) Semáforos para pasos peatonales

- En zonas de alto volumen peatonal
- En zonas escolares

C) Semáforos especiales

- Semáforos intermitentes
- Semáforos para regular el uso de carriles (en el caso de giros protegidos)
- Semáforos para puentes levadizos
- Semáforos para maniobras de vehículos de emergencia
- Semáforos y barreras para indicar la aproximación de trenes

Se debe efectuar previamente un estudio de las condiciones actuales del tránsito y de las características geométricas de la intersección vial urbana para determinar si se justifica la instalación de semáforos y para proporcionar los datos necesarios para el diseño y la operación apropiada de un semáforo.

Para el desarrollo de esta tesis se hace uso de los semáforos para el control de tránsito

de vehículos, los cuales ampliaremos conceptos a continuación:

D) Semáforos pre sincronizados

Un semáforo pre sincronizado es un dispositivo para el control del tránsito que regula la circulación haciendo detener y retomar el tránsito de acuerdo a una programación de tiempo determinado o a una serie de dichas programaciones establecidas.

Las características de operación de los semáforos pre sincronizados, tales como duración del ciclo, intervalo, secuencia, desfasamiento, etc. pueden ser cambiadas de acuerdo a un programa determinado.

E) Semáforos accionados por el tránsito

Un semáforo accionado por el tránsito es un aparato cuyo funcionamiento varía de acuerdo con las demandas del tránsito que registren los detectores de vehículos o peatones, los cuales suministran la información a un control maestro.

Se usan en las intersecciones donde los volúmenes de tránsito fluctúan considerablemente en forma irregular y en donde las interrupciones de la circulación deben ser mínimas en la dirección principal.

CRITERIOS PARA SEMAFORIZAR UNA INTERSECCIÓN VIAL URBANA

Los semáforos “pre sincronizados” deberían instalarse y operar solamente si se satisfacen uno o más de los criterios o condiciones siguientes:

○ **Volumen mínimo de vehículos:**

Número de carriles de circulación por acceso en ambos accesos		Vehículos por hora en la calle principal (total volumen de la calle secundaria)	Vehículos por hora en el acceso de mayor volumen (un solo sentido)
Calle principal	Calle secundaria		
1	1	500	150
2 o más	1	600	150
2 o más	2 o más	600	200
2 o más	2 o más	500	200

Tabla 33. Adaptado del Manual on Uniform Control Devices, departamento de Transporte de Estados Unidos, Administración federal de carreteras, Washington, D.C, 2000.

○ **Interrupción del tránsito continuo:**

Número de carriles de circulación por acceso en ambos accesos		Vehículos por hora en la calle principal (total en ambos accesos)	Vehículos por hora en el acceso de mayor volumen de la calle secundaria (un solo sentido)
Calle principal	Calle secundaria		
1	1	750	75
2 o más	1	900	75
2 o más	2 o más	900	100
1	2 o más	750	100

Tabla 34. Adaptado del Manual on Uniform Control Devices, departamento de Transporte de Estados Unidos, Administración federal de carreteras, Washington, D.C, 2000.

○ **Volumen mínimo de peatones.**

Se satisface esta condición, si durante cada una de las ocho horas de un día representativo en la calle principal se verifica los siguientes volúmenes de tránsito:

- Si entran 600 o más vehículos por hora en la intersección o si 1000 o más vehículos por hora entran a la intersección en la calle principal, cuando existe una faja separadora (mediana) con ancho mínimo de 1.20 metros.
- Si durante las mismas ocho horas mencionadas cruzan 50 o más peatones por

hora en el cruce de mayor volumen correspondiente a la calle principal.

○ **Movimiento o circulación progresiva.**

Se satisface el requisito correspondiente a movimiento progresivo en los dos siguientes casos:

- En calles con circulación en un solo sentido o en calles en las que prevalece la circulación en un solo sentido y en las que los semáforos adyacentes están demasiado distantes para conservar el agrupamiento compacto y las velocidades deseadas de los vehículos.

- En las calles de doble sentido de circulación, cuando los semáforos adyacentes no proveen el adecuado agrupamiento de vehículos ni el control de la velocidad y el semáforo propuesto junto con los adyacentes pueden conformar un sistema progresivo de semáforos.

APENDICE 10: SEÑALIZACIÓN

Las señales de clasificarán por su función de la siguiente manera:

- A. Los letreros reglamentarios dan aviso de las leyes o regulaciones de tránsito.
- B. Las señales de advertencia dan aviso de una situación que puede no ser fácilmente aparente.
- C. Las señales de guía muestran designaciones de rutas, destinos, direcciones, distancias, servicios, puntos de interés y otra información geográfica, recreativa o cultural.

Dejando aparte los semáforos y las indicaciones de los agentes de tránsito, pueden diferenciarse tres tipos de señales (Bañón Blazquez & García Beviá, 2000):

- Señalización vertical: Se sitúa en un plano perpendicular al eje de la vía.
- Señalización horizontal o marcas viales: Se localiza sobre la propia vía.
- Señales de balizamiento: Se encargan de encauzar o restringir el paso del flujo de vehículos.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL

La señalización vertical como dispositivo de control del tránsito debe ser utilizada de acuerdo a estudios técnicos realizados en la zona específica del proyecto. Se utilizará para poder regular el tránsito y prevenir cualquier peligro que pueda generarse por la circulación de vehículos.

Además, para informar a los usuarios de vehículos motorizados sobre rutas, destinos, lugares turísticos, lugares culturales, etc.

Las señales verticales se clasifican en:

A) Señales reguladoras o de reglamentación

Tienen por función informar al usuario de la vía de las limitaciones, prohibiciones o restricciones que rigen el uso de ella y cuya violación constituye un delito.

Las señales de reglamentación se dividen en 3:

- Señales relativas al derecho de paso.
- Señales prohibitivas o restrictivas.
- Señales de sentido de circulación.

Tienen forma circular inscripta dentro de una placa rectangular en la que también está contenida la leyenda explicativa del símbolo, con excepción de la señal de “PARE”, de forma octogonal, y de la señal "CEDA EL PASO", de la forma de un triángulo equilátero con el vértice hacia abajo.

B) Señales de prevención

Tienen por función advertir al usuario de la vía la existencia de un peligro y su respectiva naturaleza.

Tienen la forma romboidal, un cuadrado con la diagonal correspondiente en posición vertical, con excepción de las de delineación de curvas; CHEVRON, cuya forma será rectangular correspondiendo su mayor dimensión al lado vertical y las de «ZONA DE NO ADELANTAR» que tendrán forma triangular.

C) Señales de información

Tiene por objeto identificar las vías y guiar al usuario de la misma, proporcionándole la información que pueda requerir.

Las señales de información se clasifican en:

D) Señales de dirección

- a. Señales de destino
- b. Señales de destino con indicación de distancias
- c. Señales de indicación de distancias

D) Señales indicadoras de ruta

E) Señales de información general o Señales de información

- a. Señales de servicios auxiliares

Tendrán la forma rectangular con su mayor dimensión horizontal, a excepción de los indicadores de ruta y de las señales auxiliares.

SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

Denominamos marcas viales horizontales a los elementos de señalización situados en la superficie de una vía y, caso de ser urbana, en sus bordillos o cordones. Suponen un complemento a la señalización vertical y tienen como principal misión encauzar el tránsito. Las marcas viales suelen ser blancas, aunque pueden adoptar otros colores según delimiten zonas de obras (naranja), de regulación de parada de vehículos (amarillo) o de estacionamiento (azul) (Bañón Blazquez & García Beviá, 2000).

Las marcas en el pavimento se clasifican en 3 grandes grupos que se mencionarán a continuación:

A) MARCAS EN EL PAVIMENTO

- Línea central
- Línea de carril
- Marca de prohibición de alcance y paso a otro vehículo
- Línea de borde de pavimento
- Marcas de aproximación de obstáculos

- Demarcación de entradas y salidas de autopistas
- Líneas de parada
- Marcas de paso peatonal
- Aproximación de cruce a nivel con línea férrea
- Estacionamiento de vehículos
- Letras y símbolos
- Marcas para el control de uso de carriles de circulación
- Marcas en los sardineles de prohibición de estacionamiento en la vía pública

B) **MARCAS EN LOS OBSTÁCULOS**

- Obstáculos en la vía
- Obstáculos fuera de la vía

C) **DEMARCADORES REFLECTORES**

- Demarcadores de peligro
- Delineadores

APENDICE 11: SATISFACCIÓN DE MODELOS DE TRÁNSITO

1. Evaluación de distintas alternativas de solución

Con la simulación, el ingeniero puede controlar el entorno experimental y el rango de condiciones a explorar. Históricamente, los modelos de simulación de tráfico se utilizaron inicialmente para evaluar las estrategias de control de señal, y actualmente se aplican o con este propósito como un elemento integral de la actividad de investigación y desarrollo.

2. Probar nuevos diseños

Las instalaciones de transporte son inversiones costosas. La simulación se puede aplicar para cuantificar el rendimiento del tránsito en respuesta a diferentes diseños geométricos antes del compromiso de los recursos para la construcción.

3. Como elemento del proceso de diseño.

El paradigma clásico de diseño iterativo del diseño conceptual seguido del proceso recursivo de evaluación y refinamiento del diseño puede beneficiarse del uso de la simulación. Aquí, el modelo de simulación puede usarse para la evaluación; Las estadísticas detalladas proporcionadas pueden formar la base para identificar fallas y limitaciones de diseño. Estas estadísticas aumentadas con pantallas de animación pueden proporcionar información invaluable que guía al ingeniero para mejorar el diseño y continuar el proceso.

4. Incrustar en otras herramientas

Además de su uso como herramienta independiente, los submodelos de simulación pueden integrarse dentro de herramientas de software diseñadas para realizar otras funciones.

5. Formación del personal.

La simulación se puede utilizar en el contexto de un laboratorio en tiempo real para capacitar a los operadores de los Centros de gestión del tránsito. Aquí, el modelo de simulación, que está integrado con una computadora de control de tránsito en tiempo real, actúa como un sustituto para los entornos de tránsito, comunicación y vigilancia del mundo real.

