

# UCUENCA

**Universidad de Cuenca**

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

**Análisis de Factibilidad de una Turbo Rotonda dentro de  
Intersecciones de la ciudad de Cuenca-Ecuador mediante Micro  
Simulaciones**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de  
Ingeniero Civil


**Autores:**

José Francisco Machado Serrano

María Belén Zúñiga Brito

**Director:**

Juan Marcelo Avilés Ordoñez

**ORCID:**  0009-0008-8944-2188

**Cuenca - Ecuador**

2023-10-04

## Resumen

La presente investigación analiza la factibilidad para implementar un nuevo tipo de rotondas denominadas “turbo rotondas”, como alternativa para reducir congestionamientos y demoras existentes mediante micro simulación. Para ello se han elegido las intersecciones comprendidas por: Av. Pumapungo y Av. Max Uhle; Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle; Av. 24 de Mayo y Rayoloma, ubicadas en la ciudad Cuenca-Ecuador. El objetivo principal es analizar factores de funcionamiento de la intersección para compararlas con su estado actual. Éstas fueron escogidas basadas en la disponibilidad de espacio, datos de aforos y zonas de relevancia. Para la elaboración de esta propuesta se utilizó el software TRITONE para el análisis de datos mediante micro simulación además se utilizó la base de datos de aforos de intersecciones de la ciudad de Cuenca (Municipio Cuenca & Universidad de Cuenca, 2015). Este trabajo es de tipo experimental y proporciona dos tipos de turbo rotondas que se ajustan los requerimientos de cada una de las intersecciones para su posterior comparación entre el estado actual y estado con proyecto. Además, se realizó una proyección hasta el año 2040, para contrastar el comportamiento a largo plazo de la turbo rotonda y se observó que existe una favorable diferencia de resultados al aplicar esta alternativa en una intersección semaforizada y en una intersección con rotonda convencional.

*Palabras clave:* tráfico vehicular, proyección de tráfico, congestionamiento vehicular



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.  
Repositorio Institucional:

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

### Abstract

This investigation analyzes the viability of implementing a new type of roundabouts called "turbo roundabouts", as an alternative to reduce existing congestion and delays using micro simulation in the intersection's studies comprised by: Av. Pumapungo and Av. Max Uhle; Av. 24 de Mayo and Av. Max Uhle and Av. 24 de Mayo and Rayoloma, located in the city: Cuenca-Ecuador. The main objective is to analyze the level of service of a turbo roundabout and compare them with its current state in the aforementioned intersections. These were chosen based on their availability of space, capacity data and relevant areas. For the elaboration of this proposal, the TRITONE software was used for the analysis of data through micro simulation, in addition, the database of intersection capacity of the city of Cuenca (Municipio de Cuenca, 2015) was used. This work is experimental and provides two types of turbo roundabouts that adjust the requirements of each intersection for later comparison between the current state and the state with the project. In addition, a projection was made until the year 2040, to contrast the long-term behavior of the turbo roundabout. Where there is a favorable difference in results when applying this alternative in a traffic light intersection compared to a conventional roundabout.

*Keywords:* vehicular traffic, traffic projection, traffic congestion



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository:

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

**Índice de contenido**

Índice de figuras .....	8
Índice de tablas .....	13
Capítulo 1: Introducción .....	20
1.1. Antecedentes .....	20
1.2. Problemática .....	20
1.3. Justificación .....	21
1.4. Objetivos .....	22
1.4.1. Objetivo general .....	22
1.4.2. Objetivos específicos .....	22
1.5. Alcance .....	23
Capítulo 2: Marco Teórico .....	24
2.1. Aforos vehiculares .....	24
2.2. Demanda y capacidad .....	25
2.2.1. Volumen de tránsito .....	25
2.2.2. Capacidad .....	25
2.3. Relación volumen-capacidad .....	26
2.4. Tipos de Intersecciones .....	27
2.4.1. Intersecciones semaforizadas .....	27
2.4.1.1. Nivel de servicio .....	29
2.4.2. Rotondas .....	30

2.4.2.1.	Nivel de servicio:.....	32
2.5.	Turbo Rotondas .....	33
2.5.1.	Criterios de diseño .....	34
2.5.2.	Señalización .....	42
2.6.	Micro simulación .....	45
2.6.1.	TRITONE.....	45
2.6.2.	Modelo Nagel – Schreckenberg .....	46
2.6.3.	Tamaño de la muestra .....	48
2.6.4.	Parámetros evaluados en la intersección.....	50
2.7.	Zona de entrecruzamiento .....	51
2.7.1.	Tipo A.....	52
2.7.2.	Tipo B.....	53
2.7.3.	Tipo C.....	54
2.7.4.	Efectos de la zona de configuración.....	55
2.7.5.	Longitud de entrecruzamiento .....	55
2.7.6.	Ancho del segmento de entrecruzamiento .....	56
2.7.7.	Tipos de operaciones .....	56
2.8.	Proyección de tráfico .....	57
Capítulo 3:	Metodología .....	59
3.1.	Zonas de estudio. ....	59
3.1.1.	Av. Pumapungo y Av. Max Uhle ( <i>Pum_Mx</i> ). ....	60

3.1.2.	Av. 24 De Mayo y Av. Max Uhle (24My_Mx).....	68
3.1.3.	Av. 24 de Mayo y Rayoloma (24My_Ry) .....	72
3.2.	Tipo de bloque turbo rotonda.....	77
3.3.	Vehículo de diseño. ....	77
3.4.	Turbo bloque.....	79
3.5.	Otros elementos de la Turbo Ronda. ....	83
3.5.1.	Isla Central. ....	83
3.5.2.	Accesos de entrada:.....	85
3.5.3.	Divisores de carril montables elevados .....	85
3.6.	Aplicación de Micro simulación utilizando el software TRITONE .....	87
3.6.1.	Calibración y validación de modelos .....	87
3.6.1.	Fotografías aéreas. ....	88
3.6.2.	Distribución de Nodos y enlaces. ....	88
3.6.3.	Configuración de parámetros para enlaces.....	89
3.6.4.	Modelación de la fase semafórica.....	89
3.6.5.	Parámetros y Modelo de micro simulación.....	91
3.6.6.	Flota de vehículos. ....	92
3.6.8.	Tamaño de muestra. ....	92
Capítulo 4: Resultados y Discusión.....		93
4.1.	Intersección Av. Pumapungo y Av. Max Uhle .....	94
4.2.	Intersección Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle .....	100

4.3. Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma .....	107
4.4. Proyección de tráfico .....	114
4.4.1. Proyección de la intersección Av. Pumapungo y Av. Max Uhle: .....	115
4.4.2. Proyección de la intersección Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle.....	123
4.4.3. Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma .....	130
4.5. Limitaciones del proyecto.....	138
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones .....	139
5.1. Conclusiones .....	139
5.2. Recomendaciones .....	141
Referencias .....	143
Anexos: .....	151

## Índice de figuras

Ilustración 1 Intersección semaforizada (Robinson, 2000) .....	27
Ilustración 2 Puntos de conflicto en intersecciones semaforizadas. (Robinson, 2000) .....	29
Ilustración 3: Rotonda convencional típica, (HCM, 2010) .....	30
Ilustración 4 Puntos de conflicto en rotondas, (Valenzuela, 2017) .....	32
Ilustración 5 Diseño estándar de Turbo Rotonda, (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009) .....	34
Ilustración 6 Características de una turbo rotonda, (Transoft Solutions, 2019).....	35
Ilustración 7 Movimientos dentro de una turbo rotonda, (Granà, 2014) .....	36
Ilustración 8 Puntos de conflicto de una rotonda convencional y una turbo rotonda, (Transoft Solutions, 2019).....	37
Ilustración 9 Tipos de turbo rotondas, Tipo: Ovoide, Básico y Espiral, (Valenzuela, 2017)..	38
Ilustración 10 Tipos de turbo rotondas, Tipo: Rótula y Rotor, (Valenzuela, 2017) .....	39
Ilustración 11 Tipos de turbo rotonda, Tipo: Estrella, (Valenzuela, 2017) .....	40
Ilustración 12 Concepto esquemático y geométrico de una turbo rotonda, (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2016) .....	41
Ilustración 13: Detalle del desplazamiento en el centro de la turbo rotonda, (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009)Criterios operacionales .....	41
Ilustración 14 Circulación gráfica de una turbo rotonda, (Valenzuela, 2017) .....	42
Ilustración 15 Señalización usada en los accesos de entrada de una turbo rotonda, (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009) .....	43
Ilustración 16 Señalización acerca de los carriles en una turbo rotonda (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009) .....	44
Ilustración 17 Iluminación de una turbo rotonda, (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009) .....	44
Ilustración 18 Formación de una zona de entrecruzamiento, (HCM, 2000) .....	51
Ilustración 19 Zona de entrecruzamiento Tipo A, (HCM, 2000) .....	52



Ilustración 20 Zona Tipo A con rampa, (HCM, 2000) .....	53
Ilustración 21 Segmentos de Zona Tipo B, (HCM, 2000) .....	53
Ilustración 22 Tipos de segmentos Tipo C, (HCM, 2000) .....	54
Ilustración 23 Longitud del segmento de entrecruzamiento, (HCM, 2000).....	56
Ilustración 24 Intersecciones de estudio seleccionadas .....	59
Ilustración 25 Intersección Av. Pumapungo y Av. Max Uhle (Pum_Mx).....	60
Ilustración 26: Representación gráfica de matriz (O/D) para la hora de máxima demanda de la intersección (Pum_Mx). Elaborado por Machado & Zúñiga. ....	65
Ilustración 27 Maniobras permitidas para cada fase en la intersección de Av. Pumapungo y Max Uhle.....	67
Ilustración 28 Intersección Av. 24 de Mayo y Max Uhle (24My_Mx).....	68
Ilustración 29: Representación gráfica de matriz (O/D) para la hora de máxima demanda de la intersección (24My_Mx). ....	71
Ilustración 30 Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma (24My_Ry). ....	72
Ilustración 31: Representación gráfica de matriz (O/D) para la hora de máxima demanda de la intersección (24My_Ry).....	76
Ilustración 32 vehículo de diseño (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017). ....	78
Ilustración 33 desplazamiento de arcos (CROW, 2008) .....	79
Ilustración 34 Turbo Bloque de acuerdo a la normativa alemana. (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017).....	80
Ilustración 35 Sección transversal del Turbo bloque según la normativa holandesa (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017) .....	80
Ilustración 36 Diseño del turbo bloque y carriles de circulación (Salwan, Easa, Raju, & Arkatkar, 2021) .....	82
Ilustración 37 Geometría de turbo rotonda tipo Rodilla, (Salwan, Easa, Raju, & Arkatkar, 2021) .....	82

Ilustración 38 bahía central con inicio recto y en espiral. (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017) .....	84
Ilustración 39 Sección transversal de divisor de carril montable elevado (Fortuijn, 2009) ...	86
Ilustración 40 comienzo transitable en los divisores de carril montables elevados (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017) .....	86
Ilustración 41 recorrido de entrada hacia el carril de circulación central (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017).....	87
Ilustración 42 valores de los parámetros para la modelación de la fase semafórica de la intersección: Pumapungo y Max Uhle. ....	91
Ilustración 43 Parámetros de simulación.....	92
Ilustración 44 Turbo Rotonda de la intersección Av. Pumapungo y Max Uhle con sus maniobras permitidas.....	95
Ilustración 45 Demora promedio por vehículo en la intersección (Pum_Mx), .....	97
Ilustración 46: Tiempo total gastado en la intersección (Pum_Mx), Fuente: propia .....	97
Ilustración 47: Longitud de colas de vehículos en la intersección (Pum_Mx),, Fuente: propia .....	98
Ilustración 48: Emisiones de CO2 en la intersección (Pum_Mx), Fuente: propia.....	98
Ilustración 49: DRAC promedio por vehículos en la intersección (Pum_Mx), Fuente: propia. ....	99
Ilustración 50 Comparación de resultados, Con Proyecto vs sin Proyecto (Pum_Mx).....	99
Ilustración 51 Turbo Rotonda de la intersección Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle con sus maniobras permitidas.....	101
Ilustración 52: Tiempo promedio gastado en la intersección (24My_Mx), Fuente: propia..	103
Ilustración 53: Demoras promedio por vehículo en la intersección (24My_Mx), Fuente: propia.....	103
Ilustración 54: Tiempo total promedio empleado en la intersección (24My_Mx , Fuente: propia.....	104

Ilustración 55: Longitud de cola de vehículos en la intersección (24My\_Mx), Fuente: propia.  
 ..... 104

Ilustración 56: Emisiones de CO2 en la intersección (24My\_Mx), Fuente: propia. .... 105

Ilustración 57: DRAC promedio en la intersección (24My\_Mx), Fuente: propia. .... 105

Ilustración 58: Comparación, Con Proyecto vs. Sin Proyecto de la intersección (24My\_Mx)  
 ..... 106

Ilustración 59 Turbo Rotonda de la intersección Av. 24 de Mayo y Av. Rayoloma con sus  
 maniobras permitidas..... 108

Ilustración 60: Tiempo promedio gastado en la intersección (24My\_Ry), Fuente: propia. . 110

Ilustración 61: Demoras promedio por vehículo en la intersección (24My\_Ry)..... 111

Ilustración 62: Tiempo total promedio empleado en la intersección (24My\_Ry), Fuente:  
 propia..... 111

Ilustración 63: Longitud de colas de vehículos en la intersección (24My\_Ry), Fuente: propia.  
 ..... 112

Ilustración 64: Emisiones de CO2 de la intersección (24My\_Ry), Fuente: propia. .... 112

Ilustración 65: DRAC de la intersección (24My\_Ry), Fuente: propia. .... 113

Ilustración 66: Comparación entre el estado Sin proyecto y Con Proyecto (24My\_Ry)..... 113

Ilustración 67 Comparación Sin Proyecto vs Con Proyecto 2015-2020 (Pum\_Mx)..... 115

*Ilustración 68 Comparación entre Sin Proyecto y Con proyecto para el 2020-2025  
 (Pum\_Mx).*..... 116

Ilustración 69 Comparación entre Sin Proyecto y Con Proyecto para 2025-2030 (Pum\_Mx)  
 ..... 117

Ilustración 70 Comparación entre sin proyecto y con proyecto para 2030-2035 (Pum\_Mx)  
 ..... 118

Ilustración 71 Comparación entre el estado sin proyecto y con proyecto para 2035-2040  
 (Pum\_Mx. .... 119

Ilustración 72 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para 2015-2020 (24My_Mx).....	123
Ilustración 73 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para 2020-2025 (24My_Mx),.....	124
Ilustración 74 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2025-2030 (24My_Mx).....	125
Ilustración 75 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2030-2035 (24My_Mx).....	126
<i>Ilustración 76 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2035-2040 (24My_Mx).....</i>	<i>126</i>
<i>Ilustración 77 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2015-2020 (24My_Ry).....</i>	<i>130</i>
Ilustración 78 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2020-2025 (24My_Ry).....	131
Ilustración 79 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2025-2030 (24My_Ry).....	132
Ilustración 80 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2030-2035 (24My_Ry).....	133
<i>Ilustración 81 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2035-2040 (24My_Ry).....</i>	<i>134</i>

**Índice de tablas**

<i>Tabla 1: Niveles de servicio, (HCM, 2000)</i> .....	29
<i>Tabla 2: Niveles de servicio para rotondas, (HCM, 2010).</i> .....	32
<i>Tabla 3: Valores de K correspondientes al nivel de confianza, (Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito)</i> .....	49
<i>Tabla 4 Tasas de crecimiento, (MTO, 2003)</i> .....	58
<i>Tabla 5 Resumen del conteo de tráfico horario de la intersección. (Municipio Cuenca &amp; Universidad de Cuenca, 2015)</i> .....	62
<i>Tabla 6 Matriz (O/D) de la intersección (Pum_Mx) para la hora de máxima demanda. Elaborado por Machado &amp; Zúñiga</i> .....	64
<i>Tabla 7 Tiempo de fase semafórica de la intersección Av. Pumapungo y Max Uhle. Elaborado por Machado &amp; Zúñiga</i> .....	66
<i>Tabla 8 Resumen del conteo de tráfico horario de la intersección (24My_Mx). (Municipio Cuenca &amp; Universidad de Cuenca, 2015)</i> .....	69
<i>Tabla 9: Tabla Matriz (O/D) de la intersección (24My_Mx) para la hora de máxima demanda</i> .....	70
<i>Tabla 10 Resumen del conteo de tráfico horario de la intersección (24My_Ry). (Municipio Cuenca &amp; Universidad de Cuenca, 2015)</i> .....	73
<i>Tabla 11: Tabla Matriz (O/D) de la intersección (24My_Ry) para la hora de máxima demanda. Elaborado por Machado &amp; Zúñiga</i> .....	74
<i>Tabla 12: dimensiones de vehículo de diseño con semirremolque de Holanda, Croacia, Alemania y Serbia. (Džambas, Ahac, &amp; Dragčević, 2017)</i> .....	78
<i>Tabla 13 : Plantillas de Turbo Bloques (Džambas, Ahac, &amp; Dragčević, 2017)</i> .....	80
<i>Tabla 14: Parámetros utilizados para el diseño geométrico de turbo rotonda tipo rodilla. ...</i>	83
<i>Tabla 15: Valores de cada parámetro para la configuración de los enlaces.</i> .....	89
<i>Tabla 16 Estado con proyecto Pumapungo y Max Uhle.</i> .....	96
<i>Tabla 17: Estado con proyecto Pumapungo y Max Uhle</i> .....	96

<i>Tabla 18 Nivel de servicio intersección Pumapungo y Max Uhle.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 19 Estado con proyecto de la Intersección Av. 24 de Mayo y Max Uhle. ....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 20: Estado con proyecto de la Intersección Av. 24 de Mayo y Max Uhle. ....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 21: Nivel de servicio intersección 24 de Mayo y Max Uhle .....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 22 Estado con proyecto de la Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma. ....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 23: Estado con proyecto de la Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma. ....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 24 nivel de servicio de la intersección 24 de Mayo y Rayoloma .....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 25: Datos obtenidos para la proyección de tráfico para 2015-2020 (Pum_Mx).....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 26: Datos promedio obtenidos en la intersección para la proyección del 2020-2025 (Pum_Mx). ....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 27: Datos promedio obtenidos para el período 2025-2030 (Pum_Mx).....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 28: Datos promedio obtenidos para el período 2030-2035 (Pum_Mx).....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 29: Datos promedio obtenidos para el período 2035-2040 (Pum_Mx).....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 30 : Comparación entre estado actual 2015 y estado con proyecto 2040 para la intersección Av. Pumapungo y Av. Max Uhle,.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 31: Datos promedio obtenidos para 2015-2020 (24My_Mx). ....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 32: Datos promedio obtenidos para 2020-2025 (24My_Mx). ....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 33: Datos promedio obtenidos para el período 2025-2030 (24My_Mx). ....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 34: Datos promedio obtenidos para 2030-2035 (24My_Mx). ....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 35: Datos promedio obtenidos para 2035-2040 (24My_Mx) .....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 36: Comparación entre porcentajes obtenidos para el 2015 y para el 2040 en la intersección comprendida por Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle).....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 37 Datos promedio obtenidos para 2015-2020 (24My_Ry).....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 38 Datos promedio obtenidos para 2020-2025 (24My_Ry).....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 39: Datos promedio obtenidos para 2025-2030 (24My_Ry) .....</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 40: Datos promedio obtenidos para 2030-2035 (24My_Ry) .....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 41: Datos promedio obtenidos para 2035-2040 (24My_Ry) .....</i>	<i>133</i>

*. Tabla 42: Comparación entre porcentajes obtenidos en el 2015 y 2040 para la intersección  
comprendida por Av. 24 de Mayo y Rayoloma ..... 134*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a la vida y al Universo, a Dios, por permitirme alcanzar mi sueño, a mi familia, mis padres: Nancy y José por todo el apoyo, a mis hermanos: José Pablo, Juan Sebastián y Gabriela, por ser un pilar fundamental en mi vida.

También a mi amada Universidad de Cuenca y a mis profesores, por toda la paciencia, el apoyo, enseñanzas, ya que, sin su colaboración, la culminación de este sueño no hubiera sido posible. Además, a mi estimado director de titulación, Ing. Juan Avilés, por su guía y dedicación en el transcurso de la carrera y de este trabajo, por su motivación a ser mejores e ir con miras a un futuro más brillante.

Agradezco de manera muy especial a mi colega, amigo y compañero, José Machado, no solo por la realización de este trabajo de titulación en conjunto, sino también por una carrera entera de años de amistad, por cumplir nuestro sueño juntos y por muchos proyectos que seguiremos compartiendo.

De manera especial agradezco a mis amigos, por su apoyo, anécdotas, enseñanzas, cada caída y también por su brazo amigo para sostener en tiempos grises, así como también por brindar numerosas alegrías durante todos estos años. Son sin duda el regalo más preciado que puede brindar esta etapa de la vida.

**María Belén Zúñiga Brito.**



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Universo, el cual, en su vasto e infinito espacio y tiempo, con un resultado aleatorio de circunstancias incomprensibles, hace que me encuentre en este minúsculo instante formando parte de una sociedad, con el único objetivo de: “ser más, para servir mejor”.

Agradezco también a mi director, al Ing. Juan Avilés, cuya experticia fue invaluable para la formulación de las preguntas de investigación y metodología. Sus comentarios perspicaces impulsaron a agudizar mi pensamiento y llevaron este trabajo de titulación a un nivel superior.

Agradezco a la Universidad de Cuenca y especialmente a la Facultad de Ingeniería por acogerme en sus instalaciones durante estos años de formación.

Agradezco a los mejores profesores, por su altruismo para impartir su conocimiento y experiencia. De la misma manera, a los peores profesores, por motivarme a ser un mejor profesional, muchas gracias.