6. Análisis de seguridad vial

Los modelos de simulación para "recrear" escenarios de accidentes han demostrado ser herramientas indispensables en la búsqueda para construir vehículos y carreteras más seguros.

APENDICE 12: CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN

Un modelo microscópico describe tanto las entidades del sistema como sus interacciones con un alto nivel de detalle. Por ejemplo, una maniobra de cambio de carril a este nivel podría invocar la ley de seguimiento del automóvil para el vehículo sujeto con respecto a su líder actual, luego con respecto a su líder putativo y su supuesto seguidor en el carril objetivo, así como representar a otros procesos detallados de decisión del conductor. La duración de la maniobra de cambio de carril también se puede calcular.

Un modelo mesoscópico generalmente representa a la mayoría de las entidades con un alto nivel de detalle, pero describe sus actividades e interacciones con un nivel de detalle mucho más bajo que un modelo microscópico. Por ejemplo, la maniobra de cambio de carril podría representarse para vehículos individuales como un evento instantáneo con la decisión basada, por ejemplo, en densidades relativas de carril, en lugar de interacciones detalladas del vehículo.

Un modelo macroscópico describe entidades y sus actividades e interacciones con un bajo nivel de detalle. Por ejemplo, el flujo de tráfico puede representarse de alguna manera agregada, como un histograma estadístico o mediante valores escalares de caudal, densidad y velocidad. Las maniobras de cambio de carril probablemente no estarían representadas en absoluto; el modelo puede afirmar que el flujo de tráfico se asigna adecuadamente a los carriles o emplear una aproximación para este fin.

Los modelos microscópicos de alta fidelidad y el software resultante son costosos de desarrollar, ejecutar y mantener, en relación con los modelos de baja fidelidad.

Si bien estos modelos detallados poseen el potencial de ser más precisos que sus contrapartes menos detalladas, es posible que este potencial no siempre se realice debido a la complejidad de su lógica y al mayor número de parámetros que deben calibrarse.

Los modelos de baja fidelidad son más fáciles y menos costosos de desarrollar, ejecutar y mantener. Corren el riesgo de que su representación del sistema del mundo real sea menos precisa, menos válida o quizás inadecuada. El uso de simulaciones de baja fidelidad es apropiado si:

- Los resultados no son sensibles a los detalles microscópicos.
- La escala de la aplicación no puede acomodar el mayor tiempo de ejecución del modelo microscópico.
- El tiempo de desarrollo del modelo disponible y los recursos son limitados.

Dentro de cada nivel de detalle, el proyectista tiene amplia libertad para diseñar el modelo de simulación. El proyectista debe identificar la sensibilidad del rendimiento del modelo a las características subyacentes del proceso del mundo real. Por ejemplo, si el modelo se va a usar para analizar secciones de entrecruzamiento, entonces se requeriría un tratamiento detallado de las interacciones de cambio de carril, lo que implica la necesidad de un modelo micro o mesoscópico. Por otro lado, si el modelo está diseñado para autopistas caracterizadas por una fusión limitada y sin entrecruzamiento, describir las interacciones de cambio de carril con gran detalle es de menor importancia, y un modelo macroscópico puede ser la opción adecuada.

Otra clasificación aborda los procesos representados por el modelo: Determinísticos y Estocásticos.

MODELO DETERMINÍSTICO

Un Modelo Determinístico es un modelo matemático donde las mismas entradas producirán invariablemente las mismas salidas, no contemplándose la existencia del azar ni el principio de incertidumbre. Son aquellos donde se supone que los datos se conocen con certeza, es decir, se supone que cuando el modelo sea analizado se tiene disponible toda la información necesaria para la toma de decisiones. La solución para determinadas condiciones es única y siempre la misma. En otras palabras, un modelo determinístico se construye para una condición de certeza supuesta, y el modelo

asume que solo hay un resultado posible (el cual es conocido) para cada acción o curso alternativo. La inclusión de mayor complejidad en las relaciones con una cantidad mayor de variables y elementos ajenos al modelo determinista hará posible que éste se aproxime a un modelo probabilístico o de enfoque estocástico.

MODELO ESTOCÁSTICO

La principal característica del modelo estocástico es que no se puede predecir. En estadística, y específicamente en la teoría de la probabilidad, un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. Cada una de las variables aleatorias del proceso tiene su propia función de distribución de probabilidad y, entre ellas, pueden estar correlacionadas o no. Cada variable o conjunto de variables sometidas a influencias o efectos aleatorios constituye un proceso estocástico. Es por esto, que en el análisis con un modelo estocástico los resultados siempre serán diferentes, aproximados sí en caso que los datos de entrada sean los mismos, pero nunca serán exactamente iguales. Es por esto, que estos modelos son los que tienen mayor validez, ya que las predicciones nunca serán exactas, sino que se llegan a aproximar lo máximo a la realidad.

APENDICE 13: HDM-VOC

HDM-VOC: GENERALIDADES

Los costos de construcción y mantenimiento de carreteras consumen una gran proporción de los presupuestos nacionales y provinciales pero los costos soportados por el usuario, la operación y la depreciación del vehículo son aún mayores. Por eso es importante que las políticas viales tengan en cuenta los costos totales de transporte. Esto requiere Métodos cuantitativos para predecir el rendimiento y los costos de ambos.

Para desarrollar tales funciones cuantitativas, el Banco Mundial inició un estudio en 1969 que luego se convirtió en un programa de investigación colaborativa a gran escala, con las principales instituciones de investigación y agencias viales en varios países. Este estudio de estándares de diseño y mantenimiento de carreteras (HDM) centrado en la rigurosa cuantificación empírica de las compensaciones entre los costos de construcción de carreteras, mantenimiento de carreteras y operación de vehículos, y también sobre el desarrollo de modelos de planificación que incorporen el costo total de la vida útil.

Se efectúa la simulación como base para la toma de decisiones en la carretera. Este estudio presenta los métodos y relaciones desarrolladas para la estimación de los gastos de explotación del vehículo, en función del tipo de vehículo y de las características de la carretera. Estos procedimientos se combinan en un modelo de algoritmo, HDM-VOC, para el cálculo de los costos del usuario en una variedad de carreteras y condiciones de tránsito, pero sin incluir las operaciones de tránsito congestionado. Las relaciones fueron desarrolladas a partir de experimentos controlados y extensas encuestas de usuarios en Kenia, Brasil, India y el Caribe, que en conjunto produjeron un enorme conocimiento sobre los costos de los usuarios de la carretera en tres continentes con diversas Condiciones viales y entornos económicos que se pueden adaptar a condiciones locales de otros países utilizando estimaciones de precios de vehículos locales, mano de obra y costos de reparación, utilización de vehículos y otros parámetros.

El programa HDM-VOC predice los diversos componentes de los costos operativos del vehículo basados en carreteras y vehículos característicos y costos unitarios en un entorno de tránsito de flujo libre. Los cálculos se proveen para diez tipos de vehículos que van desde autos pequeños hasta camiones articulados, y velocidad de cómputo, cantidades físicas consumidas y costos totales de operación.

DETERMINACIÓN DEL COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR. COMPARACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS

Utilizando la herramienta de HDM-VOC, se procedió al análisis de la red en estudio (tramo de 500m) desde el punto de vista del costo de operación vehicular. Dentro de los datos de carga de valores se incluyen la característica superficial de la carretera (IRI promedio, pendiente, curvatura, altitud, número de carriles), el tipo de vehículo (liviano, pesado, en donde se utilizó un auto particular de dimensiones y características estandarizadas considerando que es el vehículo que circula mayormente por la red), horas de circulación y vida útil del vehículo, costo de combustible y velocidad de circulación como parámetro obtenido de las Simulaciones y mediciones efectuadas. Los valores de costos económicos fueron consultados en el COSTOP, en su publicación de octubre del año 2016, los cuales fueron traducidos a precio dólar.

Para las condiciones actuales sin proyecto, el costo de operación vehicular es aproximadamente un 15% mayor respecto a condiciones con proyecto, con las intervenciones y soluciones propuestas, lo que representa un ahorro significativo anualmente de aproximadamente **\$50.000.000 de pesos anuales.**

Se realiza a continuación el desarrollo y análisis económico para la red Vial en Estudio.

CARACTERÍSTICAS DEL CAMINO

Page : 1		INPUT
Roadway Characteristics		
1 Surface type	Code: 1-Paved 0-Unpaved	1
2 Average roughness (IRI)	m/km	4.00
3 Average positive gradient	%	0.00
4 Average negative gradient	%	0.00
5 Proportion of uphill travel	%	0.00
6 Average horizontal curvature	deg/km	0.00
7 Average superelevation	fraction	0.00 D
8 Altitude of terrain	m	0.00
9 Effective number of lanes	Code:1-One 0-More than one	0

CARACTERÍSTICAS DEL CAMINO		
Tipo de superficie: Pavimentada		
IRI:	(*)4	m/km
Promedio de gradiente positivo:	0	%
Promedio de gradiente negativo:	0	%
Proporción de viaje en pendiente:	0	%
Promedio de curvas horizontales:	0	%/km
Peralte Promedio:	0	fraction
Altitud del Terreno:	0	m
Número de carriles efectivos:	Mayor a 1	

*Imagen 13. Características de la carretera o camino.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC*

(*) A partir de mediciones de IRI realizadas en el año 2012 por parte de la Dirección Provincial de Vialidad es que se propone un valor de IRI=4 para el análisis económico.

Mediciones de IRI

AÑO: 2012

1. Datos del Tramo

Red:	Primaria	Departamento	Fecha de medición:	Oct
Zona:	Norte	GodoyCruz	Sentido de Medición:	Ascendente
Ruta N°:	4			
Tramo:	A	Asfalto		
Carril:	1	(carril de baja velocidad)		
Progresiva de Inicio:	0.010	km		
Progresiva de fin:	4.413	km	Longitud total (km) =	4.40

2. Subdivisión de tramos homogéneos por tipo de Superficie y Estado (IRI)

Tramo N°	Pk inicial	Pk final	Long (m)	IRI MEDIO
1	10	1,000	990	3.59
2	1,000	4,413	3413	2.53

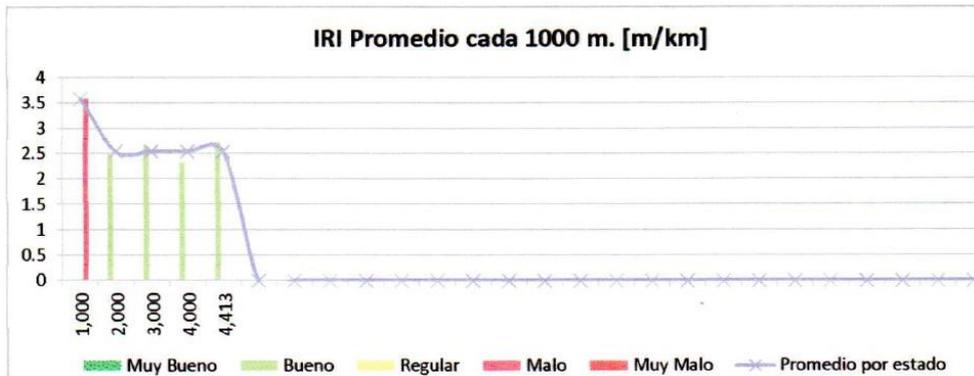


Imagen 14. Mediciones de IRI para el tramo en estudio.
Fuente: Adaptado de Información suministrada por DPV

SELECCIÓN DEL TIPO DE VEHÍCULO

```

Page : 2 | INPUT
Selection of Vehicle Type          Vehicle Type :      2
1 Small car                       (Volkswagen 1300)
2 Medium car                      (Chevrolet - Opala)
3 Large car                       (Chrysler - Dodge Dart)
4 Utility or pick-up             (Volkswagen Kombi)
5 Bus                             (Mercedes-benz 0-362)
6 Light gasoline truck           (Ford F-400)
7 Light diesel truck             (Ford F-4000)
8 Medium truck                   (Mercedes-benz w/2 axles)
9 Heavy truck                    (Mercedes-benz w/3 axles)
10 Articulated truck            (Scania 110/39)
  
```

SELECCIÓN DEL VEHÍCULO TIPO

Seleccionado Vehículo Medio

Imagen 15. Tipo de vehículo.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC

CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO

Page : 3		INPUT
Vehicle Characteristics		
1 Tare weight	kg	1200.00 D
2 Load carried	kg	0.00
3 Maximum used driving power	metric HP	70.00 D
4 Maximum used braking power	metric HP	21.00 D
5 Desired speed	km/hour	98.30 D
6 Aerodynamic drag coefficient	dimensionless	0.50 D
7 Projected frontal area	m ²	2.08 D
8 Calibrated engine speed	rpm	3000.00 D
9 Energy-efficiency factor	dimensionless	0.40 D
10 Fuel adjustment factor	dimensionless	1.16 D

CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO TIPO

Automático según Vehículo Tipo adoptado

*Imagen 16. Características estandarizadas del vehículo adoptado.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC*

CARACTERÍSTICAS DEL NEUMÁTICO SEGÚN EL VEHÍCULO TIPO

Page : 4		INPUT
Tire Wear Data		
1 Number of tires per vehicle	#	4.00 D
2 Wearable volume of rubber per tire	dm ³	0.00 D
3 Retreading cost per new tire cost	fraction	0.15 D
4 Maximum number of recaps	dimensionless	0.00 D
5 Constant term of tread wear model	dm ³ /m	0.00 D
6 Wear coefficient of tread wear model	10E-3 dm ³ /kj	0.00 D

CARACTERÍSTICAS DEL NEUMÁTICO SEGÚN EL VEHÍCULO TIPO

Automático según Vehículo Tipo adoptado

*Imagen 17. Características estandarizadas del vehículo adoptado.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC*

DATOS DE UTILIZACIÓN DEL VEHÍCULO TIPO

Page : 5		INPUT	
Vehicle Utilization Data			
1 Average annual utilization	km		20000.00
2 Average annual utilization	hours		1700.00
3 Hourly utilization ratio	fraction		0.60 D
4 Average service life	years		1.00
5 Use constant service life ?	Code: 1-Yes	0-No	1
6 Age of vehicle in kilometers	km		250000.00
7 Passengers per vehicle	#		2.00

DATOS DE UTILIZACIÓN DEL VEHÍCULO TIPO

Promedio anual de utilización:		km
Promedio anual de utilización:		hr
Proporción horaria de utilización:	0.6	
Promedio de vida en servicio:		años
Usar constante de vida de servicio?:	no	
Años de vehículo en kilómetros:	250000	km
Pasajeros por vehículo:	2	número

*Imagen 18. Datos de utilización de vehículos.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC*

COSTOS POR UNIDAD

Page : 6		INPUT
Unit Costs		
1 New vehicle price	\$	10478.00
2 Fuel cost	\$/liter	0.92
3 Lubricants cost	\$/liter	11.40
4 New Tire cost	\$/tire	50.00
5 Crew time cost	\$/hour	0.00
6 Passenger delay cost	\$/hour	4.00
7 Maintenance labor cost	\$/hour	6.00
8 Cargo delay cost	\$/hour	0.00
9 Annual interest rate	%	12.00
10 Overhead per vehicle-km	\$	0.00

COSTOS POR UNIDAD		
Precio del vehículo nuevo:	10478	U\$
Costo del combustible	0.92	U\$/litro
Costo de lubricantes	11.4	U\$/litro
Costo de neumáticos nuevos:	50	\$/neumático
Costo de tiempo proporcional:	0	\$/hr
Costo del tiempo de demora del pasajero:	4	\$/hr
Costo de mano de obra para mantenimiento:	6	\$/hr
Costo de demora de cargas:	0	\$/hr
Tasa de Interés anual:	12	%
Gastos generales por vehículo:	0	\$

*Imagen 19. Costos de lubricantes y combustibles.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC*

COEFICIENTES ADICIONALES

	Page : 7		INPUT
Additional Coefficients			
1	KP	Maintenance parts	0.31 D
2	CPo	Maintenance parts	10E-6 32.49 D
3	CPq	Maintenance parts	10E-3 13.70 D
4	QIPo	Maintenance parts	120.00 D
5	CLo	Maintenance labor	77.14 D
6	CLp	Maintenance labor	0.55 D
7	CLq	Maintenance labor	0.00 D
8	COo	Lubricants	1.55 D
9	FRATIO	UCURVE	0.27 D
10	FRATIO1	UCURVE	10E-4 0.00 D
11	ARUMAX	UROUGH	259.70 D

	Page : 8		INPUT
1	BW	UDESIR	1.00 D
2	BETA	Speed	0.27 D
3	E0	Speed	1.00 D
4	A0	Fuel	23453.00 D
5	A1	Fuel	40.60 D
6	A2	Fuel	0.01 D
7	A3	Fuel	7775.00 D
8	A4	Fuel	0.00 D
9	A5	Fuel	0.00 D
10	A6	Fuel	6552.00 D
11	A7	Fuel	0.00 D
12	NH0	Fuel	-12.00 D

COEFICIENTES ADICIONALES
Automáticos según Vehículo Tipo adoptado

*Imagen 20. Coeficientes Adicionales.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC*

OPCIONES ADICIONALES

	INPUT	
Page : 9		
Additional Options		
1 RCD Rolling resistance constant	10E-2	2.18 D
2 RSL Rolling resistance slope	10E-4	6.07 D
3 Vary engine speed for cars?	Code: 1-Yes 0-No	1.00 D
4 Specify vehicle speed?	Code: 1-Yes 0-No	1.00 D
5 Specified vehicle speed	km/hr	30.00 D

OPCIONES ADICIONALES		
Resistencia al rodamiento Constante:	Automático	
Resistencia al rodamiento por pendiente:	Automático	
Varía la velocidad de motores para autos:	si	
Especificar la velocidad de vehículo:	si	
Especificar velocidad:	30	km/h

*Imagen 21. Opciones Adicionales.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC*

Con los datos de inputs se determina el Costo Operativo Vehicular por cada 1000 vehículos y por kilómetro para una velocidad media en la red de 30Km/h (Situación sin proyecto) y para 40Km/h (Situación con proyecto).

		RESULTS
Page : 2		
Total VOC per 1000 vehicle-km	\$	829.62
Fuel	\$	72.10
Lubricants	\$	19.39
Tires	\$	2.64
Crew time	\$	0.00
Passenger time	\$	266.67
Cargo holding	\$	0.00
Maintenance labor	\$	13.99
Maintenance parts	\$	17.46
Depreciation	\$	417.40
Interest	\$	19.97
Overhead	\$	0.00

*Imagen 22. Costo de operación vehicular para velocidad 30Km/h.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC*

Page : 2		RESULTS
Total VOC per 1000 vehicle-km	\$	725.64
Fuel	\$\$	59.10
Lubricants	\$\$	19.39
Tires	\$\$	2.64
Crew time	\$\$	0.00
Passenger time	\$\$	200.00
Cargo holding	\$\$	0.00
Maintenance labor	\$\$	13.99
Maintenance parts	\$\$	17.46
Depreciation	\$\$	394.94
Interest	\$\$	18.12
Overhead	\$	0.00

Imagen 23. Costo de operación vehicular para velocidad 40Km/h.
Fuente: Elaboración propia utilizando Software HDM-VOC

La comparación y evaluación de Proyectos se realiza tomando como variable la velocidad de circulación de Vehículos en la Red, como se mencionó anteriormente, en primer lugar, en condiciones actuales sin ningún tipo de intervención y en segundo lugar en condiciones de implementación de la propuesta de solución a la Red. De esta manera se comparan los costos de operación vehicular de cada una de las condiciones.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados para poder comparar una y otra condición se realizan considerando que los valores monetarios del análisis en HDM-VOC están expresados en dólares americanos, realizando la conversión a Pesos Argentinos según el tipo de cambio en el momento de realizar este análisis:

Datos de análisis:

Cambio a pesos argentinos → 1 dólar = \$40 pesos argentinos TMDA= 40.000

Vehículos

Longitud de Red en Estudio= 0,5Km

Situación sin Proyecto

Cov (Costo de Operación Vehicular)= Usd \$829.62/1km x 1000(vehículos) x \$40 x 40.000vehículos x 365 días x 0.5 Km =

\$200.974.649 de pesos anuales de costo de operación vehicular en la red en condiciones actuales

Situación con Proyecto

Cov= Usd \$725.64/1km x 1000(vehículos) x \$40 x 40.000vehículos x 365 días x 0.5 Km=

\$153.753.596 de pesos anuales de costo de operación vehicular en la red con mejoras propuestas

APENDICE 14: CÁLCULO ESTRUCTURAL DE TRAMO DE RED VIAL EN ESTUDIO

Se procede a detallar el cálculo y criterios adoptados para el diseño estructural de la Red Vial en estudio.