A mi compañera Belén, porque sin el equipo que formamos, no habiéramos logrado esta meta, gracias por esa amistad de años y siempre confiar en mi para trabajar juntos.

A todos mis amigos, colegas y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

**José Francisco Machado Serrano**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres: Nancy y José, quiénes me enseñaron que a pesar de las tormentas y obstáculos que se puedan presentar, al final siempre existirá un arcoíris, en este caso, una meta alcanzada.

A mis hermanos: José Pablo y Juan Sebastián, para que tengan la convicción de que no existe impedimento tan grande para lograr lo que desean y que el lograr sus sueños siempre será posible con esfuerzo y dedicación. A mi hermana, Gabriela, quien además de ser una hermana, ha sido mi mejor amiga, mi aliada y confidente, esto es para ti, para que sigas cumpliendo tus sueños siempre.

A mi colega, amigo y tío, José Pablo, siempre compartimos la misma pasión y aunque no estés presente, mis logros serán los tuyos para toda la eternidad.

A mi familia, por su confianza brindada, mi éxito siempre será el suyo también.

Finalmente, a mis amigos, su amistad, apoyo y compañerismo, así como cada anécdota vivida quedará grabada en mi corazón en cada paso que dé en esta etapa profesional, confiando en que seguiremos llevando la misma calidad de personas a este nuevo camino.

Que solo el cielo sea el límite para alcanzar nuestros sueños...

**María Belén Zúñiga Brito**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Francisco y Lorena, quienes, con su paciencia y amor incondicional me han apoyado en cada decisión que he tomado en el transcurso de esta carrera. Gracias por inculcar en mi ese sentimiento de superación y servicio al prójimo sin interés.

A mis hermanas Anais y Maite quienes han sido el motor principal para salir de los momentos más difíciles y las que han sido cómplices de momentos increíbles en mi vida.

A mis primos, tíos, abuelos que, sin dudar, están y estarían orgullosos de mis logros alcanzados.

A mi Abuela Fili, quien, entre regaños y consejos nunca dejo de darme ese apoyo y amor incondicional, a la cual admiro por su devoción y amor totalmente desinteresado.

A la memoria de mi querido tío Abel, quien, desde el primer día me llamaba ingeniero solo para motivarme a serlo, desde lo alto puedo gritarlo que al fin lo soy.

**José Francisco Machado Serrano**

## Capítulo 1: Introducción

### 1.1. Antecedentes

El transporte se considera uno de los pilares fundamentales para el desarrollo global de la sociedad ya que garantiza la movilidad de los ciudadanos y por ende favorece a la economía del lugar, esto ha provocado que exista un incremento tanto en el parque automotor como en obras viales, sin embargo, también trae consigo problemas en las ciudades, como el congestionamiento vehicular.

El congestionamiento vehicular corresponde un grave problema y usualmente va de la mano con diseño ineficiente, falta de planificación, falta de educación vial, entre otros, sus consecuencias derivan en incrementos en tiempos de demora e incomodidad en los usuarios, así como también incrementando la contaminación hacia el medio ambiente.

Producto de la búsqueda de soluciones para la congestión, se buscan nuevas estructuras que optimicen el uso del espacio existente, teniendo como una de las alternativas la implementación de una turbo rotonda, el presente trabajo, estudia la factibilidad de aplicación en nuestro medio de esta infraestructura, cuya principal virtud es manejar de manera más eficiente los grandes flujos que se generan en estas intersecciones, para lograr demostrar la eficiencia o no de esta, se lo hará con la ayuda de micro simulación para analizar el modelo más adecuado a implementarse.

### 1.2. Problemática

Cuenca al ser la tercera ciudad más importante del país, sufre de esta problemática en distintas intersecciones de la ciudad, como lo menciona un proyecto de la investigación académica Llactalab, (Llactalab, 2018) el sector automotor crece

cuatro veces más rápido que la población, con una tasa de crecimiento entre el 8 – 10% (EMOV, 2017) lo cual generará un colapso vial en el futuro si no se toma medidas alternas para este problema. El alto incremento del sector automotor es una de las problemáticas en el desarrollo de la sociedad, en Ecuador en el período 2009-2019 se incrementó en 1,439,572 vehículos, lo que representa un incremento vehicular del 9.3% anual (INEC, 2020) Este problema genera la búsqueda de nuevas soluciones para mejorar el flujo vehicular en las intersecciones, las cuales son los puntos de mayor conflicto de tránsito en una ciudad. (Llactalab, 2018)

Entre las causas que han motivado a realizar este estudio, es el nivel actual de servicio de las intersecciones comprendidas por: Av. Pumapungo y Av. Max Uhle (Pum\_Mx), Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle (24My\_Mx) y Av. 24 de Mayo y Rayoloma (24My\_Ry), que según estudios realizados (Municipio de Cuenca, 2015) se encuentran con un nivel de servicio (NS) F, lo que significa que la intersección se encuentra colapsada. Esto conlleva a plantearse diferentes alternativas para solucionar dicha problemática, teniendo en cuenta estudios realizados en diferentes partes del mundo.

De acuerdo a la evaluación realizada para el plan de movilidad (Municipio de Cuenca, 2015). Estas intersecciones se encuentran con problemas de congestión vehicular, mayormente en horas pico, de ahí la importancia de esta investigación con el fin de mejorar su funcionalidad y verificar si la alternativa seleccionada brindará la mejora en el NS.

### **1.3. Justificación**

La Turbo Rotonda gracias a su diseño ofrece distintos beneficios, los cuáles se espera que podrán brindar una solución al problema encontrado en las

intersecciones de estudio, entre ellos: seguridad a los usuarios, eficiencia al momento de la conducción y reduce los puntos de conflicto y los tiempos de demora, para mejorar así el nivel de servicio de las intersecciones seleccionadas. Por lo anteriormente mencionado en esta investigación se propone utilizar un diferente tipo de rotonda desarrollada en 1996 por el profesor Fortuijn, en los Países Bajos, denominadas Turbo Rotondas, las cuales recientemente se han vuelto populares en países de Europa e incluso EEUU, por sus significativas ventajas, su geometría en espiral y sus carriles divididos los cuales proveen un alto nivel de seguridad mientras se mantiene una alta capacidad de flujo, garantizando un número reducido de puntos de conflicto, sin agitar o reducir la velocidad de conducción a través de la intersección. (Fortuijn, 2009)

Las tres intersecciones de estudio se encuentran en la ciudad de Cuenca, y son: intersección semafórica comprendida Pum\_Mx, y dos rotondas convencionales comprendidas por la 24My\_Mx y A 24My\_Ry.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Como objetivo general se tiene: Diseñar una Turbo Ronda como alternativa para mejorar el nivel de servicio en las intersecciones: Av. Pumapungo y Av. Max Uhle, Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle y Av. 24 de Mayo y Rayoloma.

De acuerdo a la evaluación realizada para el plan de movilidad

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Realizar marco teórico con información acerca de Turbo Rotondas, incluyendo ventajas y desventajas de la misma.

- Realizar la calibración del estado actual de la intersección mediante el procesamiento de datos brindados del estudio de tránsito. (Municipio de Cuenca, 2015)
- Generar un diseño geométrico de turbo rotondas que se ajuste a cada una de las intersecciones de estudio.
- Generar micro simulaciones de tráfico del estado actual y con proyecto con el fin de obtener los siguientes parámetros: tiempo gastado, demora, tiempo total, colas, CO<sub>2</sub>, y DRAC.
- Comparar los parámetros obtenidos mediante micro simulación y los datos originales para verificar si existe una mejora en el nivel de servicio.

### **1.5. Alcance**

Este proyecto analiza la factibilidad de implementación de turbo rotondas para las intersecciones comprendidas por: Pum\_Mx, 24My\_Mx y 24My\_Ry, ubicadas dentro de la ciudad de Cuenca-Ecuador por medio de micro simulación, utilizando el software TRITONE. Para conseguir este objetivo se diseña una turbo rotonda que se ajusten al tráfico de cada intersección y se realiza una comparativa con el estado actual y con proyecto para definir su factibilidad en función de los siguientes parámetros: tiempo gastado, demora, tiempo total, colas, CO<sub>2</sub>, y DRAC.

## Capítulo 2: Marco Teórico

### 2.1. Aforos vehiculares

El transporte ha traído consigo una mayor libertad de movimiento y comodidad, sin embargo, también existen ciertas problemáticas relacionadas con el transporte, debido a las limitaciones humanas existentes en el libre tránsito. Por ello es primordial para desarrollo de una movilidad adecuada que el desplazamiento cumpla con ser seguro y eficiente. Para lograr dicho objetivo es importante conocer el estado actual de la vía y realizar estudios volumétricos de tráfico, donde se incluyen los aforos vehiculares.

Los estudios sobre volúmenes vehiculares tienen como finalidad, levantar datos relacionados con los movimientos vehiculares, dentro de puntos o secciones específicas del sistema vial (Cal y Mayor & Cárdenas, 1972) Esto es básico para la evaluación del movimiento de tránsito, debido a que proporciona una escala de comparación mostrando la importancia relativa a las distintas obras de planificación y diseño de carreteras (González & Noé, 2001)

Según (Cal y Mayor & Cárdenas, 1972) existen algunos tipos de aforos, dependiendo del objetivo de estudio que se desea abordar, entre ellos están métodos manuales y mecánicos. Los métodos manuales se emplean para obtener datos de volúmenes de tránsito a través del uso de personal de campo conocidos como aforadores de tránsito, el cual es el método más común empleado (González & Noé, 2001)

Es importante tener en cuenta que los aforos se deben realizar en horarios de máxima demanda a su vez se recomienda no realizar aforos en días festivos ni en períodos vacacionales.



## 2.2. Demanda y capacidad

### 2.2.1. Volumen de tránsito

Según (Cal y Mayor & Cárdenas, 1972) el volumen de tránsito es la cantidad de personas o vehículos que transitan por una zona específica del sistema vial, utilizando un carril o grupo de carriles durante un tiempo determinado de tiempo. Se expresa como:

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

*Ecuación 1 Vehículos por tiempo*

Donde:

Q: vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)

N: número total de vehículos que pasan (vehículos)

T: periodo determinado (unidad de tiempo)

#### 2.2.1.2. Volúmenes de tránsito

- Volumen horario máximo anual (VHMA)

Es el máximo volumen horario que ocurre en el período de un año, es decir es el volumen máximo que ocurre en las 8 760 horas que tiene un año.

- Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Es el máximo número de vehículos que pasan por una sección en un período de 60 minutos, corresponde al período más representativo que se puede presentar en un día en particular.

#### 2.2.2. Capacidad

La capacidad es un factor que permite la distribución adecuada del volumen de tránsito o cantidad de vehículos a través de un punto específico de una vía y

durante un período determinado de tiempo, por lo tanto, la capacidad indica la cantidad máxima de flujo vehicular que se puede generar en un punto o una parte de la vía (Ubillús, 2019)

En los análisis de capacidad se utilizan períodos de 15 minutos, debido a que se considera que es el tiempo de menor duración en donde se llega a tener un flujo estable (Cal y Mayor & Cárdenas, 1972)

### **2.3. Relación volumen-capacidad**

Si el volumen de tránsito en una carretera es menor que su capacidad, los conductores tienen cierta libertad de maniobra y por ello, los que así deseen pueden moverse más rápidamente que los más lentos; sin embargo, existe cierta desventaja debido a que los más rápidos no pueden escoger con completa libertad la velocidad que deseen, a menos que el volumen de tránsito sea muy bajo. Ahora bien, si el volumen de tránsito supera el valor de la capacidad de la vía, se presenta lo que se denomina congestión de tránsito: todos los vehículos tienen que viajar a igual velocidad, la cual es establecida por los vehículos más lentos, y existe poca o ninguna oportunidad de adelantar a otros vehículos. Entre estos dos extremos de operación, la velocidad promedio de viaje, lo mismo que la capacidad de efectuar maniobras en los vehículos, guardan una relación muy estrecha con el volumen de tránsito que utilice la vía (NEVI-12, 2013)

Por lo anteriormente mencionado una vía funciona de mejor manera cuando el volumen de tránsito de la vía no supera a la capacidad de la vía, es decir la vía es capaz de abastecer correctamente el flujo vehicular, caso contrario existirán problemas de congestión vehicular y por ende molestias en los usuarios.

Según (Cal y Mayor & Cárdenas, 1972) pueden presentarse tres tipos de casos:

- Si la relación es menor a 1, ( $V/C < 1$ ), el sistema no está colapsado.

- Si la relación es mayor a 1, ( $V/C > 1$ ), el sistema se encuentra colapsado.
- Si la relación es igual a 1, ( $V/C = 1$ ), el sistema se encuentra al límite.

## 2.4. Tipos de Intersecciones

Una intersección es un punto en donde intersecan dos o más caminos, es decir es el punto de corte, lo que ocasiona un punto de conflicto para los vehículos que se cruzan, existen diversos tipos de intersecciones, sin embargo, se hará énfasis en las intersecciones semaforizadas y de redondeles, posteriormente se hablará de turbo rotondas.

### 2.4.1. Intersecciones semaforizadas

Los semáforos son aparatos electromagnéticos y electrónicos proyectados específicamente para facilitar el control del tránsito vehicular y peatonal, mediante indicaciones visuales de colores como el verde, amarillo y rojo. Su principal finalidad es la de permitir el paso, alternadamente, a las corrientes de tránsito que cruzan la intersección (Cal y Mayor & Cárdenas, 1972) Gracias a su finalidad los semáforos han sufrido un gran desarrollo, implementándose distinta señalética para permitir el correcto flujo de vehículos y peatones.

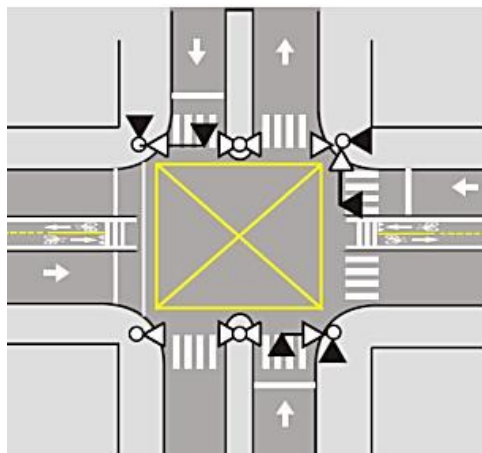


Ilustración 1 Intersección semaforizada (Robinson, 2000)

Las intersecciones semaforizadas poseen ciertas ventajas y desventajas, de acuerdo con (Cal y Mayor & Cárdenas, 1972) son:

Ventajas:

- Ordena la circulación de tráfico.
- Reduce frecuencia de accidentes.
- Aumenta la capacidad de manejo de tráfico.
- Interrumpen el tráfico pesado a intervalos, dando paso a otro tipo de flujo vehicular.
- Brinda la facilidad de revisar el ciclo semafórico.
- Reducen la cantidad de puntos de conflicto.

Desventajas:

Como todo tipo de solución al tráfico también tiene sus desventajas, la más recalable es la generación de colas, en el periodo de luz roja, dando como resultado demoras injustificadas a los usuarios, por ende, pérdidas de tiempo.

A continuación, en la Ilustración 2 se puede observar un ejemplo de los puntos de conflicto que podrían presentarse en una intersección semaforizada, ya que depende de cómo se agrupen las maniobras en la misma, estos dependen del número de accesos que existan en la intersección y los movimientos de giros permitidos, los cuales vienen condicionados por los mismos semáforos.

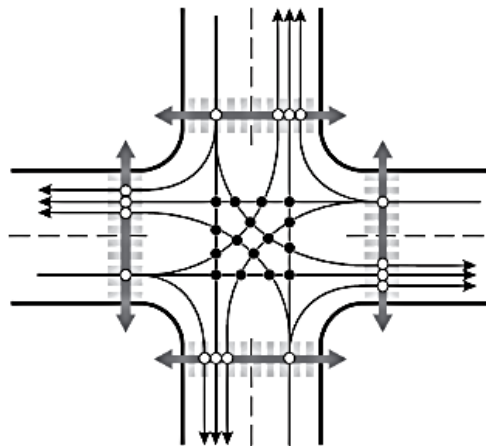


Ilustración 2 Puntos de conflicto en intersecciones semaforizadas. (Robinson, 2000)

**2.4.1.1. Nivel de servicio**

En referencia al nivel de servicio, se presenta a continuación en la Tabla 1, una guía en cuanto al nivel de servicio para intersecciones semaforizadas.

Tabla 1: Niveles de servicio, (HCM, 2000)

Nivel de servicio	Demoras (s/veh)
A	<10
B	>10 – 20
C	>20 – 35
D	>35 – 55
E	>55 – 80
F	>80

Los niveles de servicio de acuerdo con (Department for Transport, 2008) son:

Nivel de servicio A: Existe operación con demoras muy bajas, los vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen del todo, existen ciclos cortos que contribuyen a demoras mínimas hasta de 10 s/vehículo.

Nivel de servicio B: Existen algunos vehículos que empiezan a detenerse, de 10 s/vehículo a 20 s/vehículo.

Nivel de servicio C: el progreso del tránsito es regular y algunos ciclos empiezan a congestionarse con demoras de 20 s/vehículo hasta 35 s/vehículo.

Nivel de servicio D: Existen demoras debido a la mala circulación del tránsito o llegadas en la fase roja, también existen longitudes de ciclo amplias y muchos vehículos se detienen, sus demoras van de 35 s/vehículo hasta 55 s/vehículo.

Nivel de servicio E: Las demoras se encuentran al límite, estas son causadas por progresos pequeños y ciclos muy largos, entre 55 s/vehículo hasta 80 s/vehículo.

Nivel de servicio F: Los flujos de llegada a la intersección exceden la capacidad de los accesos de la intersección, por lo que se ocasiona congestionamiento y operación saturada generalmente tiempos mayores a 80 s/vehículo.

### 2.4.2. Rotondas

(HCM, 2010) define a una Rotonda como una intersección circular, con una isla central, alrededor de la cual circula el tránsito en sentido antihorario y en la que el tránsito entrante debe ceder el paso al tránsito circulante como se puede observar en la Ilustración 3.



Ilustración 3: Rotonda convencional típica, (HCM, 2010)

Los redondeles debido a su geometría permiten un intercambio seguro de tráfico proveniente de diferentes flujos con una mínima demora, sin embargo, la eficiencia está relacionada con la habilidad de los conductores para aprovechar los espacios entre los vehículos que se encuentran circulando en el redondel (Cueva, 2012)

Entre las características más importantes de las rotondas o redondeles está el reducir los puntos de conflicto, esto si se compara con intersecciones convencionales, donde los puntos de conflicto son los factores de potenciales accidentes vehiculares, los cuales según (Valenzuela, 2017) se deben en su mayoría a:

- La configuración del diseño de la rotonda, que requiere que los vehículos disminuyan la velocidad, permitiendo así una velocidad máxima de circulación de 50km/h.
- La ordenación de vehículos, debido a que vehículos entrantes giran hacia la derecha.
- Los conductores siguen trayectorias inadecuadas o inesperadas dentro de la rotonda generando una disminución en la seguridad de esta, esto se debe a una falta en educación vial.

La rotonda convencional, resulta una eficiente solución para la demanda de tráfico, adicionales entradas y carriles circulatorios aumentan la capacidad, sin embargo, aumentan la posibilidad de accidentes vehiculares y problemas de seguridad. Esto debido a la conducta del conductor que muchas veces viene a ser inadecuada en zonas de entrada, zona circulatoria y de salida (Vasconcelos & Santos, 2013). Como se puede indicar en la Ilustración 4, existen de 24 a 32 puntos de conflictos en una rotonda convencional, lo que conlleva a problemas de seguridad y congestionamientos dentro de la misma. (Vasconcelos & Santos, 2013)

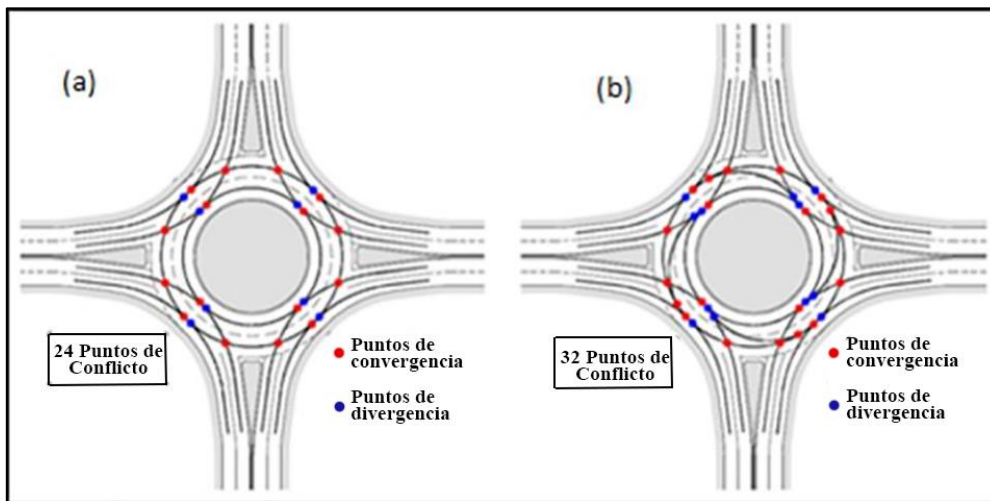


Ilustración 4 Puntos de conflicto en rotondas, (Valenzuela, 2017)

Una norma que justifica la implementación de la rotonda es la intersección de cuatro ramales o más con tal magnitud que requiere un control permanente de señalización eléctrica que solo ocasione demoras y congestiones en las distintas corrientes de tráfico (MTOP, 2003)

**2.4.2.1. Nivel de servicio:**

El nivel de servicio de una intersección tipo rotonda es una medida de la calidad de operación de esta. (HCM, 2000) define el LOS como “las condiciones de operación, en términos de medidas de rendimiento de tráfico, relacionados con la velocidad y el tiempo de viaje, la libertad de maniobra, las interrupciones de tráfico, y la comodidad y conveniencia”

Tabla 2: Niveles de servicio para rotondas, (HCM, 2010).

Control Delay (s/veh)	LOS by Volume-to-Capacity Ratio <sup>a</sup>	
	v/c ≤ 1.0	v/c > 1.0
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F



Los criterios de nivel de servicio (LOS) para automóviles en rotondas se presentan en la *Tabla 2: Niveles de servicio para rotondas*, .Tabla 2, se asigna el LOS F si la relación volumen/capacidad de un carril supera 1.0, independientemente del tiempo de demoras. Para evaluar el LOS a nivel de aproximación e intersección, el LOS se basa únicamente en el retraso de control.

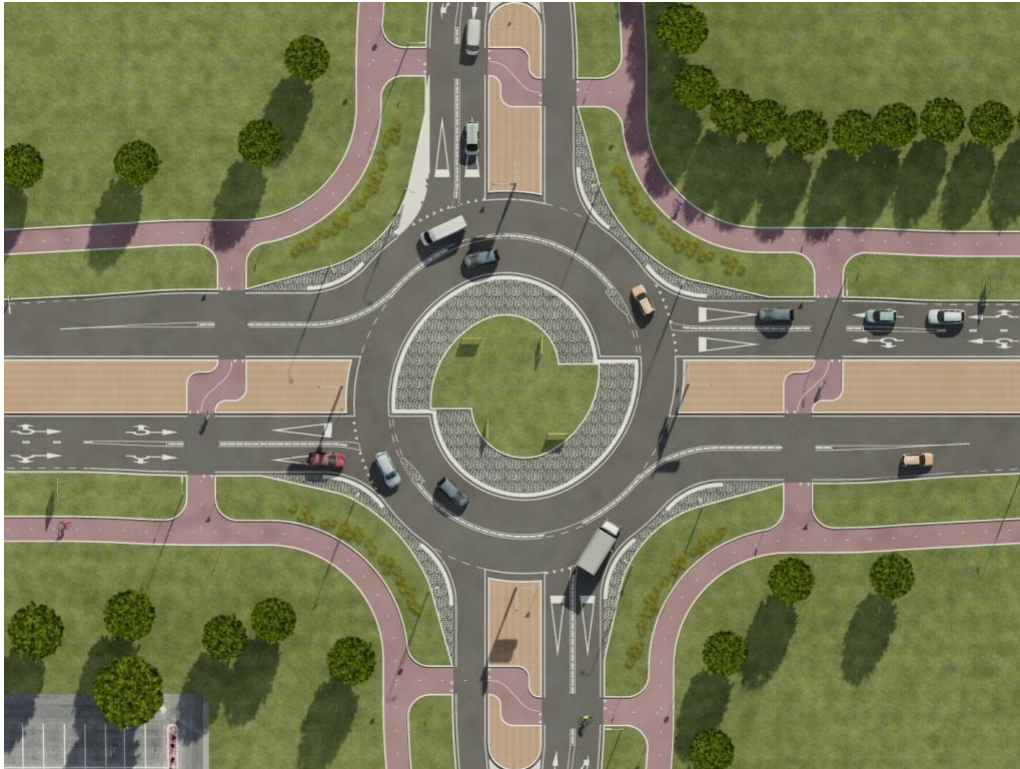
## **2.5. Turbo Rotondas**

La turbo rotonda es un nuevo tipo de rotondas que han sido desarrolladas en los Países Bajos desde el año de 1996, por el profesor Fortuijn, él propone un flujo espiral de tráfico, lo que requiere una decisión de carril previa, por parte del conductor antes de ingresar en la Turbo rotonda. Desde su creación, se han dejado de usar las rotondas convencionales en los Países Bajos gracias a sus ventajas significativas y ya que es considerada una alternativa más segura y eficiente en comparación con la rotonda convencional.

La primera turbo rotonda fue desarrollada en los Países Bajos y pronto se volvió tan popular que el gobierno holandés desarrollo su propia normativa de diseño, “Manual de rotondas – Aplicación y diseño” (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009) aplicado al diseño de la turbo rotonda. Actualmente existen aproximadamente 300 turbo rotondas en los Países Bajos.

Alrededor del mundo ha existido un incremento de turbo rotondas, especialmente en la última década, en donde países como Alemania, de Europa del este y Estados Unidos (Transoft Solutions, 2019), a su vez, se han desarrollado turbo rotondas como alternativa para sus rotondas convencionales basándose en la normativa holandesa, de la misma forma, países de Sudamérica están iniciando sus investigaciones para su posible implementación.

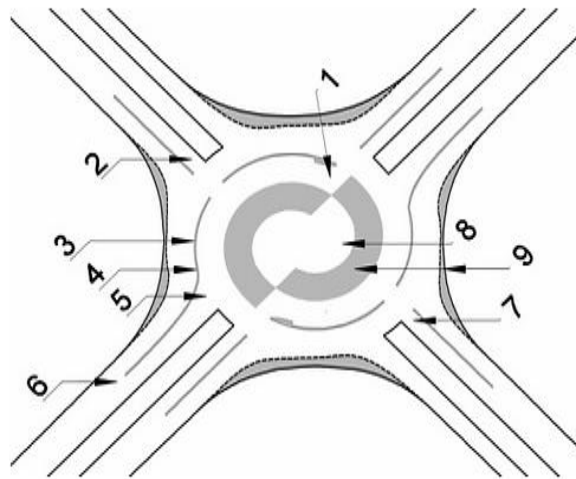
Los conceptos elaborados por Fortuijn están incluidos en (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009) donde están explicados los elementos básicos para el diseño de turbo rotondas, además se detallan diferentes tipos de turbo rotondas.



*Ilustración 5 Diseño estándar de Turbo Rotonda, (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009)*

### **2.5.1. Criterios de diseño**

La turbo rotonda tiene ciertas características que hacen de ella algo único, como se muestra en la Ilustración 6.



*Ilustración 6 Características de una turbo rotonda, (Transoft Solutions, 2019)*

Una turbo rotonda debe integrar los siguientes elementos (Transoft Solutions, 2019):

1. Carril en espiral en una o más entradas
2. Debe existir entradas para circular el tráfico, máximo de dos carriles, (podría existir excepciones)
3. Marcas en espiral lisas.
4. Divisores de carril elevados, para evitar cambio de carril y entrecruzamiento.
5. Al menos un carril ofrece un cambio de dirección.
6. Al menos dos tramos de entrada tienen dos tramos de salida.
7. Los accesos de entrada deben ser perpendiculares a los carriles circulatorios.
8. La señalización de la turbo rotonda permite un reconocimiento óptimo para elegir correctamente el carril deseado.

9. La isla central de la turbo rotonda consiste en una bahía transitable para vehículos livianos y no transitable para que los vehículos pesados no tengan problema de circular.

Una turbo-rotonda se puede diseñar de acuerdo con las pautas o regulaciones existentes, pero existen variaciones por algunas razones, el diseñador debe asegurarse que la infraestructura vial pueda planificarse para acomodar vehículos locales, los cuales varían de una región a otra.

La turbo rotonda ofrece el abordar desafíos de capacidad y seguridad para altos volúmenes de tráfico gracias a las características que se mencionarán a continuación:

- Movimientos limitados ya que no se permite el cambio de carril dentro de la turbo rotonda, lo que obliga que elijan previamente un carril al momento del ingreso, como se observa en la
- Ilustración 7



*Ilustración 7 Movimientos dentro de una turbo rotonda, (Granà, 2014)*

- Menos puntos de conflicto con el uso de separadores de carril, carriles en espiral anidados y señalización, se produce una reducción de puntos de conflicto en comparación con una turbo rotonda convencional, como se indica en la Ilustración 8.

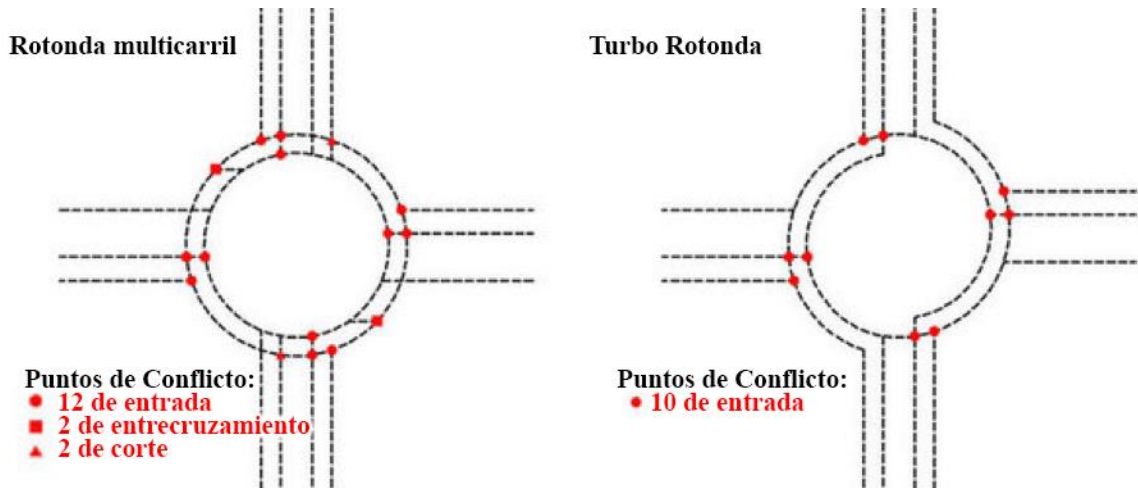


Ilustración 8 Puntos de conflicto de una rotonda convencional y una turbo rotonda, (Transoft Solutions, 2019)

Entre otras razones para elegir una turbo rotonda como alternativa, de acuerdo con (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009) están:

- La capacidad de una turbo rotonda es igual o superior que una intersección semaforizada, aunque las demoras son menores.
- Una turbo rotonda es más segura que una intersección señalizada, alrededor del 70% de reducción de accidentes con víctimas mortales y graves y un 50% más segura que una intersección semaforizada.
- Los costos de construcción son superiores a los de una intersección señalizada, aunque el costo social y el ciclo de vida resultan más bajos.

Según (Fortuijn, 2009) en "Design principles and safety performance", existen diferentes configuraciones y diseños de turbo rotondas, dependiendo de la capacidad y demanda vehicular, siendo este último el más importante para elegir el diseño apropiado.

En la Ilustración 9, Ilustración 10, Ilustración 11, se muestra un aproximado de la capacidad de cada tipo de turbo rotonda, para tres y cuatro ramales, donde se puede observar que la capacidad varía desde 2800 a 5500 vehículos/hora.

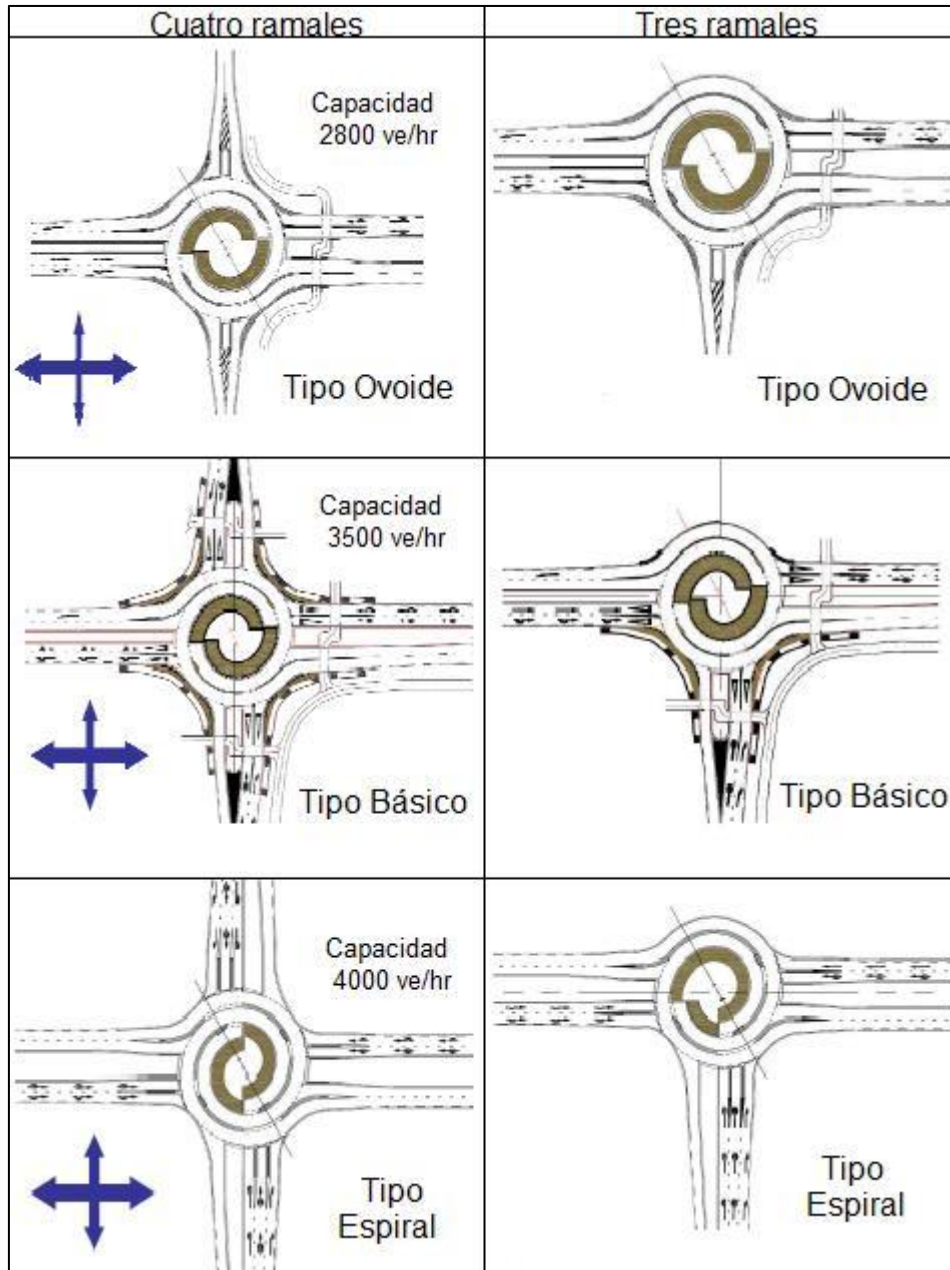


Ilustración 9 Tipos de turbo rotondas, Tipo: Ovoide, Básico y Espiral, (Valenzuela, 2017)

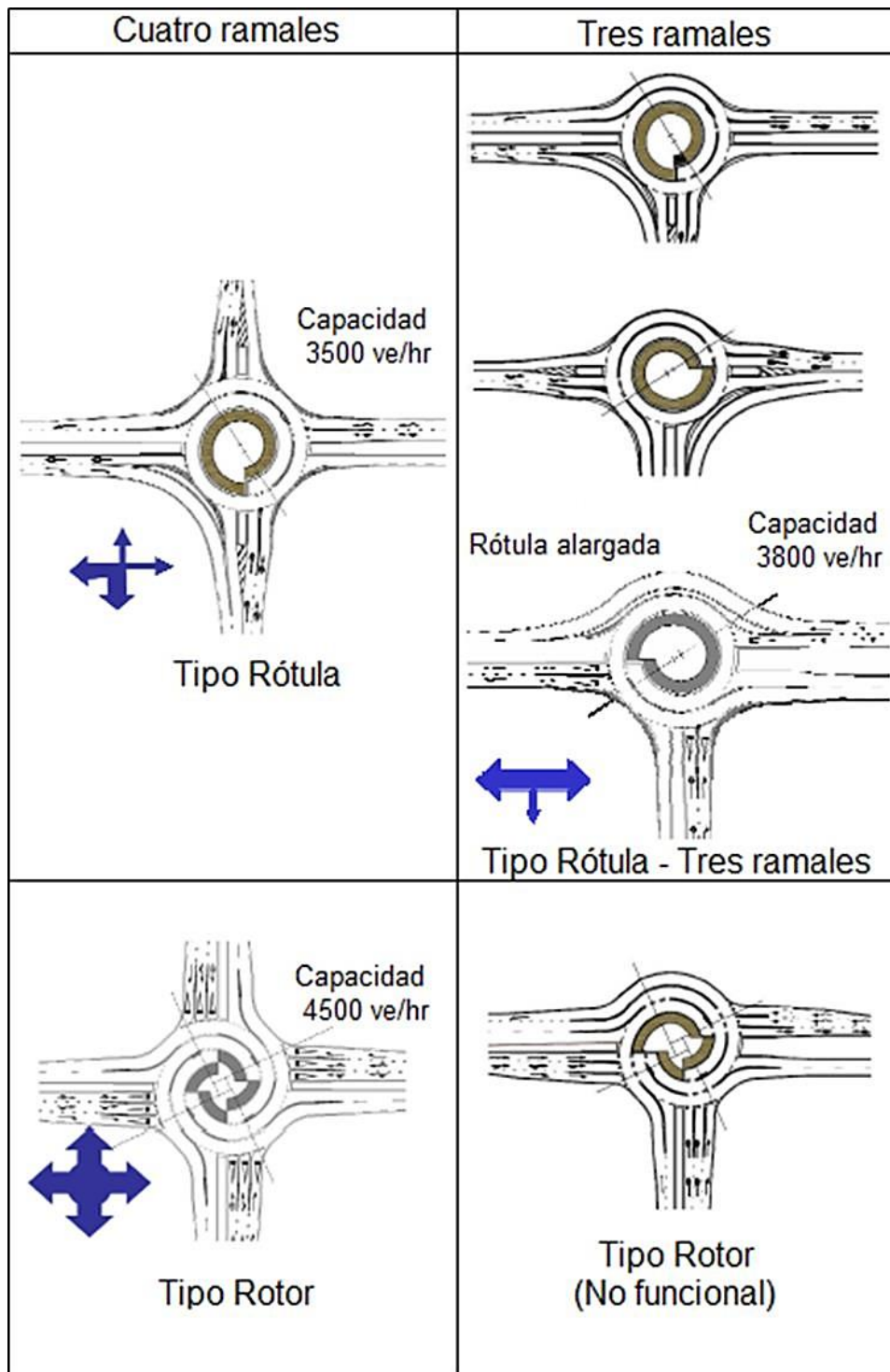


Ilustración 10 Tipos de turbo rotondas, Tipo: Rótula y Rotor, (Valenzuela, 2017)

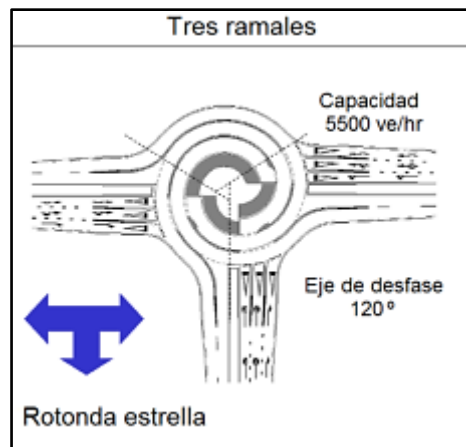


Ilustración 11 Tipos de turbo rotonda, Tipo: Estrella, (Valenzuela, 2017)

La turbo rotonda se compone de espirales, las cuales se componen de segmentos de arcos circulares, a menudo semicírculos, cada arco con un arco mayor al anterior, pero manteniéndose una curva continua entre todos los arcos. (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009)

En condiciones ideales, la geometría de una turbo rotonda básica consta de dos espirales anidadas, que representa el límite de los carriles. Los semicírculos se encuentran en un eje denominado: eje de traslación, los cuales se trazan a partir de un punto que se encuentra en el centro de la turbo rotonda, cabe considerar por otra parte que no todos los tipos de turbo rotonda se dan en condiciones ideales, por lo que es posible que existan dos centros, los mismos que se encuentran desplazados una distancia que puede ser  $w_c/2$ , siendo  $w_c$ , el ancho del carril, como se indica en la Ilustración 13 mostrada a continuación.