Obra: R.P. N°4

Calzada Principal y Rulo de Bajada: Intersección Acc. Sur - Calle Independencia

Se adopta como método de diseño el método AASHTO`93(AASHTO, 1993), utilizando software Pas 5 que trabaja con el método.

I-Diseño de Pavimento Flexible

a-Período de vida útil: se adopta para el diseño 20 años.

b- Otros parámetros a adoptar:

Se tiene como dato el Tránsito Medio Diario al año de inicio de la obra, que es de 45063 vehículos diarios.

- Distribución por dirección $DD= 0,5$.
- Coeficiente de distribución por trocha: 0.5
- Vida útil 15 años.
- Serviciabilidad final= 2.5 (carretera Principal)
- Confiabilidad 80%
- A partir de estudios de tránsito, se obtiene la siguiente composición de tránsito:

Categoría	%
Automóvil	71.00%
Camioneta	21.00%
Camión 11	0.00%
Camión 12	6.00%
Camión 13	0.00%
Camión 111	0.00%
Camión 112	0.00%
Camión 121	0.00%
Camión 113	0.00%
Camión 122	0.00%
Camión 123	2.00%
Camión 11111	0.00%
Camión 11-11	0.00%
Camión 11-12	0.00%
Camión 12-11	0.00%
Camión 12-12	0.00%
Camión 111-11	0.00%
Sumatorias	1.00

Vehículos cargados 60%

Carga Media 40%

c-Cálculo de ejes equivalentes ESAL

Proceso en PAS 5



En menú “*Traffic*” se seleccionó “*Pavement & traffic factors*” donde se coloca el número estructural ó “**Flexible SN**”, la vida útil ó “**Design Life**”, índice de serviciabilidad ó “**Terminal Serviceability**” y la tasa de crecimiento vehicular ó

“Annual Growth Rate”. Para nuestro caso:

SN= 3,50” (adoptado, luego se verifica) Vida útil= 20 años

Serviciabilidad final= 2.5 (carretera principal)

TRAFFIC

Pavement & Traffic Factors
E 18 Determination by Axle Data
E 18 Determination by Vehicle

PAVEMENT & TRAFFIC FACTORS

Rigid Thickness:

Flexible SN: 3.50

Terminal Serviceability: 2.00

Design Life: 20.00

Annual Growth Rate: 3.00

UNITS
Inches

Cálculo de ejes cargados y ejes equivalentes ESALS

En función de los datos:

TMDA= 45063

Direccionalidad= 0,5

•FACTOR DE DISTRIBUCION POR TROCHA

Nº DE TROCHAS P/DIRECCION

FACTOR

1

1,00

2

0,80-1,00

3

0,60-0,80

4

0,50-0,75



Se adopta 0,8

DETERMINACION DE N° DE EJES PARA ANALISIS ESTRUCTURAL POR METODOLOGIA AASHTO93

CALCULO TRANSITO EN CARRIL DE DISEÑO

TMDA₀ (veh/día): 45063
 Direccionalidad: 0.5
 Factor carril: 0.8

Tránsito carril de diseño (veh/día): 18025 TMDA x Direccionalidad x Factor Carril

COMPOSICION DE TRANSITO CARGADO

% Tránsito con carga máxima Ley 24.449 (CARGADOS):

60%
40%

% Tránsito con carga entre Tara y Ley 24.449 (CARGA MEDIA):

TONELADAS POR EJE SEGÚN CONDICION DE CARGA

Categoría	VEHICULO CARGADO					VEHICULO DESCARGADO					CARGA TOTAL	
	1º eje	2º eje	3º eje	4º eje	5º eje	1º eje	2º eje	3º eje	4º eje	5º eje	CARG.	CARGA MEDIA
Automóvil	1	1				1	1				2	2
Camioneta	1	2.5				1	1				4	4
Camión 11	6	10.5				3.1	5.8				17	9
Camión 12	6	18				3.1	7.8				24	11
Camión 13	6	25.5				3.1	8.9				32	12
Camión 111	6	10.5	10.5			3.1	5.8	5.8			27	15
Camión 112	6	10.5	18			3.1	5.8	7.8			35	17
Camión 121	6	18	10.5			3.1	7.8	5.8			35	17
Camión 113	6	10.5	25.5			3.1	5.8	8.9			42	18
Camión 122	6	18	21			3.1	7.8	7.8			42	19
Camión 123	6	18	21			3.1	7.8	8.9			45	20
Camión 11111	6	9.7	9.7	9.7	9.7	3.1	5.8	5.8	5.8	5.8	45	26
Camión 11-11	6	10.5	10.5	10.5		3.1	5.8	5.8	5.8		38	21
Camión 11-12	6	10.5	10.5	18		3.1	5.8	5.8	7.8		45	23
Camión 12-11	6	18	10.5	10.5		3.1	7.8	5.8	5.8		45	23
Camión 12-12	6	14.2	10.5	14.2		3.1	7.8	5.8	7.8		45	25
Camión 111-11	6	9.7	9.7	9.7	9.7	3.1	5.8	5.8	5.8	5.8	45	26

Nota 1: Se destacan las cargas máximas por eje que han debido ser reducidas para cumplir con la carga máxima total por vehículo de 45 tn según la Ley 24.449.
 Nota 2: Los Omnibus de 2, 3 y 4 ejes se asimilan a Camión 11, poniendo el cálculo del lado de la seguridad.

Porcentaje de Vehículos

CALCULO DE EJES EN EL PRIMER AÑO POR CATEGORIA

Categoría	%	Cant.	CARG.	CARGA MEDIA	1 tn	2,5 tn	3,1 tn	5,8 tn	6,0 tn	7,8 tn	8,9 tn	9,7 tn	10,5 tn	14,2 tn	18 tn	21 tn	25,5 tn	
					2,2 kip	5,5 kip	6,8 kip	12,8 kip	13,2 kip	17,2 kip	19,6 kip	21,3 kip	23,1 kip	31,2 kip	39,6 kip	46,2 kip	56,1 kip	
1 Automóvil	71.00%	12798	7679	5119	25596													
2 Camioneta	21.00%	3785	2271	1514	5299	2271												
3 Camión 11	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Camión 12	6.00%	1082	649	433	0	0	433	0	649	433	0	0	0	0	649	0	0	0
5 Camión 13	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 Camión 111	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Camión 112	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Camión 121	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 Camión 113	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Camión 122	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 Camión 123	2.00%	361	216	144	0	0	144	0	216	144	144	0	0	0	216	0	216	0
12 Camión 11111	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13 Camión 11-11	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14 Camión 11-12	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 Camión 12-11	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 Camión 12-12	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 Camión 111-11	0.00%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sumatorias	1.00	18025			EJES POR DIA:	30895	2271	577	0	865	577	144	0	0	865	216	0	0

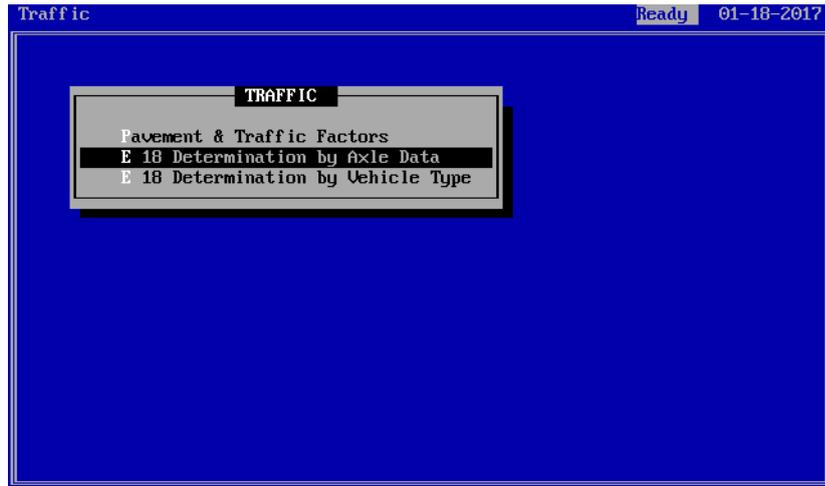
Ejes calculados para el primer año

CARGA POR EJE EN KIP:
 TIPO DE EJE:
 EJES EN EL PRIMER AÑO:

2,2 kip	5,5 kip	6,8 kip	12,8 kip	13,2 kip	17,2 kip	19,6 kip	21,3 kip	23,1 kip	31,2 kip	39,6 kip	46,2 kip	56,1 kip
1	1	1	1	1	2	3	1	1	2	2	3	3
11,276,620	828,970	210,532	0	315,798	210,532	52,633	0	0	0	315,798	78,950	0

Nota 3: Algunos resultados de sumatorias o múltiplos pueden no ser coincidentes pues por un lado se muestran redondeados y por el otro se emplean con decimales.

Una vez determinados los ejes en el primer año, se cargó en el menú “E 18 Determination by Axle Data”



Se calcularán los ejes equivalentes de 8,2 toneladas a los 20 años de vida útil, y se determina el total de todos los ejes:

↓ Datos obtenidos del punto anterior y cargados manualmente

E 18 CONVERSION FROM AXLE DATA					
Estimated:		Rigid Depth: 0.00	Structural Number: 3.50	Pt: 2.00	
	Axle Type*	Axle Weight	Number In First Year	Rigid E 18's	Flexible E 18's
1	1	2.20	11,260,980		77,919
2	1	5.50	827,820		168,070
3	1	6.80	210,240		100,902
4	1	12.80			
5	1	13.20	315,360		2,355,509
6	2	17.20	210,240		365,715
7	3	19.60	52,560		35,504
8	1	21.30			
9	1	23.10			
10	2	31.20			
UNITS					
Number Per Year			Σ	0	22,280,059

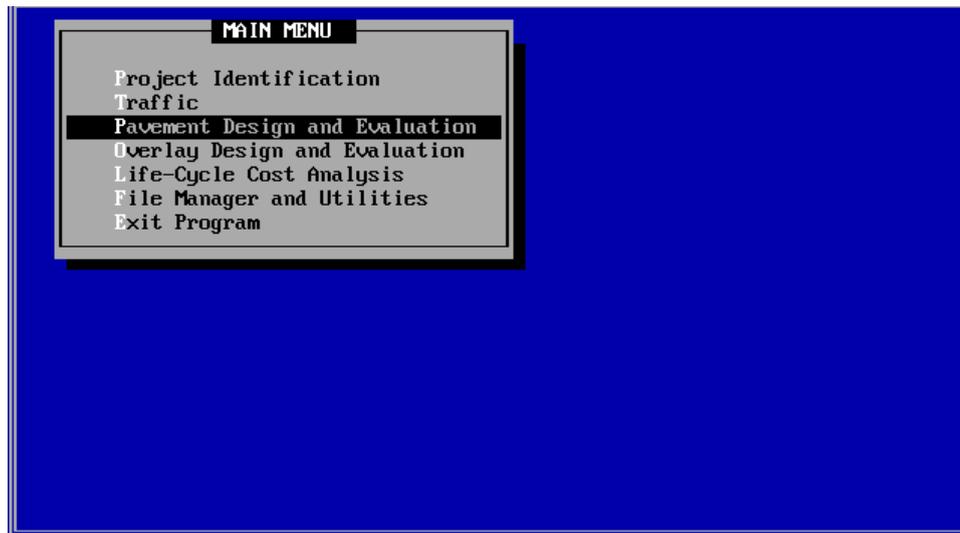
Ejes equivalentes de 18.000 libras o 8.2 toneladas a los 20 años

ESAL (ejes equivalentes) de 8.2 toneladas a los 20 años

El total en la vida útil de ejes equivalentes es de 22.280.059Esals

d) Cálculo del número Estructural SN

En el menú Diseño y Evaluación de Pavimento ó **“Pavement Design and Evaluation”**



Se seleccionó la opción de Análisis de Pavimento Flexible ó **“Flexible Pavement Analysis”**



Se colocan los datos correspondientes a Confiabilidad o “**Reliability**”, Desvío Estándar o “**Overall Deviation**”, Serviciabilidad inicial o “**Initial Serviceability**”, Serviciabilidad Final o “**Terminal Serviceability**” y Módulo Resiliente o “**Resilient Mod.**”:

Confiabilidad 80%

Help Screen for Reliability

Reliability, simply stated, is a factor of safety. Appropriate levels of reliability depend on the type of traffic and level of service provided:

FUNCTIONAL CLASSIFICATION	RECOMMENDED LEVEL OF RELIABILITY	
	Urban	Rural
Interstate/Freeways	85 - 99.9	80 - 99.9
Principal Arterials	80 - 99	75 - 95
Collectors	80 - 95	75 - 95
Local	50 - 80	50 - 80

Note: Staged construction requires an increased level of reliability.
 Where: $\text{Staged Rel.} = (\text{Recommended Rel.})^{1/n}$ (n = total number of stages)
 (ie. If Recommended Rel. is 75% then each Stage must be designed at 86.6%)

Reliability:

Valor mínimo recomendado para Autopista Rurales

Serviciabilidad inicial 4.2 (para pavimento flexible)

Help Screen for the Initial Serviceability

According to AASHTO, the serviceability of a pavement is defined as "its ability to serve the type of traffic which uses the facility." At the road test a scale was developed from 0 to 5 which represents the condition of the pavement: pavements with a rating of 5 are in perfect condition, pavements with a rating of 0 would be impossible to travel. This scale is referred to as the Present Serviceability Index or PSI. In practice, a pavement with a rating of 0 never exists and a pavement which is flawless is very rare. For comparison, the average initial PSI of rigid pavements at the road test was 4.5, versus 4.2 for flexible pavements.

5.0
 Very Good
 4.0
 Good
 3.0
 Fair
 2.0
 Poor
 1.0
 Very Poor
 0.0

(PSI Index)

Initial Serviceability:

Pavimentos Flexibles

Serviciabilidad Final 2.0 (para pavimento flexible)

Help Screen for Terminal Serviceability

Typical Minimum Terminal Serviceability (pt) values for various road and street classifications.

pt	Street or Highway Classification
2.50	Interstate and Major Highways or Arterials
2.25	Prime Secondary Routes, Industrial & Commercial Streets
2.00	Secondary Routes, Residential Streets & Parking Lots

Terminal Serviceability: 2.00

Rutas Secundaria

Desvío Estándar 0.45 (para obra nueva)

Help Screen for Overall Deviation

The Overall Deviation, or Standard Deviation as it is commonly called, is a coefficient which describes how well the AASHTO Road Test data fits the AASHTO Design Equations. In other words, the lower the overall deviation, the better your equations model your data. The following ranges are recommended by AASHTO:

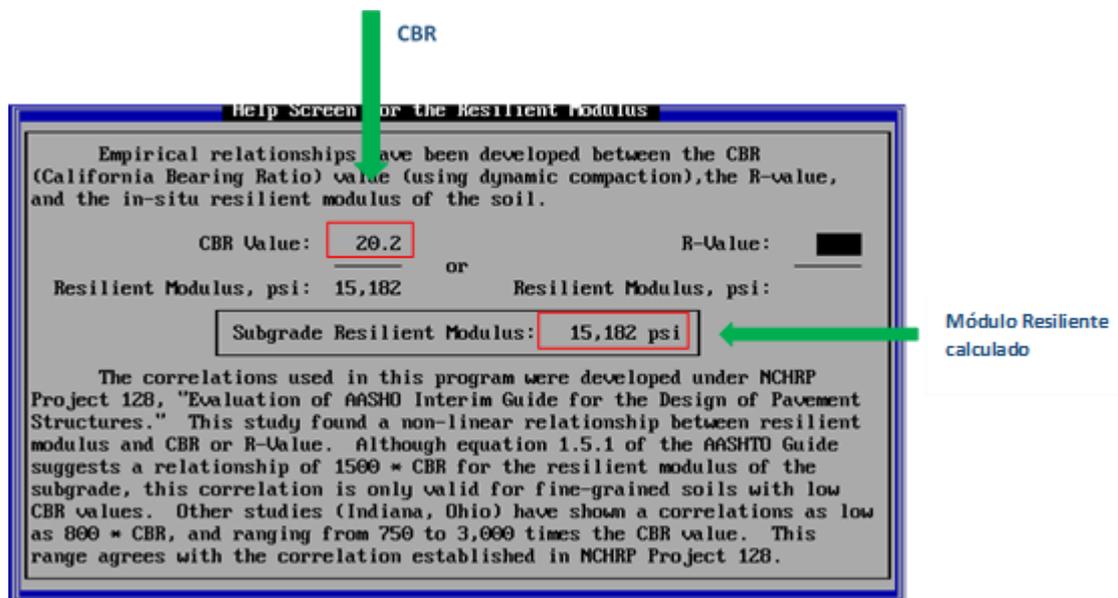
For Rigid Pavements:
0.35 New Construction
0.39 Overlays

For Flexible Pavements:
0.45 New Construction
0.49 Overlays

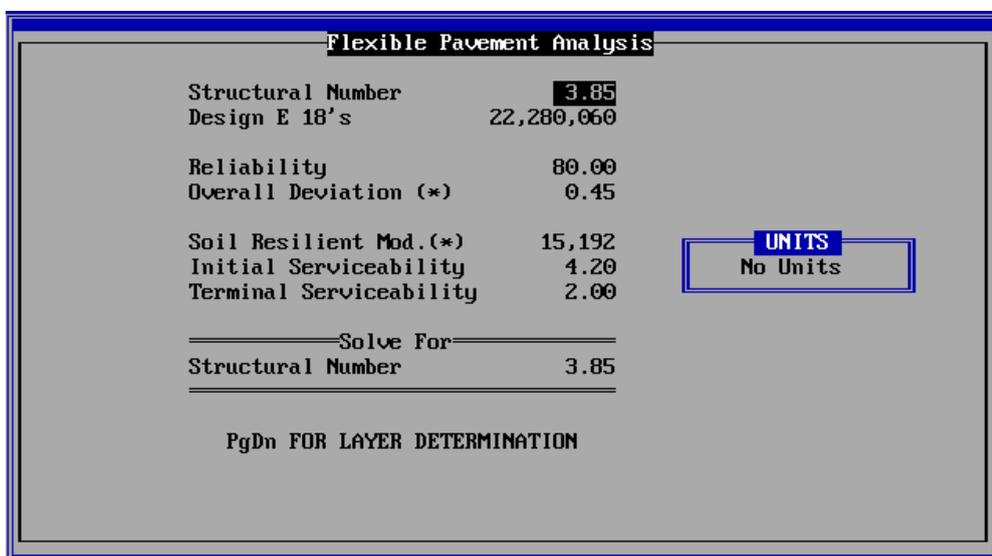
Overall Deviation: []

Obra nueva

Módulo Resiliente **15.182 psi** (presionando F1 en el programa nos suministrarán valores para cada caso, en este caso se adopta un CBR para subrasante de **20,2%**, y el programa directamente nos calcula el módulo resiliente)



Luego Presionando F9 sobre el Número Estructural, el programa calcula en base a nuestros datos el S_n necesario, en este caso $S_{Nec}=3.85$ ".



a) Cálculo del número Estructural SN en forma iterativa

El procedimiento es iterativo, por lo cual, se reemplazará el Número estructural SN adoptado de 3.50” por el nuevo SN de 3.85” obtenido.