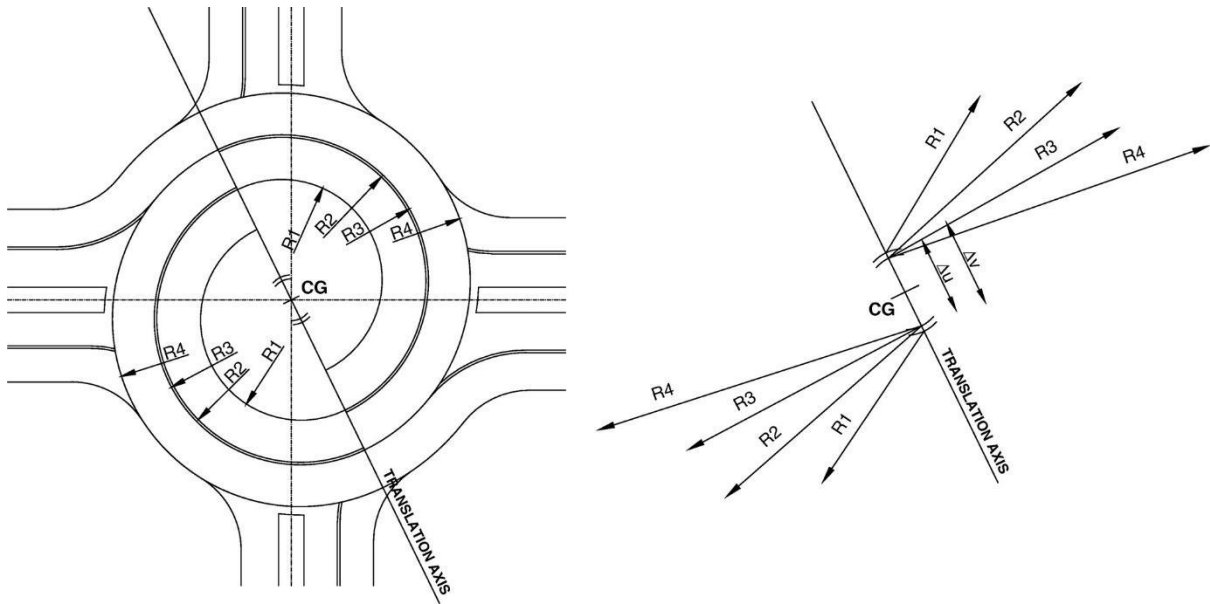


Ilustración 12 Concepto esquemático y geométrico de una turbo rotonda, (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2016)

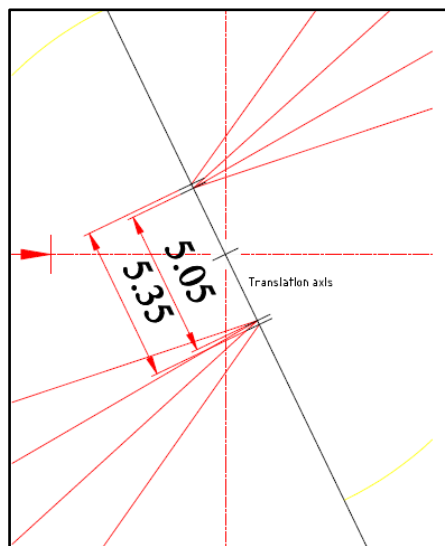
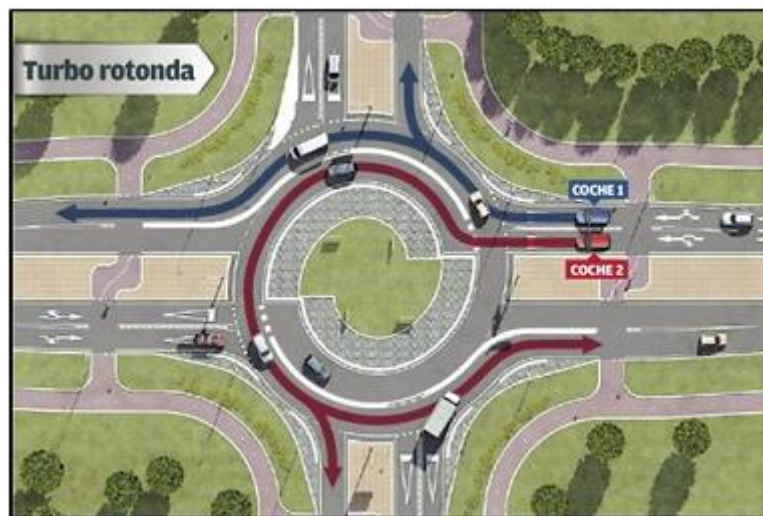


Ilustración 13: Detalle del desplazamiento en el centro de la turbo rotonda, (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009) Criterios operacionales

Lo que vuelve a la turbo rotonda única e innovadora es su criterio operacional, que varía en relación a la rotonda convencional, a continuación, se indica algunos principios básicos de operación:

- El conductor debe elegir previamente el carril antes de ingresar a la turbo rotonda.

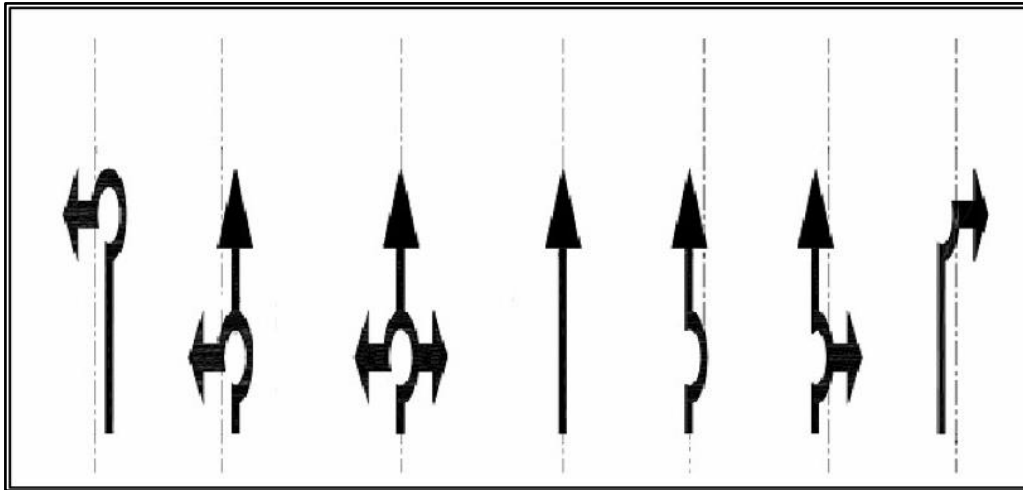
- Su diseño de espirales en lugar de círculos permite que el flujo vehicular circule con mayor fluidez.
- Se evitan las demoras existentes en una intersección semaforizada.
- Una vez ingresado a la turbo rotonda no está permitido el cambio de carril.
- Los vehículos tienen mayor seguridad debido a que existe menor riesgo de colisión al momento de salir de la turbo rotonda.



*Ilustración 14 Circulación gráfica de una turbo rotonda, (Valenzuela, 2017)*

### **2.5.2. Señalización**

Para que exista un correcto funcionamiento en la turbo rotonda, es importante que exista una correcta señalización de modo que el usuario esté bien informado de que carril van a elegir al momento de ingresar a la misma. Considerando que, al momento de ingresar y desear realizar una vuelta completa, no existe manera de rectificar el carril elegido, por ello la importancia de la señalización. A continuación, en la Ilustración 15 , se muestra la señalética usada en los Países Bajos.



*Ilustración 15 Señalización usada en los accesos de entrada de una turbo rotonda, (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009)*

Las (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009) indica que las señales de flechas se utilizan únicamente en los accesos de entrada y sin repetición, debido a que no provee información extra para el usuario.

Puesto que el conductor necesita tener una perspectiva clara al momento de ingresar a la turbo rotonda las señales deben ser claras y explícitas. La primera señal se debe colocar al menos a 400 m antes de la turbo rotonda, ya sea en el borde o encima del carril, con referencia a cada carril como indica la Ilustración 16. Cabe recalcar que es importante que la configuración de las flechas en los letreros sea de la misma configuración que la del pavimento para brindar una información clara al usuario.



*Ilustración 16 Señalización acerca de los carriles en una turbo rotonda (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009)*

Los usuarios de la turbo rotonda, tienen que interpretar demasiada información al momento de ingresar a la misma, por ello es importante diseñar marcas y señales como un solo concepto para no sobrecargar al conductor. Es importante que el usuario esté bien informado con un tiempo suficiente utilizando lo mínimo de señales. Asimismo, debe existir una distancia de al menos 200m entre la salida de una turbo rotonda y la primera señal.

La iluminación juega un papel importante para la seguridad de la turbo rotonda, la visibilidad de la misma y la alineación de los carriles tienen que estar asegurados, para lograr así evitar los posibles accidentes durante horas nocturnas. La iluminación debe estar en los separadores de carril, accesos y salidas, esto con el fin de que el usuario pueda percibir correctamente el diseño de la turbo rotonda y funcionamiento para ser capaz de hacer las maniobras apropiadas.



*Ilustración 17 Iluminación de una turbo rotonda, (Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2009)*

## 2.6. Micro simulación

La micro simulación de tránsito permite obtener una perspectiva del estado de tráfico existente en la intersección, la manera como se encuentran operando las vías y el conjunto de señales existentes en la intersección, también permite la representación de las diferentes soluciones adoptadas para realizar una comparación entre el estado actual y el propuesto.

La micro simulación consiste en una modelación a detalle tanto del tráfico como del entorno existente en la intersección, como el comportamiento de los vehículos en determinadas situaciones. (Acurio, 2017)

Según (D'Ambrogio, lazeolla, Pasini, & Pieroni, 2009) la micro simulación permite modelar sistemas reales variando condiciones geométricas o semaforicas, dependiendo el caso, por lo tanto, se puede identificar mejoras en intersecciones señalizadas, semaforicas o ya más complejas como es el actual caso de estudio.

En general, las aplicaciones según (Acurio, 2017) incluyen simulaciones exactas de:

- Diseño de intersecciones tanto semaforizadas como no semaforizadas.
- Carriles de alta ocupación.
- Estaciones de peaje.
- Vías exclusivas de transporte público y diferente determinación de prioridad.
- Control de velocidades.
- Medidas de administración del tráfico, entre otras.

### 2.6.1. TRITONE

El software a utilizar se denomina TRITONE, el cual es un micro simulador de redes de carreteras, desarrollado completamente en idioma español e italiano por la

Universidad de Calibria, UNICAL- Grupo TIS (Transport Innovation Software, 2016). Es un software, que, en modo de uso libre, tiene restricción en la cantidad de nodos y conexiones para su modelación, sin embargo, con una licencia completa no tiene esta limitación.

Tritone se crea con el objetivo de convertirse en una herramienta de simulación con tendencias de uso amigable y a su vez que sea altamente eficiente, de esta manera el usuario puede hacer uso de este software sin hacer uso de terceros para el ingreso de datos ya que todas las herramientas se pueden encontrar dentro del programa.

Una ventaja del software Tritone es que puede representar el tráfico al instante, considerando tanto la geometría a detalle del lugar como el comportamiento real del conductor, gracias a ello se puede simular intersecciones señalizadas, no señalizadas, rotondas y estructuras más complejas.

Tritone permite utilizar no solamente su modelo de simulación sino permite elegir entre los distintos modelos de modelación de coches más populares, en este trabajo se ha optado por utilizar el modelo de Nagel, el cuál será detallado posteriormente.

También implementa los modelos más utilizados de:

- Lane changing (Cambio de carril) de Giofré, Mobil, Gipps (AIMSUN)
- Gap – Acceptance
- Over taking (rebasamiento) Giofré 2010, Giofré 2016, Gipps (AIMSUN)

### **2.6.2. Modelo Nagel – Schreckenberg**

El modelo propuesto por Nagel define un arreglo en el cual el tiempo se divide en pequeños intervalos iguales, donde en cada uno de ellos se actualizan a la par la

posición y la velocidad de los vehículos. Entonces, se supone que cada célula puede estar o no, ocupada por un solo vehículo a la vez.

Existen cuatro reglas principales dentro del modelo, donde (Nagel & Schrekenberg, 1992) indica que están en función de la aceleración donde la velocidad está expresada en (células/unidad de tiempo), desaceleración debido a otros autos en donde el GAP denota el número de celdas vacías delante de un vehículo, aleatoriedad en función de la velocidad y el movimiento de los vehículos, en donde cada vehículo avanza  $v$  células. No se ha visto necesario profundizar en las cuatro reglas principales de este modelo debido a que la investigación se basa principalmente en el análisis de una turbo rotonda.

En este trabajo se consideró el tiempo de manera paralela,  $t=1$ , suponiendo que es el tiempo en que un conductor se tarda en reaccionar al momento de realizar cualquier maniobra y el espaciamiento de las células de 7.5m, valores establecidos previamente por Nagel. Con estos valores, la simulación generada produce valores de velocidad media de alrededor 4.5 células/ unidad de tiempo (Nagel & Schrekenberg, 1992)

### 2.2.1. Indicador de calibración y validación de modelos.

Se utiliza el GEH: Geoffrey E. Havers, este es un indicador estadístico creado en los años 70 que propuso realizar la siguiente comparación mediante la siguiente fórmula:

$$GEH_{maneuver} = \sqrt{\frac{2(\text{Simulated} - \text{Real})^2}{\text{Simulated} + \text{Real}}}$$

*Ecuación 2: GEH: Geoffrey E. Havers*

Los criterios de aceptación dentro del programa son:

- $GEH \leq 5.0 \rightarrow GEH = 1$

- $GEH > 5.0 \rightarrow GEH = 0$

Para la validación del modelo se realiza la sumatoria de los valores obtenidos previamente de GEH y en el caso de su valor ser superior al 85%, como se indica en la Ecuación 3 el modelo está verificado. Caso contrario, se deberá cambiar parámetros para una mejor calibración y su posterior verificación.

$$GEH = \sum_{m=1}^{man} GEH \geq 85\%$$

*Ecuación 3: condición para validación de modelo*

### 2.6.3. Tamaño de la muestra

Muestreo se conoce como el proceso de extraer una muestra a partir de una población, esto con el fin de no utilizar la población entera, sino una fracción de ella para así poder entenderla en su totalidad. Esto proporciona distintas ventajas como: ahorrar tiempo, reducir costos, Mayor precisión en los resultados.

En el caso de estudio actual, se requiere conocer el número de micro simulaciones necesarias para brindar un nivel de confianza alto, con respecto a los datos que se pretenden obtener, un estudio requiere de un tamaño de muestra adecuado como lo sugiere el manual de estudios de ingeniería de tránsito (Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito) para satisfacer consideraciones estadísticas. La siguiente Ecuación 4 puede ser considerada para calcular el tamaño de micro simulaciones requeridas para el estudio:

$$N = \left( \frac{SK}{E} \right)^2$$

*Ecuación 4: Tamaño de muestra*

Donde:

N= tamaño mínimo de la muestra



S= desviación estándar de la muestra

K= nivel de confianza deseado

E= error permitido

La desviación estándar se calcula mediante análisis de micro simulaciones previos, para hacer un estimado razonable se toman un mínimo de simulaciones previas y se calcula la desviación estándar de los datos obtenidos.

La constante K como indica (Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito) depende del nivel de confianza (la probabilidad media para que una estimación sea válida), se puede tomar valores que varían entre 1 a 3, sin embargo, para mayor precisión en la Tabla 3, se indican valores de K en relación con el nivel de confianza.

Tabla 3: Valores de K correspondientes al nivel de confianza, (Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito)

<b>Constante, K</b>	<b>Nivel de confianza</b>
<b>1.00</b>	68.3
<b>1.50</b>	86.6
<b>1.64</b>	90.0
<b>1.96</b>	95.0
<b>2.00</b>	95.5
<b>2.50</b>	98.8
<b>2.58</b>	99.0
<b>3.00</b>	99.7

El error “E” permitido depende de la precisión requerida en el estimado, el cual queda a consideración del modelador, esta medida corresponde a una tolerancia absoluta, es decir un +/- el valor que desee el usuario.

La Ecuación 3 determina el número mínimo de observaciones necesarias, sin embargo, no se tolera un tamaño de la muestra menor a 30 observaciones o en este caso micro simulaciones. (Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito)

#### **2.6.4. Parámetros evaluados en la intersección**

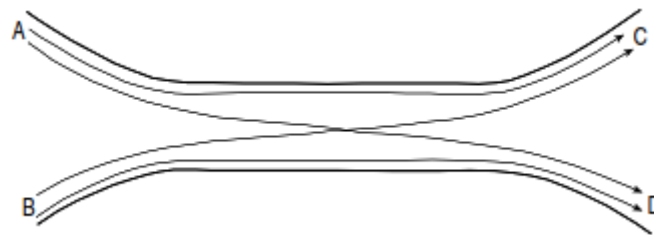
Con el objeto de validar la mejora o no del uso de las turbo rotondas se usarán los siguientes parámetros: Tiempo gastado, demoras y longitud de colas estos han sido elegidos debido a que influyen en el nivel de servicio de la intersección. Además, se evaluarán las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a que garantiza que se tiene en cuenta las repercusiones ambientales del proyecto a lo largo de la vida útil del mismo, por último, el parámetro Tasa de desaceleración mínima para evitar un accidente (DRAC), se eligió debido a que brinda una información de los posibles conflictos existentes en la intersección relacionada a la seguridad de la misma, relacionando directamente la seguridad que brinda la intersección. A continuación, se indica el significado de cada parámetro según (Transport Innovation Software, 2016)

- Tiempo gastado: Tiempo que pasan los conductores en el enlace del intervalo [s].
- Demoras: Demoras por los conductores en el enlace del intervalo [s].
- Tiempo total: Que comprende la suma del tiempo gastado y demoras, es decir el tiempo total empleado por los conductores en el enlace del intervalo [s].
- Longitud de colas: Longitud máxima de las colas observadas de vehículos en el intervalo [m/carril].
- CO<sub>2</sub>: Emisiones [g/km].
- DRAC: (Deceleration Rate to Avoid a Crash) Indicador de seguridad promedio en el enlace del intervalo [m/s<sup>2</sup>].

## 2.7. Zona de entrecruzamiento

Es importante la definición de este parámetro, puesto que la turbo rotonda para su funcionamiento exige que cada individuo ingrese al equipamiento en uso de un carril específico, produciéndose en las inmediaciones zonas de intercambio de carriles las cuales se pretende sean explicadas.

Por entrecruzamiento se entiende como el cruce de dos o más corrientes de tráfico que generalmente se mueven en la misma dirección a lo largo de una longitud significativa, donde se dan sucesivas maniobras de convergencia entre los vehículos sin un dispositivo de control de tráfico (HCM, 2000) Una zona de entrecruzamiento se forma cuando existe un área de intercambio seguida de un área de divergencia, que pueden ser, de una intersección a otra, de un desnivel a otro o hasta una intersección rotatoria, como rotonda o en este caso turbo rotonda.



*Ilustración 18 Formación de una zona de entrecruzamiento, (HCM, 2000)*

El procedimiento según (Instituto Mexicano de transporte, 1991) se basa en tres parámetros geométricos, los cuales influyen en el comportamiento de los vehículos, al momento de cambiar de carril en la zona de entrecruzamiento, estos son:

- Longitud
- Ancho
- Configuración

Siendo este último, el más importante, ya que define la manera en la que se encuentran colocados los carriles de entrada y salida, lo que a su vez determina el

comportamiento del cambio de carril y el número de cambios de carril que se deberán realizar para poder completar con éxito la maniobra deseada, también existe una distinción entre los cambios de carril adicionales que pueden ser discretos (no necesarios para completar el entrecruzamiento), los cuales no son restringidos al segmento de entrecruzamiento en sí.

De acuerdo con (HCM, 2000) se identifican tres categorías de zonas de entrecruzamientos: Tipo A, Tipo B y Tipo C, cada uno con sus propias características, que se detallarán a continuación.

### 2.7.1. Tipo A

Este tipo de zona de entrecruzamiento tiene como característica principal, el que todos los vehículos de entrecruzamiento deben realizar un cambio de carril para completar su maniobra con éxito. Estos cambios de carril se realizan mediante una “línea de corona”, llamándose así a la trayectoria indicada en la Ilustración 19, donde los cambios de carril ocurren a lo largo de la línea de carril, que conecta toda la zona de entrecruzamiento.

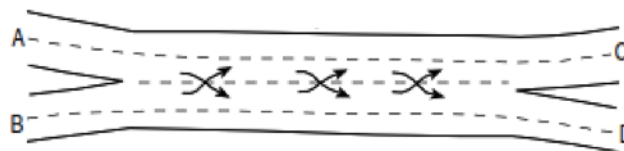


Ilustración 19 Zona de entrecruzamiento Tipo A, (HCM, 2000)

En este tipo de configuración todos los vehículos deberán ejecutar un cambio de carril a través de la línea de la corona, lo que afectará en la velocidad de entrada y salida de carriles, lo que supone una limitación para los vehículos que transitan la zona. Se recomienda crear una rampa en la zona de entrecruzamiento para que los

vehículos que no cruzarán el carril comparten carril con los vehículos restantes, como se indica en Ilustración 20.

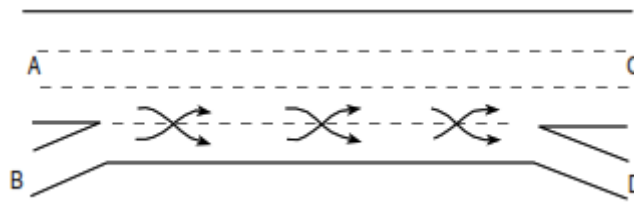


Ilustración 20 Zona Tipo A con rampa, (HCM, 2000)

### 2.7.2. Tipo B

Todos los tipos de entrecruzamiento Tipo B que se mostrarán a continuación en la Ilustración 21, se encuentran catalogados como los segmentos principales de cambio de carril, refiriéndose así, debido a que dichos segmentos siempre poseen tres ramificaciones de entrada con múltiples carriles de salida, particularmente tienen como característica que uno de los movimientos de entrecruzamiento puede realizarse sin cambiar de carril, mientras que el otro movimiento sí requiere de un cambio de carril.

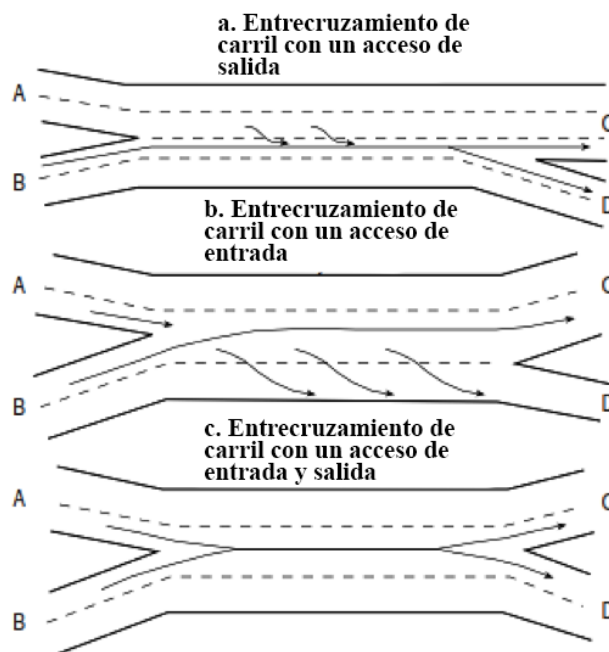


Ilustración 21 Segmentos de Zona Tipo B, (HCM, 2000)

Los segmentos Tipo B según (HCM, 2000), son los más eficientes al momento de movilizar grandes flujos de tráfico y entrecruzamientos, debido a que poseen un carril de paso para al menos uno de los cambios de carril y a su vez su eficiencia también se debe a que se puede realizar un solo cambio de carril desde los carriles adyacentes al carril de paso, brindando mayor libertad de movimiento que el Tipo A mencionado anteriormente.