Se obtiene un nuevo valor de **ESAL de 22,212,361 Esals**

Y se calcula nuevamente el número estructural, obteniendo un valor de 3.85 = 3.85.

En síntesis:

SE ADOPTA SN=3.85

$$SN_{ADOPTADO} = SN_{NECESARIO}$$

Estructura a adoptar:

Capa N°	Tipo de Capa	Coefficiente Estructural	Coefficiente de Drenaje	Espesores de las	Aporte estructural
1	CARPETA DE RODAMIENTO Y BASE NEGRA TIPO CONCRETO ASFÁLTICO	0.17	1.00	12	2.08
2	BASE ESTABILIZADA (VS>=60%)	0.05	0.90	20	0.92
2	SUB BASE ESTABILIZADA (VS>=60%)	0.05	0.90	20	0.92
		Snec.=	3.85	SN=	3.92

ESTRUCTURA FINAL PAVIMENTO FLEXIBLE

Conforme a los cálculos realizados, la estructura final del pavimento flexible estará conformada por las siguientes capas:

Capa N°	Tipo de Capa	Espesores de las Capas (cm)
1	CARPETA DE RODAMIENTO Y BASE NEGRA TIPO CONCRETO	12
2	BASE ESTABILIZADA (VS>=60%)	20
3	SUB BASE ESTABILIZADA (VS>=60%)	20

ANEXO A: Planillas para Censos

Como se mostró anteriormente, las planillas que se utilizaron para realizar los censos contienen el siguiente formato:

PLANILLAS DE CAMPO PARA CENSO VEHICULAR Y MANIOBRAS

Se presenta información como nombre de la Intersección, fecha, censista, coordinador del censo, el intervalo horario en el cual se desarrolla el censo

ANÁLISIS DE INTERSECCIÓN: Rodríguez Peña y Calle Venezuela				
Fecha (D.M.A): _____ de 2018		Estación de Aforo: _____		
Condición Climática: _____		Movimientos Aforados : _____		
Censista: _____		Hora de Inicio : _____		Hoja _____ de _____
Coordinador: _____		Hora Final : _____		

HORARIO	MANIOBRA	VEHICULOS	CENSO	TOTAL
		Autos y Cam		
		Ómnibus		
		Camiones		
		Autos y Cam		
		Ómnibus		
		Camiones		

Se indica un esquema de la intersección y la maniobra del vehículo a censar.

Se indica el intervalo o rango horario en el cual se desarrolla el censo, se utilizan periodos de 15min.

Se indican los tipos de vehículos a censar, en este caso Autos-camionetas, Ómnibus y Camiones.

Se completa con números o símbolos al mismo tiempo que se van observando los vehículos y maniobras

Se indican los valores totales computados, para un rápido procesamiento luego en gabinete.

PLANILLAS DE GABINETE PARA PROCESAMIENTO DE CENSO VEHICULAR Y MANIOBRAS

Se indica el intervalo horario en el cual se desarrolló el censo, se utilizan periodos de 60min.

Se indica sentido de circulación del flujo a censar

Se indica el puesto de conteo según los puntos cardinales de la Intersección

Se indican cantidades y porcentajes de incidencia de una hora de medición respecto al total horas de duración del estudio

VOLUMEN GENERAL DE TRANSITO DIARIO CON CLASIFICACION VEHICULAR

Puesto de Conteo: NORTE

HORARIO	Circulación NORTE / NORTE * DIAMANTE a LATERAL											Circulación NORTE / SUR * DIAMANTE a LATERAL											Circulación NORTE / ESTE * DIAMANTE a R. PENÁ											Circulación NORTE / OESTE * DIAMANTE a R. PENÁ											T. L. G. M.	%
	Clasificación Vehicular											Clasificación Vehicular											Clasificación Vehicular											Clasificación Vehicular												
	Vehículos Livianos		Taxis		Pasajeros		Transporte de Carga			Total	%	Vehículos Livianos		Taxis		Pasajeros		Transporte de Carga			Total	%	Vehículos Livianos		Taxis		Pasajeros		Transporte de Carga			Total	%	Vehículos Livianos		Taxis		Pasajeros		Transporte de Carga			Total	%		
Bici-cicletas	Motos	Autos	Camionetas	Linea	Otros	Chasise	Semi Re	Con	Bici-cicletas			Motos	Autos	Camionetas	Linea	Otros	Chasise	Semi Re	Con	Bici-cicletas			Motos	Autos	Camionetas	Linea	Otros	Chasise	Semi Re	Con	Bici-cicletas			Motos	Autos	Camionetas	Linea	Otros	Chasise	Semi Re	Con					
08:00 - 08:59	0	0	2	2	0	0	0	0	0	4	36,36	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	25,00	1	0	4	2	0	0	1	0	0	7	38,89	0	1	20	5	0	0	1	0	0	27	27,84	38	28,15
09:00 - 09:59	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	18,18	0	1	1	1	0	0	2	0	0	5	41,67	0	0	2	0	0	0	1	0	0	3	16,67	0	2	17	3	0	0	2	0	0	24	24,74	34	25,19
11:00 - 11:59	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	18,18	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	16,67	0	0	0	1	0	0	4	1	0	6	33,33	0	2	13	4	0	0	0	1	0	20	20,62	30	22,22
12:00 - 12:59	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	27,27	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	16,67	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	11,11	0	3	15	4	0	1	2	1	0	26	26,80	33	24,44
TOTAL	0	0	5	4	0	0	1	1	0	11	100	0	1	7	2	0	0	2	0	0	12	100	1	0	7	3	1	0	6	1	0	18	100	0	6	65	16	0	1	6	2	0	97	100	135	100
Porcentajes	0,00	0,00	40,91	36,36	0,00	0,00	9,09	9,09	0,00	100	0,00	8,33	58,33	16,67	0,00	0,00	16,67	0,00	0,00	100	5,56	0,00	38,89	16,67	5,56	0,00	33,33	5,56	0,00	100	0,00	8,20	67,01	16,42	0,00	1,03	5,15	2,06	0,00	100						

Se indican los totales de vehículos censados en las horas de duración del estudio

Se indican los tipos de vehículos a censar y a su vez, las características particulares

Se indica el total de vehículos, en ese periodo de tiempo

Representa el porcentaje de incidencia de la misma tipología de vehículo censado dentro de la duración del estudio, respecto al total de vehículos durante la misma duración.

Representa el porcentaje de incidencia de una hora de medición respecto al total horas de duración del estudio

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2011). *A Policy on geometric Design of Highways and Streets* [Libro Verde 2011 de AASHTO] (6th Edition ed.). Washington, DC
- Administrator, U. S. D. o. T. F. H. (2012). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* (2009 Edition ed.)
- Afrin, T., & Yodo, N. (2020). A Survey of Road Traffic Congestion Measures towards a Sustainable and Resilient Transportation System. *Sustainability*, 12(11), 23. doi:doi:10.3390/su12114660
- Alva, J. W. L. (2003). *Análisis de Accidentes Viales Aplicando la Ingeniería de Tránsito*. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Anderson Bomar, M. D., & Meyer, M. D. (2016). Travel Characteristics and Data. In M. D. Meyer (Ed.), *Transportation planning handbook / Institute of Transportation Engineers* (4th ed., Vol. 1, pp. 17-74). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Ashhad Verdezoto, T. Z., Cabrera Montes, F. F., & Roa Medina, O. B. (2020, julio-diciembre). ANÁLISIS DEL CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR PARA EL MEJORAMIENTO DE VÍA PRINCIPAL EN GUAYAQUIL-ECUADOR. *Gaceta Tecnica*.
- Asociación Civil, L. p. l. V. (2019). Estadística de Accidentes de Tránsito.
- ASSHTO, A. A. o. S. H. a. T. O. (2003). *User Benefit Analysis for Highways*
- Bakar, N. A. A., Adi, A. F. N., Majid, M. A., Adam, K., Younis, Y. M., & Fakhreldin, M. (2018, 18-20 Nov. 2018). *The Simulation on Vehicular Traffic Congestion Using Discrete Event Simulation (DES): A Case Study*. presented at the meeting of the 2018 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT), Sakhier, Bahrain. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/8855781> doi:10.1109/3ICT.2018.8855781
- Ballestrini Acuña, M. (2006). *Como se Elabora un Proyecto de Investigación* (Septima ed., Vol. 7): BL Consultores Asociados. doi:25219981121385
- Bañón Blazquez, L., & García Beviá, J. F. (2000). *Manual de Carreteras* (01692206)
- Blum, A. M. (1964). A general purpose digital simulator and examples of its application, Part III: Digital simulation of urban traffic. *IBM Systems Journal*, 3(1), 41-50. doi:10.1147/sj.31.0041
- Blum, A. M. (1968, JAN. 08, 1968). A General Purpose Digital Traffic Simulator *SAE International*. Symposium conducted at the meeting of the SAE International 1968 Automotive Engineering Congress and Exposition, Detroit, Michigan.
- Blum, A. M. (1970). A general purpose digital traffic simulator. *SIMULATION : Transactions of The Society for Modeling and Simulation International*, 14(1), 9-25. doi:<https://doi.org/10.1177/003754977001400105>
- Board, H. R. (1965). *Highway Capacity Manual*: Highway Research Board.
- Board, T. R. (2012). *Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating Costs*: TBR.
- Borja, M. S. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*
- Brewer, M. B. (2000). Research Design and Issues of Validity. In H. T. Reis & C. M. Judd (Eds.), *Handbook of research methods in social and personality psychology*. New York: Cambridge University Press.
- Briggs, T. (1979). A review of road traffic simulation methods using a general purpose digital computer. *The Computer Journal*, 22(1), 11-16. doi:10.1093/comjnl/22.1.11
- Brinberg, D. (1982). VALIDITY CONCEPTS IN RESEARCH: AN INTEGRATIVE