### 2.7.3. Tipo C

Este tipo de entrecruzamiento es similar al Tipo B con respecto a que uno o más carriles se utilizan para un movimiento de cambio de carril, sin embargo, la característica principal de la zona Tipo C es que el otro movimiento de cambio requiere de al menos dos cambios de carril para efectuar con éxito la maniobra de entrecruzamiento, caso contrario no se efectuará óptimamente.

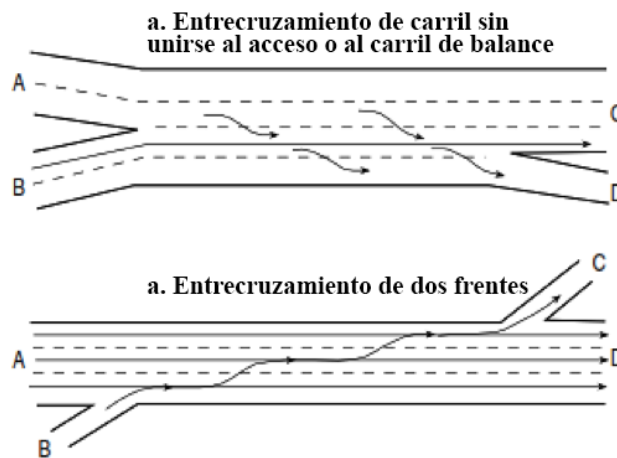


Ilustración 22 Tipos de segmentos Tipo C, (HCM, 2000)

Este tipo de cambios de carril se puede observar en su mayoría en autopistas en el flujo de una dirección, sin embargo, no es muy efectivo en la otra dirección. Como se puede observar en la Ilustración 22, los vehículos tienen que atravesar toda la autopista para dirigirse hacia la siguiente entrada, como movimiento de rampa en el tipo B, mientras que en el tipo Aa el flujo se puede ver como movimiento de cruce o

tejido en donde los vehículos cambian de carril o en su caso se mantienen en el mismo carril siguiendo su trayectoria.

#### **2.7.4. Efectos de la zona de configuración**

La configuración de la zona de entrecruzamiento (HCM, 2000) tiene un efecto marcado en las operaciones de cambio de carril dado que de esto depende el comportamiento de los usuarios en la misma. Así, un segmento de cruce con 1000veh/h (vehículos/hora) para rebasar otro con la misma cantidad de vehículos, va a necesitar al menos 2000 cambios de carril en una hora, en una zona Tipo A, debido a que cada vehículo se ve forzado a hacer un cambio de carril. En un segmento Tipo B solo un movimiento cambia de carril por lo que el número de carril requerido desciende a 1000 cambios de carril en una hora. En un segmento Tipo C, un movimiento no está obligado a cambiar de carril, sin en cambio, el otro movimiento deberá cambiar dos veces de carril lo que significa que hará 2000 cambios de carril en una hora.

Por lo mencionado anteriormente, los modelos y algoritmos utilizados para el cálculo en esta zona dependen de parámetros de la configuración, como la longitud del segmento, número de carriles y maniobras que se realizan dentro de esta zona y se debe tener cuidado al momento de elegir la configuración de la zona, debido a que como se ha visto antes, esto puede limitar las maniobras de entrecruzamiento para los vehículos, sobre todo si se trata de una zona Tipo A.

#### **2.7.5. Longitud de entrecruzamiento**

Como los vehículos deben realizar sus maniobras dentro de los límites de la zona de entrecruzamiento, conocer qué longitud debe tener, se vuelve de gran importancia ya que este limita el tiempo y el espacio en el que el conductor realizará todos los cambios de carril necesarios. En el caso de un descenso de la longitud del

segmento, se presentará aumentos de cambios de carril y la turbulencia dentro de la misma.



*Ilustración 23 Longitud del segmento de entrecruzamiento, (HCM, 2000)*

Como se puede observar en la Ilustración 23, se mide desde el borde de entrada en donde los carriles de unión estén separados 0.6m hasta el borde de salida en donde los carriles de unión estén separados 3.7m. Los procedimientos de cálculo generalmente se aplican a segmentos de hasta 750m de largo.

#### **2.7.6. Ancho del segmento de entrecruzamiento**

Una última variable que influye en el funcionamiento de la zona de entrecruzamiento es el ancho, definido como el número de carriles existente entre el área de entrada y el área de salida, incluyendo el carril de paso o carril auxiliar, en el caso de estar presente. A medida que se incrementa el número de carriles también aumenta el rendimiento y capacidad de la zona.

#### **2.7.7. Tipos de operaciones**

Los tipos de operaciones se clasifican en dos zonas con condiciones: zonas sin restricción y zonas restringidas. En la zona restringida, los vehículos se encuentran restringidos por la configuración, el número de vehículos que van a realizar el cambio de carril y los carriles necesarios para dicho cambio. Esto puede dar como resultado que los vehículos que van a realizar el entrecruzamiento se enfrenten a un congestionamiento, mientras que los vehículos que no realicen el cambio de carril operarán a un mejor nivel de servicio y por ende velocidades más altas que facilitan la circulación de dichos vehículos (Instituto Mexicano de transporte, 1991)



En las zonas sin restricción, en cambio, tanto los vehículos que se entrecruzan como los que no, se encuentran en un equilibrio del espacio utilizado al circular por la zona, de esa manera todos alcanzan un nivel de servicio adecuado y velocidades similares.

Para los cálculos de esta zona de acuerdo con (Instituto Mexicano de transporte, 1991) se involucran tres pasos importantes:

- Primero, se realiza la estimación de la velocidad promedio de recorrido de los vehículos que realizan el cambio de carril y los vehículos que no lo realizan, dentro de la zona de entrecruzamiento.
- Después se verifican las velocidades.
- Por último, se asigna un nivel de servicio.

Toda la metodología de cómo realizar el cálculo completo de la zona de entrecruzamiento se puede encontrar en (HCM, 2000) y (Instituto Mexicano de transporte, 1991) así como también las distintas tablas que se van a utilizar en dichos cálculos.

La longitud de entrecruzamiento no debe superar los 750m de longitud debido a que cambiaría la forma de analizar el área a “Rampas y Uniones de rampas”. Del mismo modo se debe tener en cuenta la capacidad máxima que acepta cada tipo de longitud de entrecruzamiento para el correcto funcionamiento de la intersección, Así, tenemos los siguientes datos: 2,800 pc/h (Tipo A), 4,000 (Tipo B), 3,500 (Tipo C), los cuáles deben tomarse en cuenta, en este caso para el correcto funcionamiento de una turbo rotonda.

## **2.8. Proyección de tráfico**

Una proyección de tráfico se basa en una predicción del tráfico a 15 o 20 años, es decir llevar el TPDA actual a un período final de diseño, esto con el fin de identificar

como se comportará el proyecto a largo plazo. Las tasas varían en períodos de tiempo y se clasifican en livianos, buses y camiones como se indican en la *Tabla 4*, las cuáles han sido tomadas del “Ministerio de Transporte y Obras Públicas” (MTO, 2003)

*Tabla 4 Tasas de crecimiento, (MTO, 2003)*

<b>PERÍODO</b>	<b>LIVIANOS</b>	<b>BUSES</b>	<b>CAMIONES</b>
<b>2015-2020</b>	5.83	2.22	3.59
<b>2020-2025</b>	5.04	1.97	3.19
<b>2025-2030</b>	4.41	1.77	2.88
<b>2030-2035</b>	3.88	1.61	2.61
<b>2035-2040</b>	3.49	1.50	2.42
<b>2040-2045</b>	3.24	1.43	2.29

Mediante la tasa de crecimiento se proyecta el TPDA actual al año 2040 para identificar el comportamiento del proyecto a largo plazo, con la ayuda de la micro simulación. Las estimaciones confiables del tráfico a largo plazo o tráfico futuro permiten justificar la inversión de los proyectos, permitiendo así el desarrollo de estos.

## Capítulo 3: Metodología

### 3.1. Zonas de estudio.

Se escogieron tres intersecciones dentro de la ciudad de Cuenca-Ecuador basándose en los siguientes criterios: Disponibilidad de espacio libre, redondeles en donde sea posible realizar una modificación en un futuro y que se encuentren en la lista de aforos.

Los aforos utilizados fueron realizados por un convenio de cooperación interinstitucional para el Plan de Movilidad y Espacios Públicos de la Ciudad de Cuenca realizado por la Universidad de Cuenca en el año 2014.

Las tres intersecciones de estudio seleccionadas son: Av. Pumapungo y Av. Max Uhle (*Pum\_Mx*), Av. 24 De Mayo y Av. Max Uhle (*24My\_Mx*), y la Av. 24 De Mayo y Rayoloma (*24My\_Ry*), como se muestran en Ilustración 24.



Ilustración 24 Intersecciones de estudio seleccionadas

### 3.1.1. Av. Pumapungo y Av. Max Uhle (*Pum\_Mx*).

Es una Intersección en cruz de tipo semaforizada ubicada al Sur-Este de la ciudad de Cuenca en la parroquia urbana de Monay, como se aprecia en el área de estudio 1 de la Ilustración 25, es considerada de alto flujo ya que es un corredor que une la zona Sur-Este con la zona central de Cuenca. Cabe destacar, que la población de la parroquia de Monay en el 2001 fue de 15.860 habitantes aumentando un 37,79% al 2010 llegando a tener una población de 21.853 habitantes (INEC, 2001, 2010) Su territorio alcanza las 550 hectáreas, ocupando la quinta posición según el tamaño de las parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca (Municipio de Cuenca, 2015)



Ilustración 25 Intersección Av. Pumapungo y Av. Max Uhle (*Pum\_Mx*).

### 3.1.2.1. Composición vehicular:

La composición vehicular de la intersección Pum\_Mx (Municipio Cuenca & Universidad de Cuenca, 2015) corresponde al siguiente resumen de un aforo de 14 horas de duración:

- Livianos con 32476 unidades que representa el 96.63%.
- Buses con 526 unidades, que representa el 1.57%.
- Camiones con 608 unidades, donde están incluidos los camiones 2E, 3E, 4E, 5E y 6E que representan el 1.81% del total (562 camiones son de 2E).

En la Tabla 5, se muestra un resumen del conteo de tráfico horario de la intersección Pum\_Mx, donde se replican los porcentajes expuestos.

Tabla 5 Resumen del conteo de tráfico horario de la intersección. (Municipio Cuenca & Universidad de Cuenca, 2015)

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL: PLAN DE MOVILIDAD Y ESPACIOS PUBLICOS DE CUENCA								
RESUMEN DE CONTEO DE TRAFICO POR INTERSECCION (Solo Vehiculos)								
INTERSECCION:	Nº 15	Av. Pumapungo y Av. Max Uhle						
FECHA:	jueves, 12 de marzo de 2015			INICIO:	06H00	FIN: 20H00		
Periodo cada 15 min	LIV	BUS	CAMIONES					Total
			2 EJES	3 EJES	TRAILER			
					4E	5E	6E	
6h00-7h00	1584	25	11	1	0	0	0	1621
7h00-8h00	2739	44	35	1	0	0	1	2820
8h00-9h00	2470	48	43	5	0	0	1	2567
9h00-10h00	2096	36	53	2	0	0	0	2187
10h00-11h00	1972	35	40	1	0	1	0	2049
11h00-12h00	1923	30	39	3	1	0	2	1998
12h00-13h00	2537	37	48	2	0	1	0	2625
13h00-14h00	2410	42	45	4	0	0	0	2501
14h00-15h00	2338	44	33	1	2	0	2	2420
15h00-16h00	2428	40	56	1	0	1	1	2527
16h00-17h00	2378	40	48	3	0	0	0	2469
17h00-18h00	2520	37	48	3	0	0	0	2608
18h00-19h00	2676	38	42	5	0	0	0	2761
19h00-20h00	2405	30	21	1	0	0	0	2457
<b>TOTAL</b>	<b>32476</b>	<b>526</b>	<b>562</b>	<b>33</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>33610</b>
<b>%</b>	<b>96.63%</b>	<b>1.57%</b>	<b>1.67%</b>	<b>0.10%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.02%</b>	<b>100.00%</b>

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL: PLAN DE MOVILIDAD Y ESPACIOS PUBLICOS DE CUENCA								
RESUMEN DE CONTEO DE TRAFICO POR INTERSECCION (Solo Vehiculos)								
INTERSECCION:	Nº 15	Av. Pumapungo y Av. Max Uhle						
FECHA:	jueves, 12 de marzo de 2015			INICIO:	06H00	FIN: 20H00		
Periodo cada 15 min	LIV	BUS	CAMIONES					Total
			2 EJES	3 EJES	TRAILER			
					4E	5E	6E	
6h00-7h00	1584	25	11	1	0	0	0	1621
7h00-8h00	2739	44	35	1	0	0	1	2820
8h00-9h00	2470	48	43	5	0	0	1	2567
9h00-10h00	2096	36	53	2	0	0	0	2187
10h00-11h00	1972	35	40	1	0	1	0	2049
11h00-12h00	1923	30	39	3	1	0	2	1998
12h00-13h00	2537	37	48	2	0	1	0	2625
13h00-14h00	2410	42	45	4	0	0	0	2501
14h00-15h00	2338	44	33	1	2	0	2	2420
15h00-16h00	2428	40	56	1	0	1	1	2527
16h00-17h00	2378	40	48	3	0	0	0	2469
17h00-18h00	2520	37	48	3	0	0	0	2608
18h00-19h00	2676	38	42	5	0	0	0	2761
19h00-20h00	2405	30	21	1	0	0	0	2457
<b>TOTAL</b>	<b>32476</b>	<b>526</b>	<b>562</b>	<b>33</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>33610</b>
<b>%</b>	<b>96.63%</b>	<b>1.57%</b>	<b>1.67%</b>	<b>0.10%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.01%</b>	<b>0.02%</b>	<b>100.00%</b>

Además, dentro del aforo vehicular se reportan valores importantes dentro de la ingeniería de tránsito como son:

- Tráfico Promedio horario TPH: 2401 Vehículos/hora.
- Volumen Horario de Máxima Demanda VHMD: 2855 Vehículos/hora.
- Q15 más alto del tráfico Q15max: 802 Vehículos (07:15-07:30).
- Volumen horario de diseño VHD: 3208 Vehículos/hora.
- Factor Horario de Máxima Demanda: 0,89.
- Hora de máxima demanda: 06:45-07:45.

**3.1.2.2. Giros en la intersección o matrices O/D:**

Las matrices de origen a destino (O/D) cuantifican los flujos de tránsito (vehículos de pasajeros y de carga) entre diferentes estaciones de un área o intersección de estudio. (Lopez, 2015)

Para el análisis de la intersección se realizaron matrices (O/D) únicamente para la hora de máxima demanda como se muestra en la Tabla 6, la cual, a su vez se representa en la Ilustración 26.

*Tabla 6 Matriz (O/D) de la intersección (Pum\_Mx) para la hora de máxima demanda. Elaborado por Machado & Zúñiga.*

<b>Matriz (O/D) para la intersección (Pum_Mx) en la hora de máxima demanda (06:45-07:45).</b>						
<b>Or \ De</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>Total</b>	
<b>E1</b>		35	413	158	606	
<b>E2</b>	12		66	513	591	
<b>E3</b>	302	61		221	584	
<b>E4</b>	138	650	250		1038	



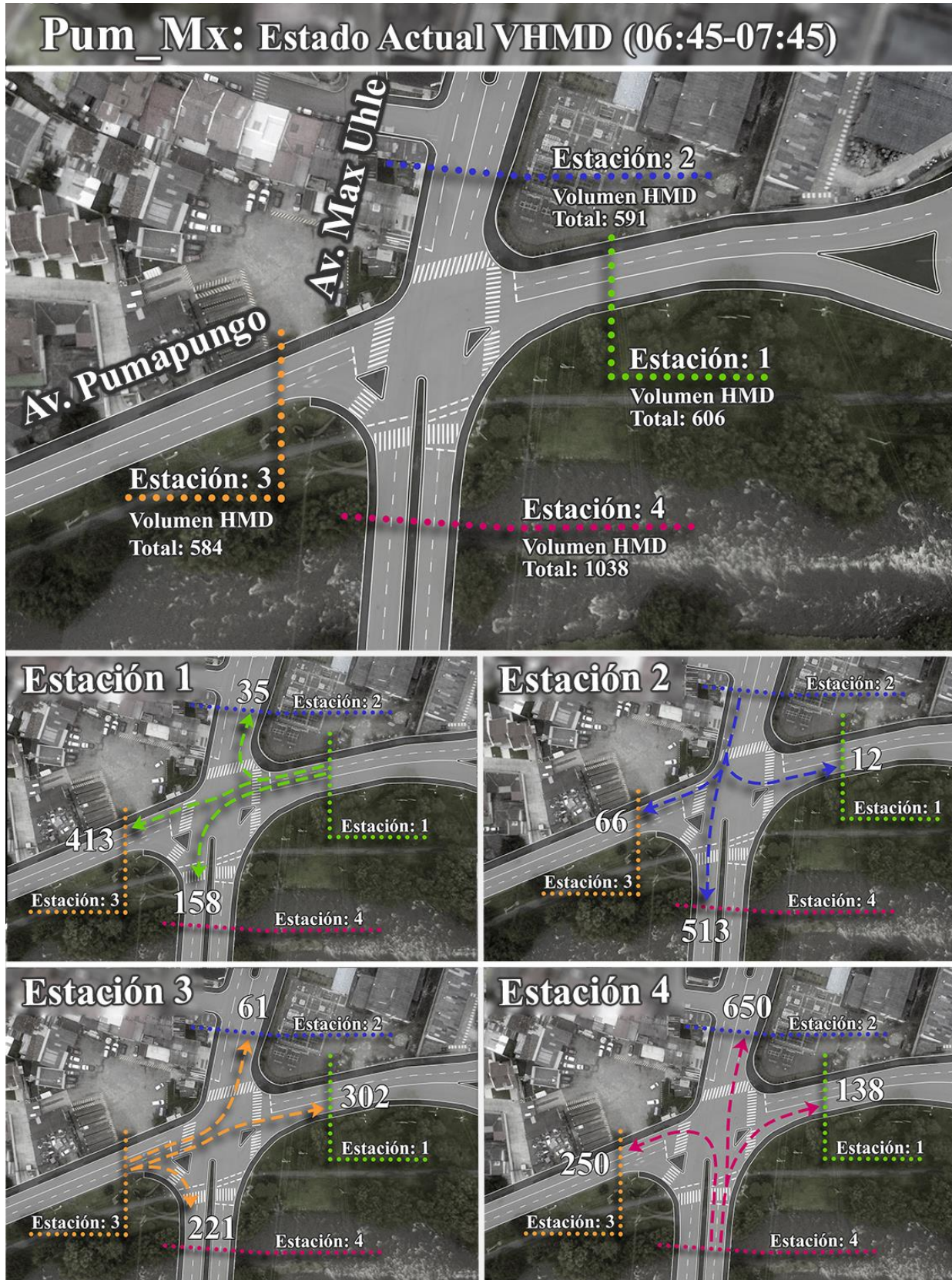


Ilustración 26: Representación gráfica de matriz (O/D) para la hora de máxima demanda de la intersección

(Pum\_Mx). Elaborado por Machado & Zúñiga.

### 3.1.2.3. Fase Semafórica

La intersección cuenta con 5 semáforos, uno de ellos exclusivo para maniobra hacia la izquierda, los 4 restantes son semáforos estándar, en la Tabla 7 se muestra el tiempo de la fase semafórica para la intersección, en la Ilustración 27 se muestran las maniobras permitidas por cada fase de la intersección.

Tiempo [sg] de Fase Semafórica Av. Pumapungo y Max Uhle			
Fase 1:	16	2	79
Fase 2:	39		56
Fase 3:	19	20	56
Fase 4:	42		29
Fase 5:	69		25
TOTAL CICLO:	97 sg		

Tabla 7 Tiempo de fase semafórica de la intersección Av. Pumapungo y Max Uhle. Elaborado por Machado & Zúñiga.

Tiempo [sg] de Fase Semafórica Av. Pumapungo y Max Uhle			
Fase 1:	16	2	23
Fase 2:	39		2
Fase 3:	19	20	2
Fase 4:	41		2
Fase 5:	41		2
	42 sg		55 sg
TOTAL CICLO:	97 sg		

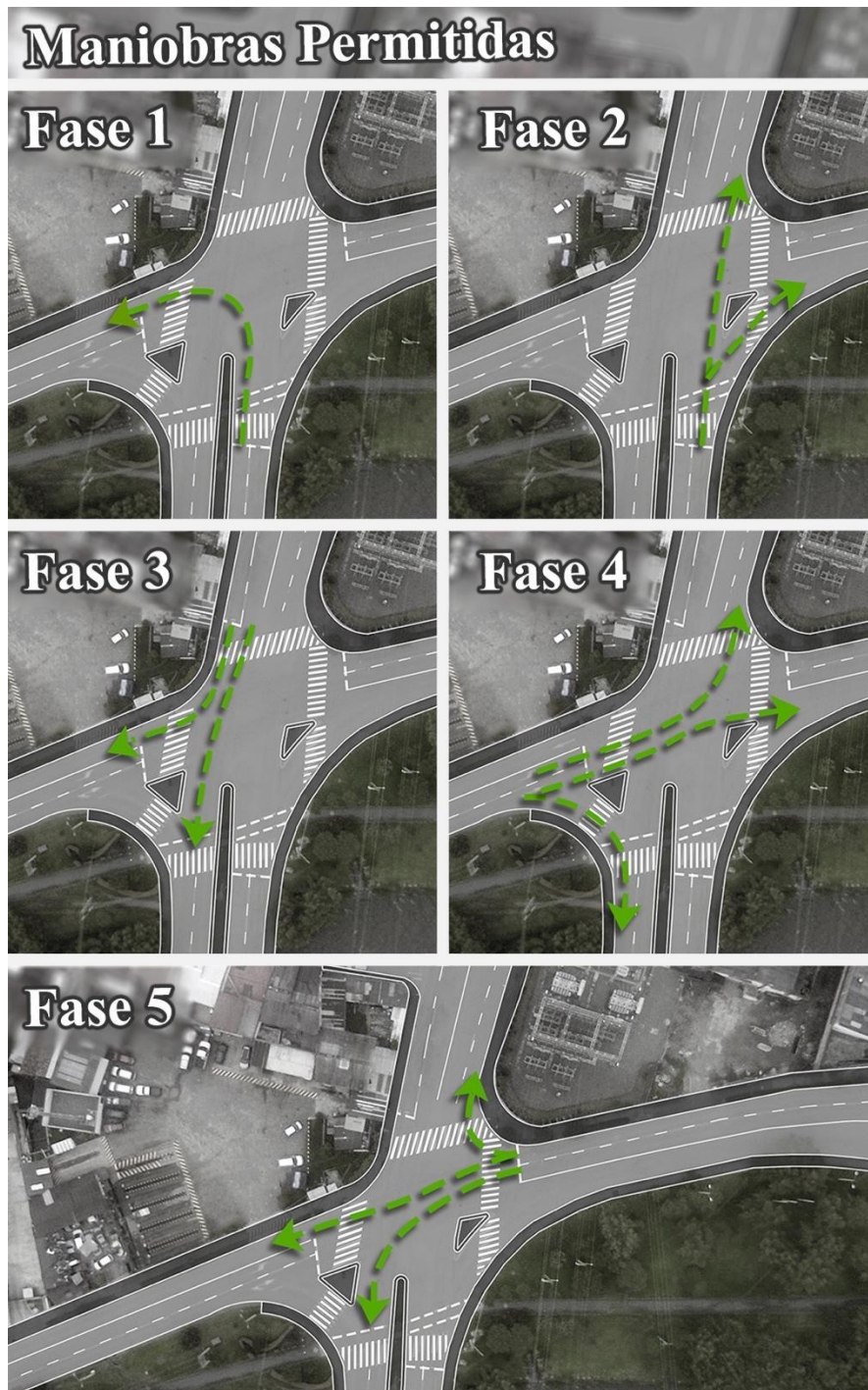


Ilustración 27 Maniobras permitidas para cada fase en la intersección de Av. Pumapungo y Max Uhle..

### 3.1.2. Av. 24 De Mayo y Av. Max Uhle (24My\_Mx).

Es una intersección de tipo redondel que se encuentra ubicada al Sur-Este de la ciudad de Cuenca en la parroquia urbana de Monay, se encuentra justo en la intersección desde la (Pum\_Mx) continuando en dirección sur por la calle Max Uhle hasta llegar a la Av. 24 de Mayo, como se muestra en el área de estudio 2 en Ilustración 28.

Este redondel es un distribuidor de tráfico y un derivador desde y hacia la Autopista Cuenca-Azogues, lo que lo hace una intersección de alto flujo e importancia para la parte sur de la ciudad.



Ilustración 28 Intersección Av. 24 de Mayo y Max Uhle (24My\_Mx).

#### 3.1.2.1. Composición vehicular:

La composición vehicular de la intersección (24My\_Mx) (Municipio Cuenca & Universidad de Cuenca, 2015) corresponde al siguiente resumen de un aforo de 14 horas de duración:

- Livianos con 37934 unidades que representa el 95.50%.
- Buses con 899 unidades, que representa el 2.26 %.
- Camiones con 88 unidades, donde están incluidos los camiones 2E, 3E, 4E, 5E y 6E que representan el 2.24 % del total (767 camiones son de 2E).

En la Tabla 8, se muestra un resumen del conteo de tráfico horario de la intersección (24My\_Mx), ahí se replican los porcentajes expuestos.

Tabla 8 Resumen del conteo de tráfico horario de la intersección (24My\_Mx). (Municipio Cuenca & Universidad de Cuenca, 2015)

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL: PLAN DE MOVILIDAD Y ESPACIOS PUBLICOS DE CUENCA									
RESUMEN DE CONTEO DE TRAFICO POR INTERSECCION (Solo Vehiculos)									
INTERSECCION:	N° 16		Av. 24 De Mayo y Av. Max Uhle						
FECHA:	miércoles, 11 de marzo de 2015			INICIO:	06H00		FIN:	20H00	
Periodo cada 15 min	LIV	BUS	CAMIONES					Total	
			2 EJES	3 EJES	TRAILER				
					4E	5E	6E		
6h00-7h00	1876	43	22	4	1	1	0	1947	
7h00-8h00	3166	64	51	2	0	0	0	3283	
8h00-9h00	3007	73	67	11	1	0	1	3160	
9h00-10h00	2381	57	76	9	2	1	0	2526	
10h00-11h00	2199	59	69	5	0	0	1	2333	
11h00-12h00	2076	55	52	10	0	1	1	2195	
12h00-13h00	2687	61	51	7	1	1	0	2808	
13h00-14h00	2591	80	45	6	0	0	0	2722	
14h00-15h00	2974	87	64	11	1	0	2	3139	
15h00-16h00	2999	69	63	7	0	0	0	3138	
16h00-17h00	2942	74	67	13	0	0	1	3097	
17h00-18h00	2992	75	57	6	0	0	0	3130	
18h00-19h00	3257	60	53	8	0	0	0	3378	
19h00-20h00	2787	42	30	5	1	0	0	2865	
<b>TOTAL</b>	<b>37934</b>	<b>899</b>	<b>767</b>	<b>104</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>39721</b>	
<b>%</b>	<b>95,50%</b>	<b>2,26%</b>	<b>1,93%</b>	<b>0,26%</b>	<b>0,02%</b>	<b>0,01%</b>	<b>0,02%</b>	<b>100,00%</b>	

Además, dentro del aforo vehicular se reportan valores importantes dentro de la ingeniería de tránsito como:

- Trafico Promedio horario TPH: 2838 Vehículos/hora.

- Volumen Horario de Máxima Demanda VHMD: 3390 Vehículos/hora.
- Q15 más alto del tráfico Q15max: 870 Vehículos.
- Volumen horario de diseño VHD: 3480 Vehículos/hora.
- Factor Horario de Máxima Demanda: 0,974.
- Hora de máxima demanda: 17:45-18:45.

**3.1.2.2. Giros en la intersección o matrices O/D:**

Para el análisis de la intersección se realizaron matrices (O/D) únicamente para la hora de máxima demanda, además, se consideró para el estudio que el volumen de vehículos para los giros de retorno, (giros en U), sean añadidos a los giros izquierdos de la misma estación, esto debido a que el modelamiento por micro simulación no permite simular los giros de retorno. La matriz (O/D) se muestra en la Tabla 9, la cual, a su vez, se representa en la Ilustración 29.

<b>Matriz (O/D) para la intersección (24M_Mx) en la hora de máxima demanda (17:45-18:45)</b>						
<b>Or \ De</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>Total</b>	
<b>E1</b>		566	471	359	1396	
<b>E2</b>	246		152	204	602	
<b>E3</b>	269	281		223	773	
<b>E4</b>	162	306	150		618	

Tabla 9: Tabla Matriz (O/D) de la intersección (24My\_Mx) para la hora de máxima demanda.

24My\_Mx: Estado Actual VHMD (17:45-18:45)

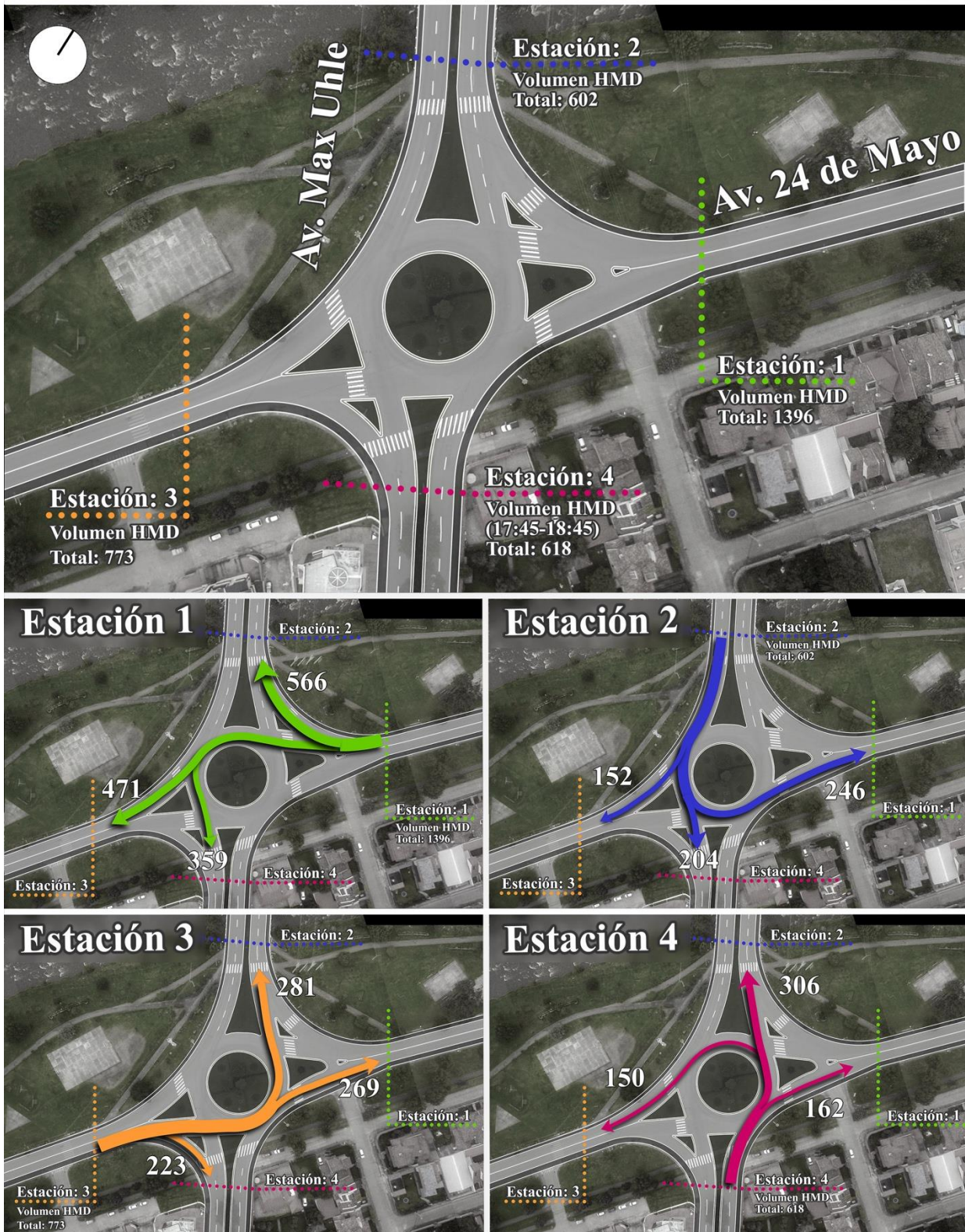


Ilustración 29: Representación gráfica de matriz (O/D) para la hora de máxima demanda de la intersección (24My\_Mx).

### 3.1.3. Av. 24 de Mayo y Rayoloma (24My\_Ry)

Es una Intersección de tipo redondel que se encuentra ubicada al Sur-Este de la ciudad de Cuenca en la parroquia urbana de Monay, se encuentra dirigiéndose en dirección Este por la Av. 24 de Mayo hasta llegar a la Calle Rayoloma, como se muestra en la Ilustración 30.

La intersección (24My\_Ry) está ubicada a menos de 200 m del centro comercial: Monay Shopping, y a menos de 1 Km del hospital Regional José Carrasco Arteaga (IESS) por lo que está dentro de la zona de incidencia del flujo de vehículos que ingresen al centro comercial y del flujo que se dirigen hacia y desde el hospital del IESS.



Ilustración 30 Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma (24My\_Ry).

#### 3.1.3.1. Composición vehicular

La composición vehicular de la intersección (24My\_Ry) (Municipio Cuenca & Universidad de Cuenca, 2015) corresponde al siguiente resumen de un aforo de 14 horas de duración:

- Livianos con 34259 unidades que representa el 95.52%.



- Buses con 929 unidades, que representa el 2.59 %.
- Camiones con 679 unidades, donde están incluidos los camiones 2E, 3E, 4E, 5E y 6E que representan el 1.89% del total (599 camiones son de 2E).

En la Tabla 10, se muestra un resumen del conteo de tráfico horario de la intersección (24My\_Ry), donde se replican los porcentajes expuestos.

Tabla 10 Resumen del conteo de tráfico horario de la intersección (24My\_Ry). (Municipio Cuenca & Universidad de Cuenca, 2015)

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL: PLAN DE MOVILIDAD Y ESPACIOS PUBLICOS DE CUENCA									
RESUMEN DE CONTEO DE TRAFICO POR INTERSECCION (Solo Vehiculos)									
INTERSECCION:	Nº 7		Av.24 de Mayo y Rayoloma						
FECHA:	Friday, March 13, 2015			INICIO:	06H00		FIN:	20H00	
Periodo cada 15 min	LIV	BUS	CAMIONES					Total	
			2 EJES	3 EJES	TRAILER				
					4E	5E	6E		
6h00-7h00	1486	68	11	2	0	0	0	1567	
7h00-8h00	2774	68	30	3	0	1	0	2876	
8h00-9h00	2182	63	40	4	1	0	1	2291	
9h00-10h00	2047	63	51	9	0	0	4	2174	
10h00-11h00	2012	66	36	11	0	0	1	2126	
11h00-12h00	1993	64	59	2	0	0	0	2118	
12h00-13h00	2251	63	51	5	0	1	2	2373	
13h00-14h00	3194	61	43	2	1	0	0	3301	
14h00-15h00	2675	89	49	5	1	1	0	2820	
15h00-16h00	2475	62	47	3	0	0	0	2587	
16h00-17h00	2886	63	58	3	0	0	0	3010	
17h00-18h00	2902	74	37	6	0	1	2	3022	
18h00-19h00	2999	66	46	3	0	1	1	3116	
19h00-20h00	2383	59	41	2	0	0	1	2486	
<b>TOTAL</b>	<b>34259</b>	<b>929</b>	<b>599</b>	<b>60</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>35867</b>	
%	95.52%	2.59%	1.67%	0.17%	0.01%	0.01%	0.03%	100.00%	

Además, dentro del aforo vehicular se reportan valores importantes dentro de la ingeniería de tránsito como:

- Tráfico Promedio horario TPH: 2562 Vehículos/hora.
- Volumen Horario de Máxima Demanda VHMD: 3301 Vehículos/hora.
- Q15 más alto del tráfico Q15max: 882 Vehículos.

- Volumen horario de diseño VHD: 3528 Vehículos/hora.
- Factor Horario de Máxima Demanda: 0,936.
- Hora de máxima demanda: 18:00-19:00.

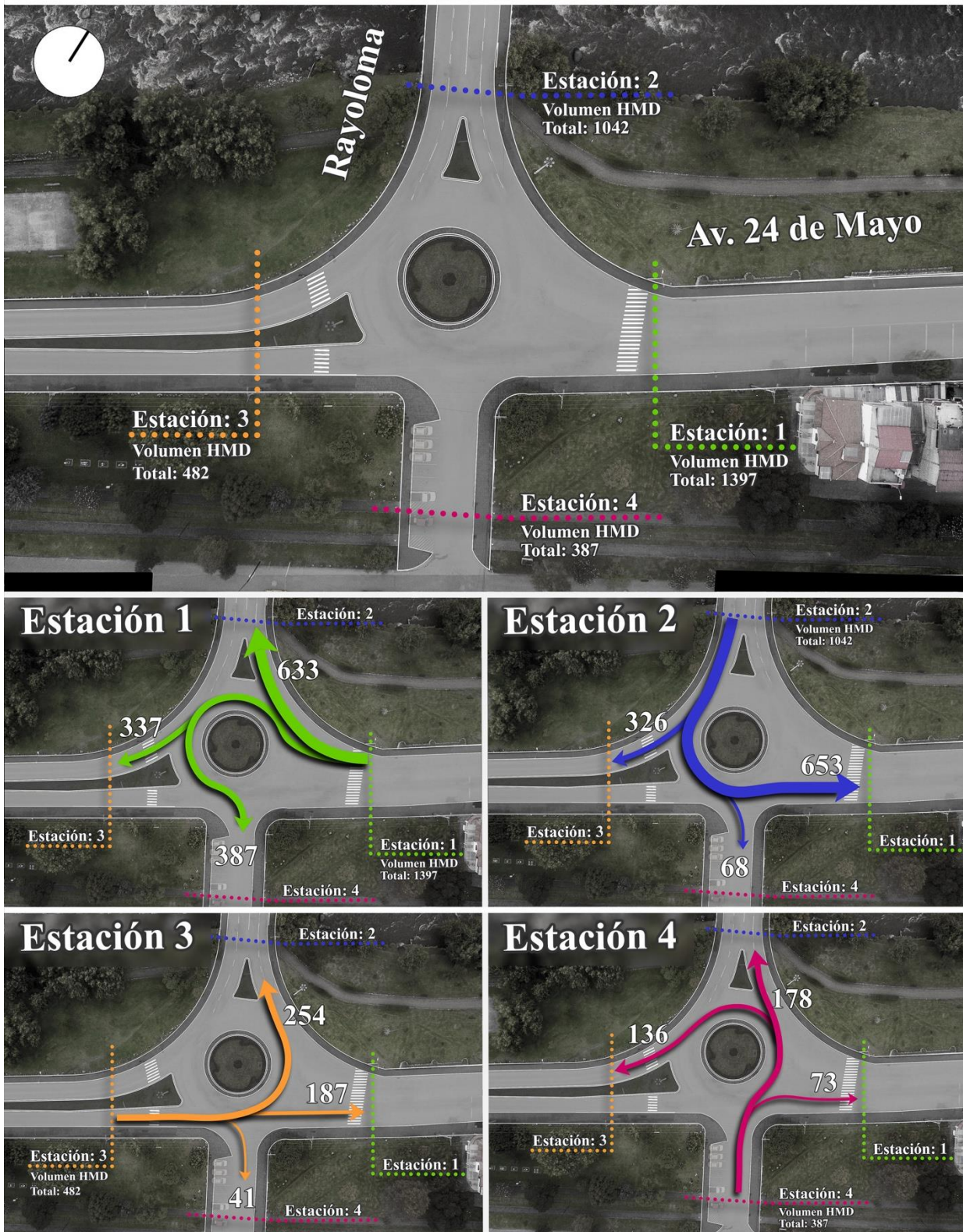
### 3.1.3.2. Giros en la intersección o matrices O/D:

Para el análisis de la intersección se realizaron matrices (O/D) únicamente para la hora de máxima demanda, además, se consideró para el estudio que el volumen de vehículos para los giros de retorno, (giros en U), sean añadidos a los giros izquierdos de la misma estación, esto debido al problema del modelamiento por micro simulación mencionado anteriormente. La matriz (O/D) se muestra en la *Tabla 11*, la cual, a su vez, se encuentra representada en la *Ilustración 31*.

*Tabla 11: Tabla Matriz (O/D) de la intersección (24My\_Ry) para la hora de máxima demanda. Elaborado por Machado & Zúñiga*

<b>Matriz (O/D) para la intersección (24M_Mx) en la hora de máxima demanda (17:45-18:45)</b>						
<b>Or</b> \ <b>De</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>Total</b>	
<b>E1</b>		633	377	387	1397	
<b>E2</b>	653		326	63	1042	
<b>E3</b>	187	254		41	482	
<b>E4</b>	73	178	136		387	

24My\_Ry: Estado Actual VHMD (18:00-19:00)



: Matriz (O/D) de la intersección (24M\_Ry) para la hora de máxima demanda. Elaborado por Machado & Zúñiga.