- APPROACH. In A. Mitchell (Ed.), *Advances in Consumer Research* (Vol. 09, pp. 40-44). Ann Arbor: Association for Consumer Research.
- Cambridge Systematics. (2005). *Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation* (7091.720): Federal Highway Administration Cambridge Systematics, Inc.
- Texas Transportation Institute. Retrieved from https://ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/
- Cardona, J. E., Arenas, A., González, D., & Cárdenas, M. V. (2011). Diseño de experimentos vía simulación: aplicación didáctica a un sistema de colas. In D. R. R. Medina & B. E. Á. Álvarez (Chair), *Editorial Universidad Pontificia Bolivariana*. Symposium conducted at the meeting of the II Encuentro de Investigación Formativa Ingeniería Industrial Medellín, Medellín, Colombia.
- Manual de Diseño Geométrico para vías e Intersecciones Urbanas*. (2006). Universidad de los Andes, Bogotá Colombia.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2020, December 14, 2020). *Road Traffic Injuries and Deaths—A Global Problem*. Retrieved 17/04/2021, 2021, from <https://www.cdc.gov/injury/features/global-road-safety/index.html>
- CEPAL;GTZ. (2003). *Congestión de Tránsito el Problema y cómo enfrentarlo*. Santiago de Chile: Alberto Bull. doi:1727-0413
- COLOMBIA, U. N. D., & INGENIERÍA, F. D. (2005). *PLAN INTEGRAL DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE*.
- Conceptodefinicion.de, R. (2018). *Conceptodefinicion.de*. Retrieved Consultado el 16 de julio del 2020, from <https://conceptodefinicion.de/transito/>
- Cook, T. S., & Campbell, D. T. (1979). *Design and analysis of quasi-experiments for field settings*. Chicago: Rand-McNally.
- Chile, R. d., & SECTRA, M. d. T. y. T. (2015). *Análisis Estratégico de Proyectos de Transporte Urbano, IV Etapa*.
- D'Urso, J., & Schraer, R. (2017, 22 December 2017). 10 charts that tell the story of Britain's roads. *BBC News*. Retrieved from <https://www.bbc.com/news/uk-42182497>
- Darzentas, J., Cooper, D. F., Storr, P. A., & McDowell, M. R. C. (1980). Simulation of road traffic conflicts at T-junctions. *SIMULATION : Transactions of The Society for Modeling and Simulation International*, 34(5), 155-164. doi:<https://doi.org/10.1177/003754978003400505>
- Deepak Gopalakrishna (Battelle), E. S. E., Don Vary (Wilbur Smith Associates), David Friedenfeld (Wilbur Smith Associates), Beverly Kuhn (Texas Transportation Institute), Casey Dusza (Texas Transportation Institute), Rachel Klein (Battelle), Alexandra Rosas (Battelle). (2009-2012). *INTEGRATING DEMAND MANAGEMENT INTO THE TRANSPORTATION PLANNING PROCESS: A DESK REFERENCE* (FHWA-HOP-12-035).
- Deweese, D. N. (1978). Simulations of traffic congestion in Toronto. *Journal of the Transportation Research Board*, 12(3), 153-161. doi:[https://doi.org/10.1016/0041-1647\(78\)90118-1](https://doi.org/10.1016/0041-1647(78)90118-1)
- Dirección Nacional de Vialidad, D. *Datos de Tránsito en Rutas Nacionales*. Retrieved from http://transito.vialidad.gob.ar:8080/SelCE_WEB/intro.html
- Dirección Nacional de Vialidad, D. (2010). *Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial*. Argentina
- Engineers, I. o. T., Pande, A., & Wolshon, B. (2016). *Traffic Engineering Handbook* (Seventh Edition ed.). doi:978-1-118-76228-8 (Reprinted from John Wiley & Sons)
- Essa, M., & Sayed, T. (2015). Simulated Traffic Conflicts. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2514(1), 48-57 doi:10.3141/2514-06
- Estefanny, C. A., & Maicol Fernando, P. M. (2017). *Relación del Diseño Geométrico con los Conflictos Vehiculares en Intersecciones a desnivel casos de estudio Avenida Boyacá con -Calle 80 y Calle 116*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- European Commission. (2020, 11 June 2020). *2019 road safety statistics: what is behind the figures?* Retrieved 17/04/2021, 2021, from

- https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_20_1004
- Fatfouta, N., Stal-Le Cardinal, J., & Royer, C. (2019, 5-8 AUGUST 2019). *EMPIRICAL STUDY OF CAR CRASH SIMULATION ANALYSIS WITHIN THE DEVELOPMENT PHASE*. presented at the meeting of the INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, ICED19, DELFT, THE NETHERLANDS. Retrieved from <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/3EB57AC5DF9F0BE37BE43A1DB4F9B575/S2220434219002919a.pdf/empirical-study-of-car-crash-simulation-analysis-within-the-development-phase.pdf> doi:10.1017/dsi.2019.291
- Federal Highway Administration, U. (1988). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*
- Federal Highway Administration, U. (2009). *Manual on Uniform Traffic Control Devices*
- Federal Highway Administration, U. (2015). *Advancing Innovating Intersection Safety Treatments for Two-Lane Rural Highways* (FHWA-SA-16-003): U.S. Department of Transportation. Retrieved from <https://safety.fhwa.dot.gov/intersection/conventional/unsignalized/fhwasa16003/>
- Fedesarrollo. (2013). *La integración de los sistemas de transporte urbano en Colombia: una reforma en transición*. Centro de Investigación Económica y Social, Fedesarrollo.
- Fernández Henao, S. A., Pérez Rendon, A. L., & Medina Varela, P. D. (2019). Uso integral de simulación, diseño de experimentos y KANBAN para evaluar y mejorar el rendimiento de una línea de producción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(26), 9-16. doi:<https://doi.org/10.31908/19098367.1147>
- Forum, W. E. (2012). *Sustainable Transportation Ecosystem*
- Fournier, G., Hinderer, H., Schmid, D., Seign, R., & Baumann, M. (2012). The new mobility paradigm: Transformation of value chain and business models. *Enterprise and Work Innovation Studies*, 8(8), 9 - 40. doi:<https://EconPapers.repec.org/RePEc:ieu:journl:v:8:y:2012:i:8:p:09-40>
- G. Carlier, & Santambrogio, F. (2010). *A continuous theory of traffic congestion and Wardrop equilibria*.
- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2002). *Traffic and Engineering*
- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2005). *Ingeniería de Tránsito y Carreteras*
- Garcia, E. M., Bencomo, D. J. O. V., & Esparza, M. A. R. (2015). Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. *Culcyt / Vialidad*.
- Greenshields, B. D., Bibbins, J. R., Channing, W. S., & Miller, H. H. (1935). *A Study of Traffic Capacity* (00227717).
- H., K. J., & Iris, F. (1991). *Manual of Traffic Signal Design* (2nd ed.). Englewood Cliffs New Jersey: Institute of Transportation Engineers.
- Hay, W. (1998). *Ingeniería de Transporte*. Mexico DF
- ICG, I. d. l. c. y. g. (2005). *Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas*. Lima-Perú. Retrieved from www.vchisa.com.pe
- Institute for Road Safety research (SWOV). (2020). Road deaths in the Netherlands. *Fact sheet*. Retrieved from <https://www.swov.nl/en/facts-figures/factsheet/road-deaths-netherlands>
- Insurance Information Institute, I. (2021, n.d.). *Facts + Statistics: Highway safety*. Retrieved 17/04/2021, 2021, from <https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-highway-safety>
- International Transport Forum (ITF). (2008). *TOWARDS ZERO. Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- International Transport Forum (ITF). (2016). *Zero Road Deaths and Serious Injuries. Leading a Paradigm Shift to a Safe System*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- James, B. (2018, 30 October – 1 November 2018). *Value Capture or Infrastructure Charges? A tale of two Brisbane transport infrastructure projects* presented at the meeting of the 40th Australasian Transport Research Forum, Darwin, Northern Territory,

- Australia. Retrieved from <https://www.australasiantransportresearchforum.org.au/papers/2018>
- Johnson, R. B., & Christensen, L. B. (2012). *Educational Research: Quantitative, Qualitative, and Mixed Approaches* (Fourth ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- Jones, M. (2012, n.d.). *Experimental Validity Cribsheet*. Retrieved 01/01/2012, 2012, from <http://www.indiana.edu/~clcl/Q560/>
- Juan Paul Edward, H. U. (2019). *Propuesta de Mejora Vial en la Intersección de las avenidas Miguel Grau y Gulman en la Ciudad de Piura*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Kim, B. S., Kang, B. G., Choi, S. H., & Kim, T. G. (2017). Data modeling versus simulation modeling in the big data era: case study of a greenhouse control system. *Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, 93(7), 579-594. doi:10.1177/0037549717692866
- Kiunsi, R. B. (2013). A Review of Traffic Congestion in Dar es Salaam City from the Physical Planning Perspective *Journal of Sustainable Development*, 6(2), 10. doi:<http://dx.doi.org/10.5539/jsd.v6n2p94>
- Kusumastutie, N. S., & Rusmandani, P. (2018, 27-29 November 2018). A brief review: traffic conflict techniques and the challenges of the studies in Indonesia. In R. D. Wirahadikusumah, B. Hasiholan, & P. Kusumaningrum (Chair), *MATEC Web of Conferences*. Symposium conducted at the meeting of the The 2nd Conference for Civil Engineering Research Networks (ConCERN-2 2018), Bandung, INDONESIA. Retrieved from https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/19/mateconf_concern2018_03004.pdf doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201927003004>
- Lara, M. E. G. d., Solavallone, E. P. d., Piacentini, Z. T. d., Marsonet, P., & Millán, M. F. (2002). Transporte : estructuras de Mercados y Costos. Tópicos Especiales. In: Mendoza : UNCu, 2002.
- Latina, B. d. D. d. A. (2011). *Desarrollo Urbano y Movilidad en America Latina*. doi:: If74320103001274
- Lieberman, E., & Rathi, A. K. (1997). Traffic Simulation. In N. H. Gartner, C. J. Messer, & A. Rathi (Eds.), *Transportation Research Board (TRB) Special Report 165 - "Traffic Flow Theory,"* (1st Updated ed., pp. 10-11 to 10-25). Washington, DC: Federal Highway Administration Research and Technology & Oak Ridge National Laboratory. Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/tft/> (Original work published published in 1975)
- Lieberman, E. R., Ajay K. . (1997). *Traffic Simulation*.
- LIN, D., YANG, X., & GAO, C. (2013, 13-16 August 2013). VISSIM-based Simulation Analysis on Road Network of CBD in Beijing, China. In L. Zhang, H. Wei, Y. Zhang, Z. Li, & M. Li (Chair), *Elsevier Ltd*. Symposium conducted at the meeting of the 13th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2013). Intelligent and Integrated Sustainable Multimodal Transportation Systems Shenzhen, China. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/82491986.pdf> doi:10.1016/j.sbspro.2013.08.054
- Litman, T. (2003). *Reinventing Transportation. Exploring the Paradigm Shift Needed to Reconcile Transportation and Sustainability Objectives*. Victoria, British Columbia: Victoria Transport Policy Institute
- Litman, T. (2017). *The New Traffic Safety Paradigm*. Victoria, British Columbia: Victoria Transport Policy Institute
- Litman, T., & Burwell, D. (2006). *Issues in sustainable transportation*.
- LÓPEZ, J. N. V. (2012). *La problemática del transporte público de pasajeros en la ciudad de Mendoza: Aportes al diseño de una política enfocada en la mitigación de la congestión vehicular*: Instituto de Trabajo y Producción-Universidad Nacional de Cuyo.
- MacKay, M., Elsenaar, P., Ghaffar, A., Hijar, M., Kallberg, V.-P., Linnan, M., . . . Breen, J.