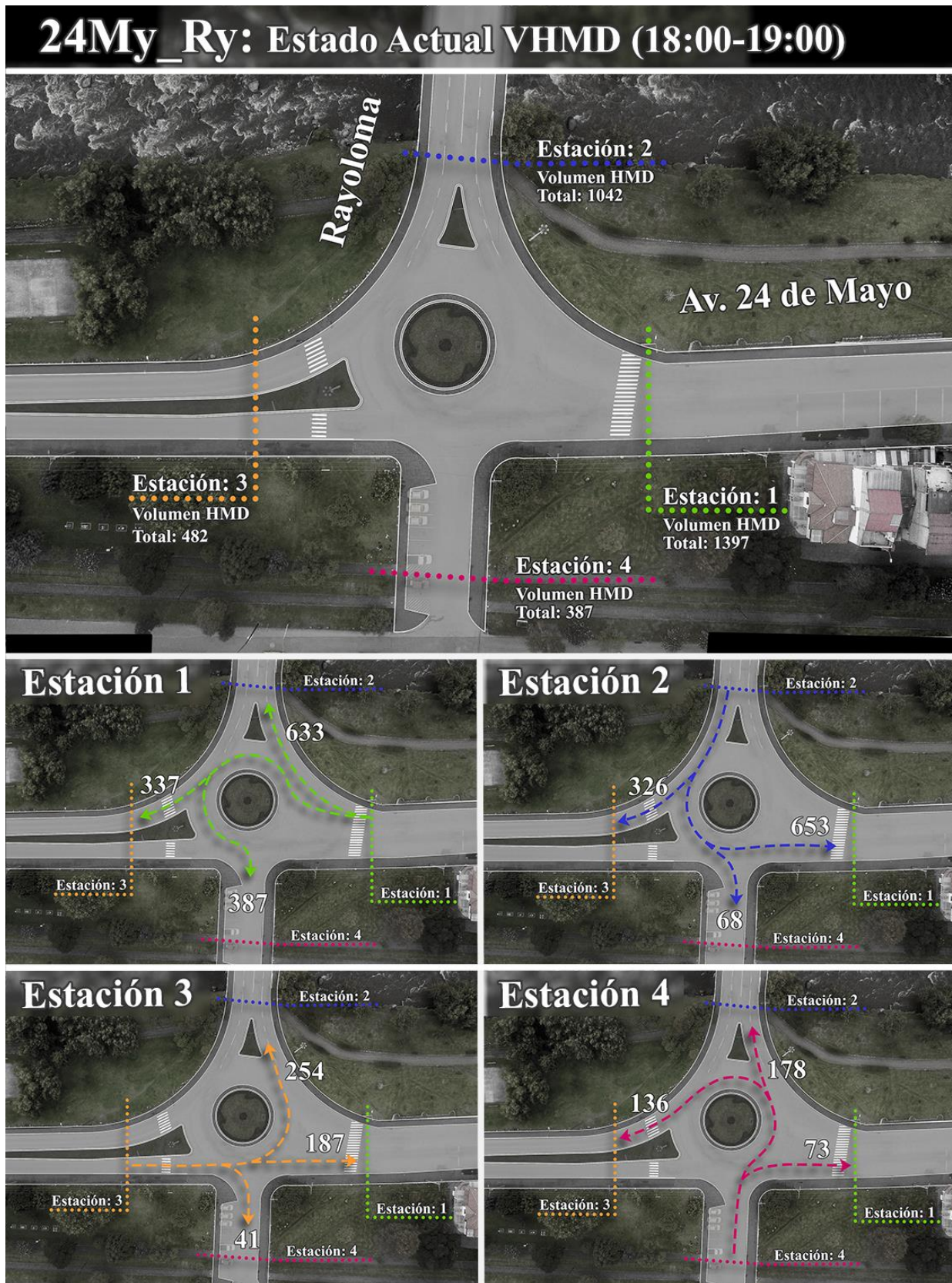


Ilustración 31: Representación gráfica de matriz (O/D) para la hora de máxima demanda de la intersección (24My\_Ry).

A continuación, se presenta la metodología empleada para el proceso de diseño geométrico de una turbo rotonda en espiral según (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017) en la cual los autores unen las especificaciones técnicas de Holanda y Eslovenia, quienes son los países que más desarrollo tienen respecto a turbo rotondas. (Lopez, 2015) Para el diseño de una turbo rotonda de tipo rodilla se utiliza el proceso mostrado por el autor Akshay Salwan (Salwan, Easa, Raju, & Arkatkar, 2021)

El diseño de una turbo rotonda se lo puede realizar siguiendo los siguientes pasos:

1. Seleccionar un tipo de bloque de turbo rotonda disponible.
2. Definir el vehículo tipo de diseño.
3. Crear una plantilla a partir del bloque de turbo rotonda seleccionado.
4. Diseñar el resto de los elementos de la turbo rotonda
5. Análisis de la trayectoria horizontal del vehículo de diseño.

### **3.2. Tipo de bloque turbo rotonda.**

De los diferentes tipos de bloques de turbo rotondas presentados en el capítulo anterior se seleccionan el tipo de rotonda en espiral para las intersecciones:  $Mx\_Pum$  y la  $24My\_Mx$ , y la de tipo rodilla o rótula para la intersección  $24My\_Ry$ . Todas con cuatro ramales de entrada y salida.

### **3.3. Vehículo de diseño.**

Para el vehículo de diseño, de acuerdo a las especificaciones técnicas de diseño geométrico de los países de Holanda (CROW, 2008) Croacia (Autoridad Croata de Carreteras, 2014) Alemania (FGSV, 2001) Eslovenia (Ministerio de Transporte de Eslovenia, 2011) y Serbia (Autoridad Serbia de Carreteras, 2012) una turbo rotonda debe proveer el espacio necesario para que la trayectoria del vehículo de diseño no se vea afectado por la misma, por lo que por recomendación general el vehículo tipo

de diseño debe ser un camión de 16,50 m con un semirremolque (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017) como se muestra en Ilustración 32 y en la *Tabla 12* que se muestran las dimensiones del vehículo de diseño de las diferentes normativas europeas. Para este estudio se escoge el vehículo de diseño de la normativa holandesa, el cual, es el equivalente a un vehículo T2-S3 para la norma ecuatoriana vial (NEVI-12, 2013) como se muestra en el Anexo Anexo 1 siguiendo las recomendaciones por (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017)

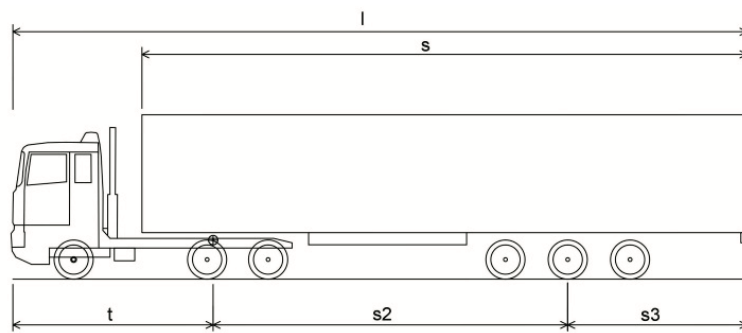


Ilustración 32 vehículo de diseño (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017).

Tabla 12: dimensiones de vehículo de diseño con semirremolque de Holanda, Croacia, Alemania y Serbia. (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017)

Elemento:	Vehículo de Diseño			
	Holandesa (CROW, 2008)	Croata (Autoridad Croata de Carreteras, 2014)	Alemana (FGSV, 2001)	Serbia (Autoridad Serbia de Carreteras, 2012)
<b>Longitud total l [m]</b>	16,5	16,5	16,53	15,4
<b>Ancho total w [m]</b>	2,55	2,5	2,5	2,5
<b>longitud de semitrailer s [m]</b>	13,6	13,6	13,61	12,2
<b>distancia entre ejes s2 [m]</b>	7,8	7,97	7,78	7,15
<b>voladizo trasero efectivo s3 [m]</b>	4,2	4,03	4,25	3,75
<b>Voladizo delantero t [m]</b>	4,5	4,5	4,5	4,5

### 3.4. Turbo bloque.

El turbo bloque es un boceto auxiliar para el diseño de una turbo rotonda (Fortuijn, 2009) que permite un diseño preliminar del tipo de turbo rotonda a diseñar, se considera el primer paso para un correcto diseño.

Los turbos bloques de las normativas de Holanda (CROW, 2008) las especificaciones técnicas de Eslovenia (Ministerio de Transporte de Eslovenia, 2011) Croacia (Autoridad Croata de Carreteras, 2014), y el Manual de diseño de Serbia (Autoridad Serbia de Carreteras, 2012), contemplan un desplazamiento en el eje de traslación de 5cm como se muestra en la Ilustración 33, por otro lado, la normativa de Alemania (FGSV, 2001) ignora este desplazamiento, por lo que se adopta este tipo de turbo bloque para las intersecciones de  $Mx\_Pum$  y la  $24My\_Mx$ .

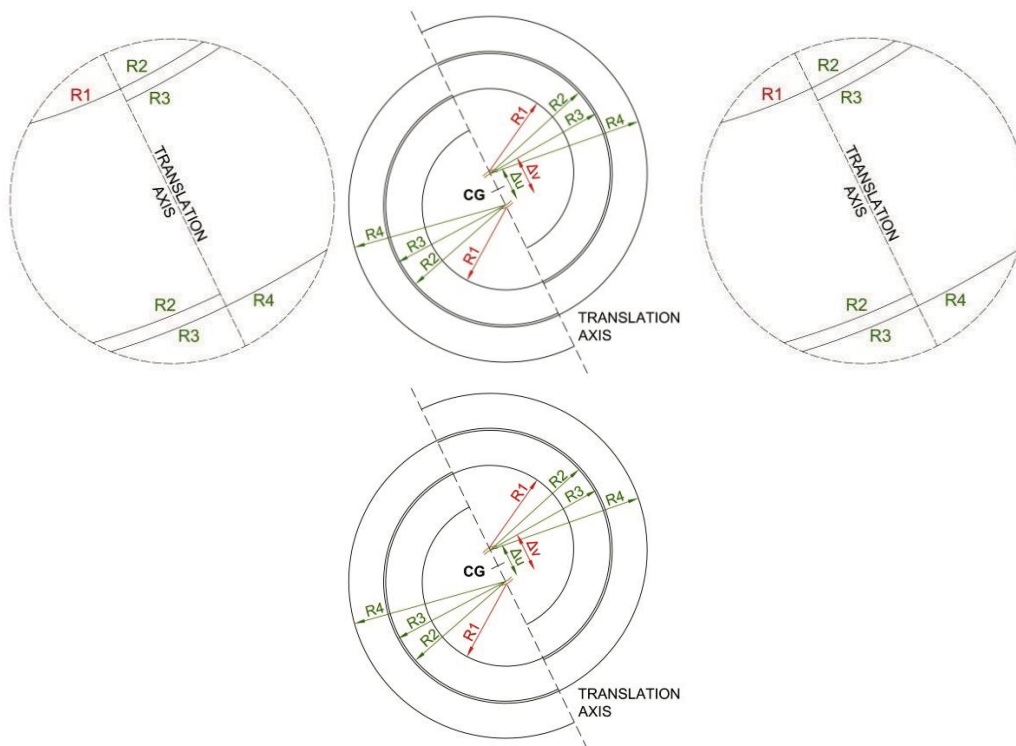


Ilustración 33 desplazamiento de arcos (CROW, 2008)

Según la normativa alemana el turbo bloque consiste en tres pares de radios (R1, R2, R3) y solo dos centros que se encuentran en el eje de traslación separados una

distancia entre sí. El primer centro representa los arcos circulares en un lado del eje de traslación, y el segundo centro representa los arcos circulares en el otro lado del eje de traslación. La inclinación del plano de traslación se recomienda que sea de 110° a 120° con respecto a la horizontal (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017) como se muestra en la Ilustración 34 y la Ilustración 35.

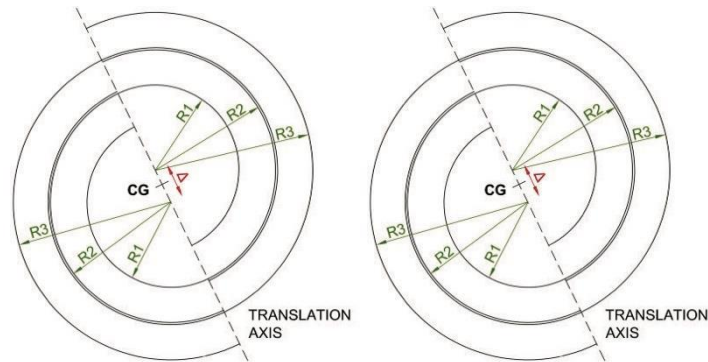


Ilustración 34 Turbo Bloque de acuerdo a la normativa alemana. (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017)

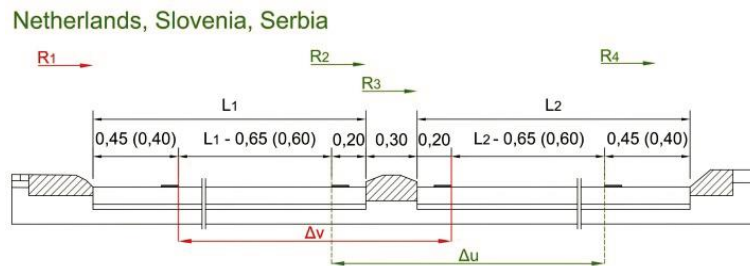


Ilustración 35 Sección transversal del Turbo bloque según la normativa holandesa (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017)

Las normativas de Holanda, (CROW, 2008) Croacia (Autoridad Croata de Carreteras, 2014) las especificaciones técnicas de Eslovenia (Ministerio de Transporte de Eslovenia, 2011) y el manual de diseño de Serbia (Autoridad Serbia de Carreteras, 2012) proporcionan varias plantillas de Turbo Bloques, dependiendo del tamaño de la calzada circulatoria de la turbo rotonda. (Tabla 13).

Tabla 13 : Plantillas de Turbo Bloques (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017)



Elemento:	Plantilla de Turbo Bloques							
	Mini		Regular		Mediana		Grande	
	Holandesa Eslovaca Serbia	Croata	Holandesa Eslovaca Serbia	Croat a	Holande sa Eslovaca Serbia	Croata	Holandesa Eslovaca Serbia	Croata
R1 / m	10,50	10,45	12,00		15,00	14,95	20,00	19,95
R2 / m	15,85		17,15		20,00		24,90	
R3 / m	16,85		14,45		20,30		25,20	
R4 / m	21,15	21,20	22,45		25,20	25,25	29,90	29,95
L1 / m	5,35	5,40	5,15		5,00	5,05	4,90	4,95
L2 / m	5,00	5,05	5,00		4,90	4,95	4,70	4,75
$\Delta v$ / m	5,75		5,35	5,30	5,15		5,15	
$\Delta u$ / m	5,05		5,05	5,00	4,95		4,75	

Debido a la disponibilidad de espacio en las zonas de estudio, se escoge el turbo bloque de tamaño mini para las intersecciones *Mx\_Pum* y la *24My\_Mx*.

Para la intersección *24My\_Ry*, el diseño de la turbo rotonda tipo rodilla se basó en el estudio realizado por Akshay Salwan (Salwan, Easa, Raju, & Arkatkar, 2021) como se describe a continuación.

Hay que tener en cuenta que la turbo rotonda tipo rodilla es igual a la turbo rotonda de tipo básico, excepto que incluye un carril de derivación para el acceso 2 ( Ilustración 37). La ventaja del carril de derivación es que ofrece más capacidad a la intersección. Los radios del turbo bloque se incrementa después de cada intervalo definido por el eje de traslación como se muestra en Ilustración 36.

Siguiendo la normativa holandesa (CROW, 2008) al diseñar la bahía transitable se observa un desplazamiento entre la bahía de interna y la externa, la cual, es representada por la constante (m) mostrada en

Ilustración 37. El ancho del carril circulatorio se indica como: ( $Wc$ ), y el radio de los círculos continuos está dado por la siguiente ecuación:

$$R_2 = \frac{W_c + m + 2 \cdot R_1}{2}$$

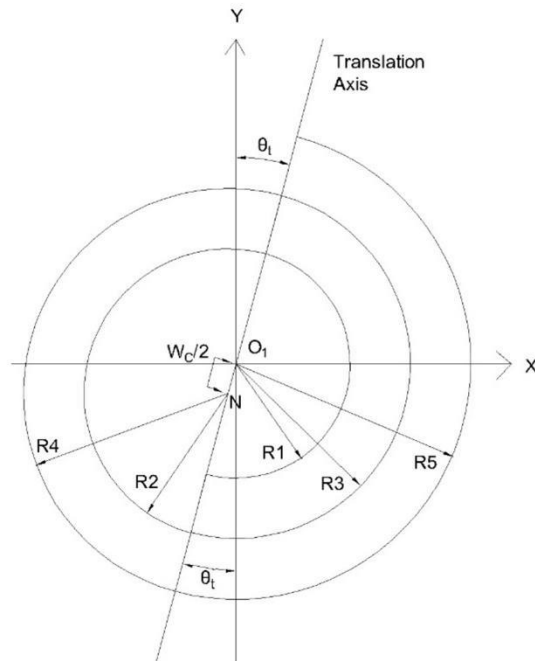


Ilustración 36 Diseño del turbo bloque y carriles de circulación (Salwan, Easa, Raju, & Arkatkar, 2021)

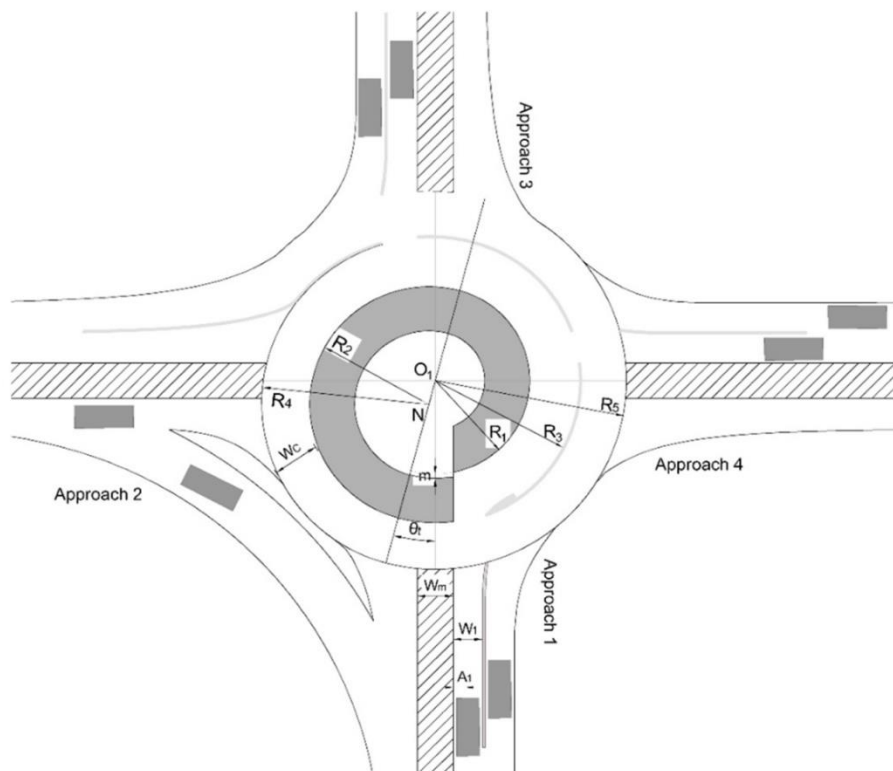


Ilustración 37 Geometría de turbo rotonda tipo Rodilla, (Salwan, Easa, Raju, & Arkatkar, 2021)

Para el diseño de la intersección  $24M_y_{Ry}$  se utilizaron los valores mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14: Parámetros utilizados para el diseño geométrico de turbo rotonda tipo rodilla.

Parámetro	Valor
<b>X0</b>	0,00
<b>Y0</b>	0,00
<b>R1</b>	10.50 m
<b>W1</b>	3.19 m
<b>m</b>	0.43 m
<b>Wm</b>	4.00 m
<b>WC</b>	5.15 m
<b>A1</b>	2.00 m
<b>A2</b>	1.78 m
<b>L min</b>	14.95 m
<b><math>\theta T</math></b>	0.26 (rad)

### 3.5. Otros elementos de la Turbo Rotonda.

Después de crear el turbo bloque los elementos restantes de la turbo rotonda pueden ser diseñados, tales como: isla central, accesos, divisores de carril elevados. Como se describen a continuación.

#### 3.5.1. Isla Central.

La isla central de la turbo rotonda consiste en una bahía transitable y no transitable. De acuerdo a la normativa holandesa (CROW, 2008) la bahía transitable permite el paso de vehículos de hasta 22 m de longitud a través del carril de circulación central, además de permitir que vehículos de emergencia y vehículos normales en caso de emergencia puedan detenerse; por otra parte, la bahía no transitable se utiliza para colocar señales de tránsito que cortan la vista del horizonte en la dirección del viaje, el cual es un requisito de seguridad para turbo rotondas. Según la normativa holandesa (CROW, 2008) el ancho recomendable para la bahía transitable es de 5 m.

El inicio de la bahía transitable puede ser diseñado de forma recta o en espiral, como se muestra en Ilustración 38. La normativa holandesa recomienda que sea diseñado un inicio recto, debido a que la forma en espiral es ambigua para los conductores que se aproximan a la entrada de la turbo rotonda generando confusión y cambios de carril innecesarios. El trasfondo de este principio a menudo se malinterpreta. La suposición subyacente es que para los conductores este completamente claro que se están acercando a un obstáculo que solo se puede superar a bajas velocidades (Fortuijn, 2009)

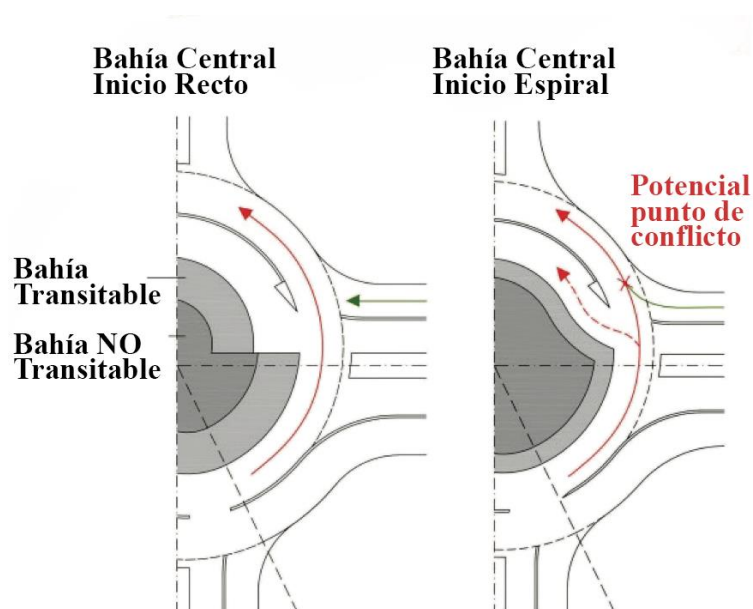


Ilustración 38 bahía central con inicio recto y en espiral. (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017)

### 3.5.2. Accesos de entrada:

De acuerdo con la normativa holandesa (CROW, 2008) los accesos de entrada deben estar alineados a 90° y para mejor facilidad de conducción para vehículos largos se recomienda ángulos mayores a 90°, además los accesos deben ser diseñados de manera que la velocidad de un conductor mientras pasa por la turbo rotonda no exceda el valor máximo recomendado (Fortuijn, 2009)

En la normativa alemana (FGSV, 2001) los anchos de carriles de entradas y salida se definen de la siguiente manera: para el caso de entradas y salidas de un solo carril, el ancho de entrada es de 4,0 m y los anchos de carriles de salida es de 4,5 m; para el caso de entradas y salidas de dos carriles los anchos de entrada son de 3,5 m y los anchos de carriles de salida son de 4,0 m.