- (2004). Risk factors In M. Peden, R. Scurfield, D. Sleet, D. Mohan, A. A. Hyder, E. Jarawan, & C. Mathers (Eds.), *World report on road traffic injury prevention* (1st ed., pp. 69-106). Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Mahmud, S. M. S., Ferreira, L., Hoque, M. S., & Tavassoli, A. (2019). Micro-simulation modelling for traffic safety: A review and potential application to heterogeneous traffic environment. *IATSS Research*, 43(1), 27-36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2018.07.002>
- Marcial Alfredo, M. (2014). *Análisis de operación de intersecciones en Ruta Nacional N° 12, acceso a Posadas, Argentina*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA.
- Martinez, J. C. (2010). Methodology for Conducting Discrete-Event Simulation Studies in Construction Engineering and Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(1), 3-16.
- Mauricio Mesquita, M., Christian, V., & Juan S., B. (2008). Unclogging the Arteries The Impact of Transport Costs on Latin American and Caribbean Trade Inter-American Development Bank
- Mayor, C., Rafael, James, R. S., & Grisales, C. (1994). *Ingeniería de Tránsito* (7a. Edición ed.)
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). Hoboken, NJ John Wiley & Sons, Inc.
- Motta, M. A. V. (2002). *Tránsito y Transporte Público Urbano en Brasil* (Vol. 1°Edición): Banco Interamericano de Desarrollo.
- 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.
- Muniruzzaman, S., Orvin, M., Hadiuzzaman, M., Wasif, S., & Nasrin, S. (2019). Investigating Network Efficiency Improvement Measures Using Simulation Technique in Mirpur Area *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 8(1), 8-17. doi:DOI: 10.5923/j.ijtte.20190801.02
- Norton, P. D. (2008). *Fighting Traffic. The Dawn of the Motor Age in the American City*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Norton, P. D. (2015). Four Paradigms. Traffic Safety in the Twentieth-Century United States. *Technology and Culture*, 56(2), 319-334.
- Norton, R., Bener, A., Cropper, M., Gururaj, G., Hesham, E.-S., Jacobs, G., . . . Peden, M. (2004). The global impact. In M. Peden, R. Scurfield, D. Sleet, D. Mohan, A. A. Hyder, E. Jarawan, & C. Mathers (Eds.), *World report on road traffic injury prevention* (1st ed., pp. 31-68). Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- OMS, O. M. d. I. S. (2009). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial* OMS. Retrieved from https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2009/en/ doi:978 92 4 356384 8
- Ortúzar, J. d. D., & Willumsen, L. G. (2008). *Modelos de Transporte* (Ediciones de la Universidad de Cantabria ed.). Universidad de Cantabria (Reprinted from Impreso en España)
- Oviedo-Trespalacios, O., & Peñabaena, R. P. (2015). Optimización de sistemas simulados a través de técnicas de superficie de respuesta. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 23(3). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052015000300011>
- Padilla, d. L. C., Cesar, R., Ullo, M., & Alvaro, N. (2016). *Diseño y Planeamiento de una Intersección Vial Urbana no semaforizada simulando Interacción con el área de Influencia*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Policy, C. o. U. T. E. a. (2001-2003). *Transportation Benefit-Cost Analysis*. Retrieved from www.bca.transportationeconomics.org
- Rima, J. C., Gerosi, L., & Rearte, J. (1996). El boom en la venta de automóviles, las normas de restricción de su uso particular y la construcción de infraestructura: una problemática de difícil solución. El caso de la ciudad de Buenos Aires (1990-1994). *Revista Transporte y Territorio /15*.

- Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, E. R. (2004). *Traffic Engineering* (3rd ed.). New Jersey: Pearson Education International.
- Rojas Soriano, R. (2013). *Guía para Realizar Investigaciones Sociales* (Novena a trigésima octava edición ed.)
- Rosa, D. D., & Ismael, A. J. (2018). *Análisis de Gestión de Tránsito para la mitigación del congestionamiento en la avenida circunvalación El Golf en el tramo comprendido por las avenidas Javier Prado Este y La Fontana*. Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú.
- Salazar Uribe, J. C., & Baena Zapata, A. (2009). Análisis y diseño de experimentos aplicados a estudios de simulación. *Dyna*, 76(159), 249-257.
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, L. (1997). *Metodología de la Investigación*: Mcgraw-Hill. doi:3456789012
- Secretaría de Desarrollo Social, S. (1994). Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. In *Programa de asistencia Técnica en Transporte Urbano para las ciudades Medias Mexicanas* (Vol. XII)
- Silvana, G., Dante, G., Clara, M. L., & David, D. M. (2015). *ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE CRUCE A NIVEL EN INTERSECCIONES CON ALTO NIVEL DE DEMANDA: AV. CHAMPAGNAT, MAR DEL PLATA*.
- Stanley, R. G., Coogan, M. A., Bolton, M. P., Campbell, S., Sparrow, R., & Wagner, R. F. (2003). *Emerging New Paradigms. A Guide to Fundamental Change in Local Public Transportation Organizations* (Report 97). Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- State, D. o. T. N. Y. (1979). *Manual de Diseño Vial - Distribuidores HDM Ch6 NY/79*.
- Szczerbicka, H., Trivedi, K. S., & Choudhary, P. K. (2004, 22 to 27 August 2004). Discrete Event Simulation with Application to Computer Communication Systems Performance. Introduction to Simulation. In R. Reis (Chair), *Springer Science + Business Media, Inc.* Symposium conducted at the meeting of the IFIP World Computer Congress WCC2004 Toulouse, France Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/b98987#about> doi:https://doi.org/10.1007/1-4020-8159-6_10
- Thomson, I. (2000). *Algunos Conceptos Básicos sobre las causas y soluciones del problema de la congestión de Tránsito*. Retrieved from https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31490/S0006552_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y doi:00-06-552
- Thomson, I. (2002). Impacto de las tendencias sociales, económicas y tecnológicas sobre el transporte público: investigación preliminar en ciudades de América Latina. In CEPAL (Ed.),
- Thomson, I., Pardo, V., Thomas, A., Labarthe, G., Mery, D., Diez, J. P., & Cifuentes, L. (2003). *Traffic Congestion. The Problem And How To Deal With It*. Santiago, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Transportation, M. D. o. (2000). *ROAD DESIGN MANUAL*.
- Transportation Research Board, T. (2000). *Highway Capacity Manual* (Vol. Chapter 18): Federal Highway Administrator
American Association of State Highway and Transportation Officials
- TRB, T. R. B. (2015, April, 2015). Traffic and Transportation Simulation. *Transportation Research Circular, E-C195*.
- Trochim, W., & Donnelly, J. P. (2007). *The Research Methods Knowledge Base* (3e ed.). New York: Atomic Dog Publishing. Retrieved from <http://www.socialresearchmethods.net/kb/intval.php>
- Uribe, S. (2009). Propuesta Metodológica para el Diseño de Intersecciones Urbanas. *Inventum*.
- Victor, P. M. (2016). *Diseño de Intersecciones en Vías Urbanas*. Universidad de Azuay.
- Villacreses Cabrera, J. P. (2015). *Desarrollo de un Manual de Diseño de Intersecciones a nivel para la República del Ecuador, aplicado a una Intersección en el País*.

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

- Vollebregt, T. A. I. (1996). *EXPERIMENTAL DESIGN FOR SIMULATION*. University of Canterbury, Canterbury, New Zeland. Retrieved from https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/5491/vollebregt_thesis.pdf;sequence=1
- Zadobrischi, E., Cosovanu, L.-M., & Dimian, M. (2020). Traffic Flow Density Model and Dynamic Traffic Congestion Model Simulation Based on Practice Case with Vehicle Network and System Traffic Intelligent Communication. *Symmetry*, 12(1172), 19. doi:doi:10.3390/sym12071172
- Zalazar, M. (2017). Siguen creciendo las ventas de automóviles. *Diario Los Andes, Suplemento Economía*.
- Zhu, W., Jia, L., & Zhao, L. (2010, July 6-9, 2010). Modeling and simulation of traffic flow in work zone on highway. *Curran Associates, Inc.* Symposium conducted at the meeting of the IEEE 2010 8th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA 2010), Jinan, China. Retrieved from <http://www.proceedings.com/08931.html> doi:10.1109/WCICA15920.2010