Los radios mínimos de las curvas de entrada se recomiendan entre 14 m – 16 m y las curvas de salida se recomiendan entre 16 m – 20 m. Para el parterre divisorio de los accesos de entrada y salida no existe una recomendación de un ancho mínimo, se dispondrá de la disponibilidad de espacio de cada una de las zonas de estudio para el diseño del parterre divisorio de cada uno de los accesos y salidas.

### 3.5.3. Divisores de carril montables elevados

El diseño de los divisores de carril montables es un factor crítico para el éxito de la turbo rotonda. Deben estar hechos de manera que los vehículos puedan pasar sobre ellos sin dañarlos, mientras que al mismo tiempo produzcan suficiente incomodidad para disuadir a los conductores de este comportamiento, en la mayoría de los casos. *“En 1999 se probaron varios tipos de divisores de carril haciendo cruzar varias marcas de automóviles sobre estos. Se encontró que todos los conductores consideraron óptimo un divisor de 30 cm de ancho y 7 cm de alto,*

además, se consideró una altura total de 10 cm, como el más efectivo.” (Fortuijn, 2009)

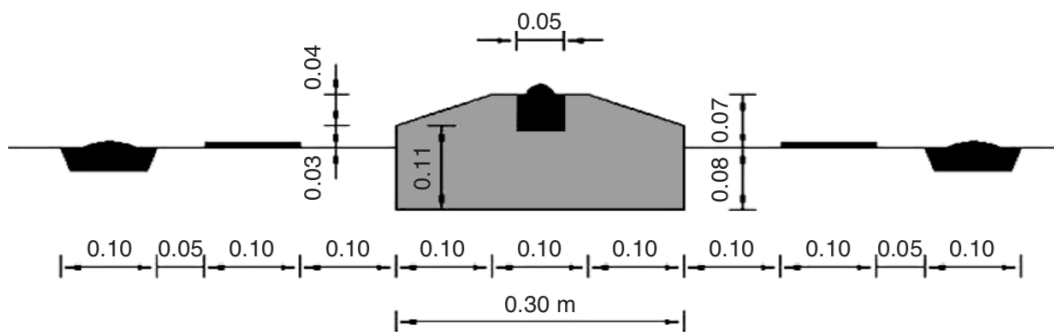


Ilustración 39 Sección transversal de divisor de carril montable elevado (Fortuijn, 2009)

Para turbo rotondas en espacios suburbanos se recomienda el diseño de un tramo de inicio transitable en los divisores de carriles montables elevados. Este elemento evita que el flujo de tráfico inadmisibles se cruce en el carril circulatorio, como así también, facilita el paso de vehículos largos a través de la turbo rotonda. (Ilustración 40).

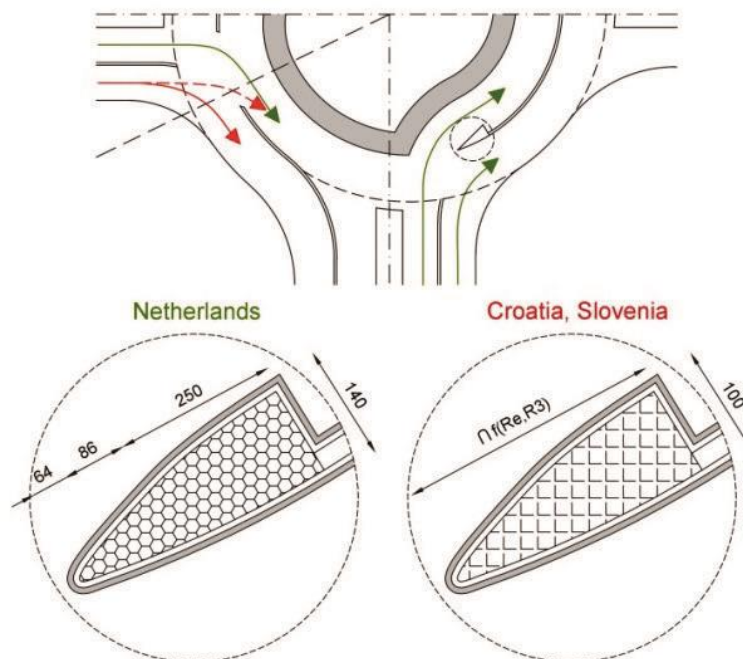


Ilustración 40 comienzo transitable en los divisores de carril montables elevados (Džambas, Ahac, & Dragčević,

2017)

De acuerdo a la normativa holandesa (CROW, 2008) la longitud estándar del tramo de inicio transitable es de 4 m mientras que las normativas de los países de Croacia, (Autoridad Croata de Carreteras, 2014) Eslovenia (Ministerio de Transporte de Eslovenia, 2011) y Serbia (Autoridad Serbia de Carreteras, 2012) la longitud de este elemento no está definido.

La apertura ( $w_1$ ) mostrada en la Ilustración 41 para poder ingresar al carril de circulación central debe ser obtenido modelando el recorrido del vehículo de diseño, por su parte, la normativa holandesa (CROW, 2008) recomienda que se diseñe el recorrido hacia el carril de circulación central con un radio igual a 12 m.

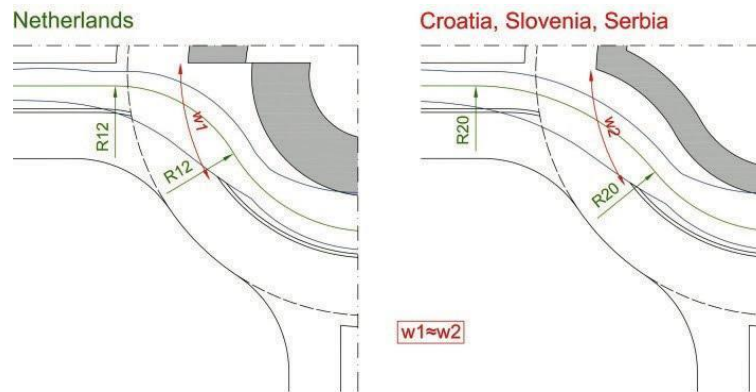


Ilustración 41 recorrido de entrada hacia el carril de circulación central (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017)

### 3.6. Aplicación de Micro simulación utilizando el software TRITONE

Para realizar la micro simulación de redes de carreteras se utiliza el software TRITONE. La licencia académica se solicitó a la Università della Calabria, con sede en Rende-Italia, dirigida al PhD Ing. Giofrè Vincenzo Pasquale. A continuación, se describirán los pasos realizados para la modelación de la micro simulación.

#### 3.6.1. Calibración y validación de modelos

Para la calibración y validación del modelo, se realiza una comparación entre el estado real y la simulación, es decir entre los datos obtenidos en campo y los datos obtenidos mediante la simulación para cualquier software, en este caso en Tritone,

utilizando la Ecuación 2 se comprueba que las tres intersecciones de estudio; Pum\_Mx, 24My\_Mx y 24My\_Ry son válidas y no es necesario ajustar ningún parámetro en sus modelos.

### **3.6.1. Fotografías aéreas.**

Este paso es necesario para poder tener la mejor aproximación posible a la realidad, y que la modelación se ajuste a las dimensiones y geometría para cada caso de estudio.

Se realizaron varias fotografías aéreas, de cada intersección de estudio con la ayuda de un dron, para posteriormente ser unidas, de tal forma, que se vean en su totalidad los accesos de entrada y salida. Se debe tener mediciones de referencia in situ para que las imágenes puedan ser escaladas propiamente. Dentro del Software en la pestaña: “Mapa y Gráficos” en el icono: “Scala px/m” se procede a ingresar los datos para su escala.

Las fotografías aéreas utilizadas de cada intersección se encuentran en el Anexo , Anexo y Anexo

### **3.6.2. Distribución de Nodos y enlaces.**

La distribución de nodos y enlaces en el modelamiento de la micro simulación es un paso fundamental para que se ajuste a las condiciones de la situación actual de cada intersección de estudio, es importante tomar a consideración que el modelador es quien dispone la cantidad de nodos y enlaces necesarios, para que se ajusten a la geometría de la intersección. Hay que tener presente que, si al momento de correr la micro simulación, existen enlaces que son utilizados para giros que no se contemplan en el diseño, o, por otra parte, se encuentren enlaces que no son utilizados por el software, el modelador deberá descomponer la matriz O/D y crear nuevos nodos centroides, para así obligar, que se utilicen todos los arcos para los



giros y flujos del diseño de la micro simulación. La distribución de nodos y enlaces utilizados en la micro simulación, para el estado actual y con proyecto de cada intersección, se encuentran en los Anexo , Anexo , Anexo , Anexo , Anexo y Anexo

**3.6.3. Configuración de parámetros para enlaces.**

Los valores de cada parámetro para la configuración de los enlaces se pueden observar en la

*Tabla 15: Valores de cada parámetro para la configuración de los enlaces.*

Parámetros:	Valor:
<b>Longitud:</b>	variable [m]
<b>Velocidad Vo:</b>	30 [Km/h]
<b>Velocidad a Cap:</b>	20 [Km/h]
<b>Capacidad:</b>	1530 [v/h/carril]
<b>Densidad critica:</b>	250 [v/km/carril]
<b>carriles:</b>	variable
<b>Pendiente:</b>	-
<b>Ancho de carril:</b>	3,6 [m]
<b>Radio de curvatura:</b>	-

**3.6.4. Modelación de la fase semafórica.**

La intersección Pumapungo y Max Uhle es la única intersección de estudio con fase semafórica estática, por lo que a continuación se describirá la modelación de su fase semafórica en el software de TRITONE.

Una vez que esté finalizada la modelación de arcos, nodos y el flujo vehicular (matriz O/D). Dentro de la ventana emergente “Impianto Semafórico” se debe establecer el tipo de ciclo como: “Estático”. Un dato importante para el modelador es que se debe añadir una linterna por cada carril, de cada arco, dentro de cada acceso a la intersección. Posteriormente se continúan llenando los parámetros de las linternas. Es importante tener especial cuidado con los parámetros descritos a continuación:

- Nodo final de arco.
- Nodo de la operación principal de destino.
- Nodo de destino de maniobra secundaria.
- Posición del nodo.
- Posición del carril.

En donde: el nodo final de arco y posición del nodo generalmente es el mismo, y es el nodo en el cual se encuentra ubicado el semáforo del acceso a la intersección. Para los semáforos con maniobras exclusivas se deben modificar los nodos de destinos: definir el nodo de destino de maniobra principal, y si existe, añadir el nodo de destino de maniobra secundaria, esto permite que el flujo de vehículos se dirija a los nodos de destino modelados, además, sirve para una mejor calibración y posterior verificación del modelo. La posición del carril es el número de carril el cual tiene influencia la linterna; los carriles deben ser contados desde izquierda a derecha y desde arriba hacia abajo.

En la Ilustración 42 se encuentran los valores de los parámetros utilizados para la modelación de la fase semafórica de la intersección: Pumapungo y Max Uhle.

**Modificar el sistema semaforico**

Implantar 1

Tipo de ciclo

- Estático
- Actuado (Volumen)
- Actuado (Volumen/Densidad)
- Implementado (Densidad)
- Semi-Actuado (Volumen)
- Semi-actuado (V / D)
- Actuado (Número de vehículo)
- Actuado (GNSS)
- Adaptativo Nash (Vehic. d-q)
- Adaptativo Nash (GNSS)
- Adaptativo Nash (Vehic. 1-q/d)
- Adaptativo Nash (Maniobr. d-q)
- Adaptativo Colas

Radio de influencia de la...  
50 [m]

Tiempo VerdeMax 50 [s]    Tiempo VerdeMin 7 [s]

Límite IV 10 [s]    Tiempo Amar.Max 4 [s]

Intervalo prevision 15 [s]

Almacenar    Cancelar

Parameters	1	2	3	4	5	6	7
Nodo inicial de arco	4	4	2	2	13	1	1
Nodo final de arco	5	6	10	10	12	8	8
Nodo de la operación principal de...	11	0	14	14	7	11	14
Nodo de destino de maniobra sec...	0	7	11	7	9	9	0
Posición del nodo	5	6	10	10	12	8	8
Posición del carril	1	1	2	1	1	2	1
Fase	1	2	3	3	4	5	5
Cola permitida (numero de vehicu...	100	100	100	100	100	100	100

Añadir linterna    Quitar la linterna    Establecer ciclo estático    Debe colocar una linterna para cada carril

Lan.	Ni	Nf	Nps	Cor.	Fasi	Ciclo	Fasi [sec] - intersezione 1	
1	4	5	5	1	3	97	16	81
2	4	6	6	1	3	97	39	58
3	2	10	10	2	4	97	19	78
4	2	10	10	1	4	97	19	78
5	13	12	12	1	4	97	11	86
6	1	8	8	2	4	97	49	48
7	1	8	8	1	4	97	48	49

Ilustración 42 valores de los parámetros para la modelación de la fase semaforica de la intersección:

Pumapungo y Max Uhle.

### 3.6.5. Parámetros y Modelo de micro simulación.

Los parámetros utilizados para la micro simulación se muestran en la Ilustración 43. El modelo escogido para realizar la micro simulación de todas las intersecciones es el modelo de Nagel – Schreckenberg, descrito en el capítulo anterior.

Parámetros de simulación	
<b>Parámetros de simulación</b>	
Precisión	1
Tiempo perce. reacción	1
Intervalo de control [s]	120
Inicio de detección [s]	0
Duración de la simulación [s]	3600
% velocidad inicial	100
Detectores de longitud [m]	4
Tipo de generación	multipla
Max esperando stop vehículo...	3600
Umbral procesamiento vehículo [m]	5
Umbral mapeo vehículos [m]	20
<b>Parámetros para modelos acústicos</b>	
Distancia del receptor [m]	4
Porcentaje de vehículos...	15
<b>Equipa vehículos con receptores GNSS</b>	
<input type="checkbox"/> Simula el sensor GNSS	
Iniciar la simulación o confirmar los parámetros	
Cancelar	

Ilustración 43 Parámetros de simulación.

### 3.6.6. Flota de vehículos.

Se debe elegir una flota de vehículos que se asemeje a la composición vehicular de las estaciones a modelar, o que sea igual a una composición vehicular del país donde se está realizando la modelación. En el software de Tritone existen varias flotas preestablecidas por defecto, y se encontró que la flota tipo I es la más parecida en la composición vehicular que circula actualmente en la ciudad y en el país. La cual se compone en su mayoría de vehículos pequeños y medianos.

### 3.6.8. Tamaño de muestra.

Para determinar el tamaño de la muestra se realizan 100 microsimulaciones con proyecto y sin proyecto para determinar su desviación estándar de cada uno de los factores y así tener una desviación media ponderada, para posteriormente ser utilizada en la Ecuación 5 con los siguientes valores:

$$N = \left( \frac{SK}{E} \right)^2$$

*Ecuación 5*

Dónde:

N= tamaño mínimo de la muestra que se quiere calcular.

S= desviación estándar media muestra con proyecto, S= 0.718

K= nivel de confianza de 95%, K=1.96

E= error permitido estimado es de  $\pm 5\%$ , E=0.05

Con este resultado se procede a realizar 1000 microsimulaciones para cada una de las intersecciones de estudio con y sin proyecto.

#### **Capítulo 4: Resultados y Discusión**

Para la obtención de los resultados en las distintas intersecciones de estudio mediante el programa TRITONE, se procedió a calcular el tamaño de muestra

realizando 100 simulaciones previas para la obtención de la desviación estándar, como se detalla en Tamaño de la muestra.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de las 1000 simulaciones por intersección, tanto en estado actual como con proyecto para poder generar un contraste entre las dos condiciones.

#### **4.1. Intersección Av. Pumapungo y Av. Max Uhle**

En la Ilustración 44 se muestra el resultado de la intersección con proyecto con sus respectivas maniobras permitidas para cada acceso a la misma, incluido el flujo vehicular y su señalización horizontal basándose en la normativa holandesa (CROW, 2008)

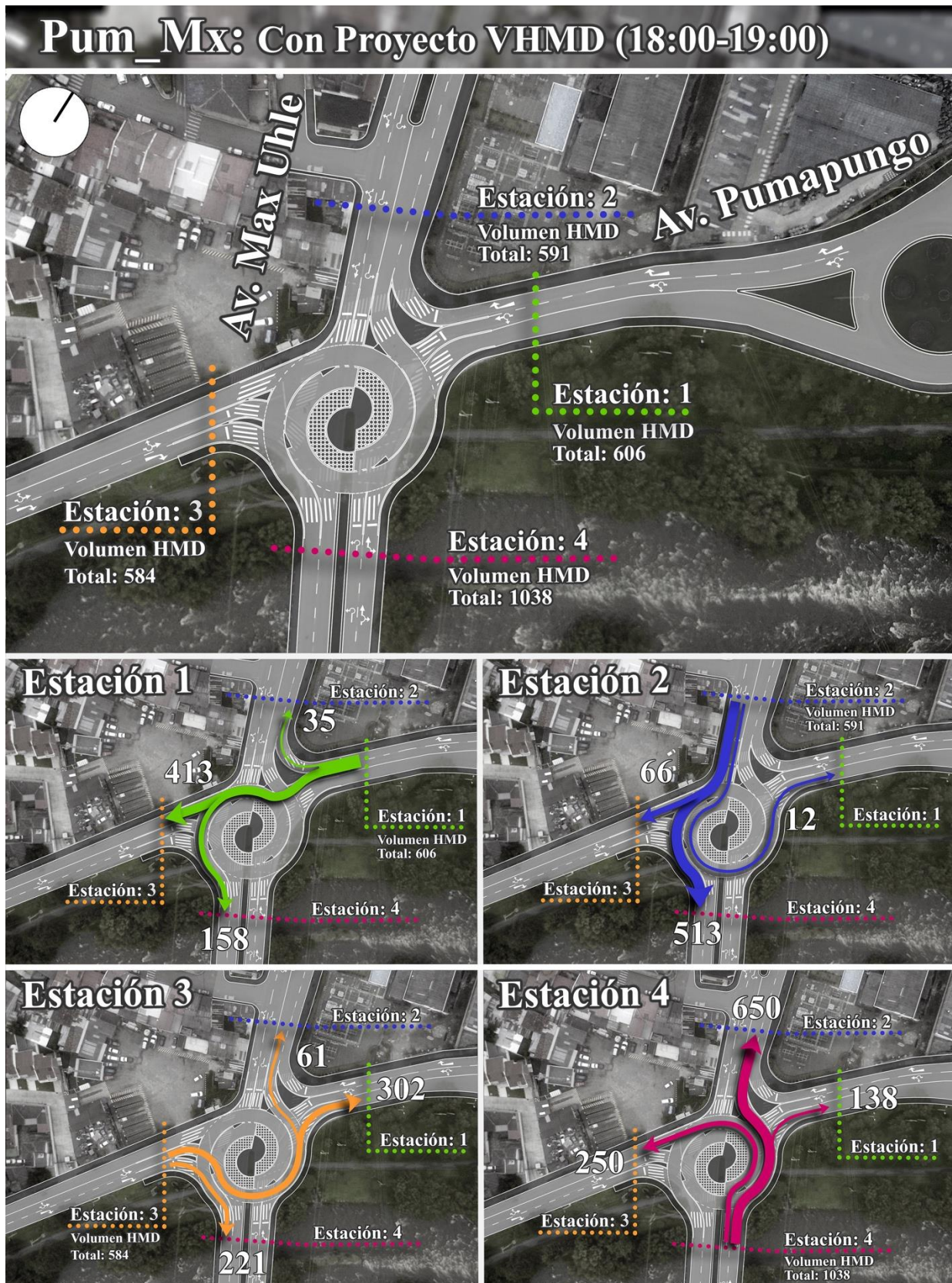


Ilustración 44 Turbo Rotonda de la intersección Av. Pumapungo y Max Uhle con sus maniobras permitidas.

A continuación, se presentan los datos de la media obtenida de las 1000 simulaciones en estado actual y con proyecto, así como también un gráfico resumen de los parámetros evaluados en la, comparándolos con y sin proyecto, las gráficas de los parámetros evaluados individualmente se encuentran en el Anexo 11.

*Tabla 16 Estado con proyecto Pumapungo y Max Uhle.*

<b>SIN PROYECTO</b>		
<b>Simulación</b>	<b>MEDIA</b>	
<b>Tiempo gastado</b>	58,29	[s]
<b>Demora</b>	36,93	[s]
<b>Tiempo total</b>	95,22	[s]
<b>Colas</b>	143,73	[m]
<b>CO2</b>	367,86	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,73	[m/s <sup>2</sup> ]

*Tabla17: Estado con proyecto Pumapungo y Max Uhle*

<b>CON PROYECTO</b>		
<b>Simulación</b>	<b>MEDIA</b>	
<b>Tiempo gastado</b>	27,82	[s]
<b>Demora</b>	5,02	[s]
<b>Tiempo total</b>	32,84	[s]
<b>Colas</b>	6,90	[m]
<b>CO2</b>	399,80	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,40	[m/s <sup>2</sup> ]



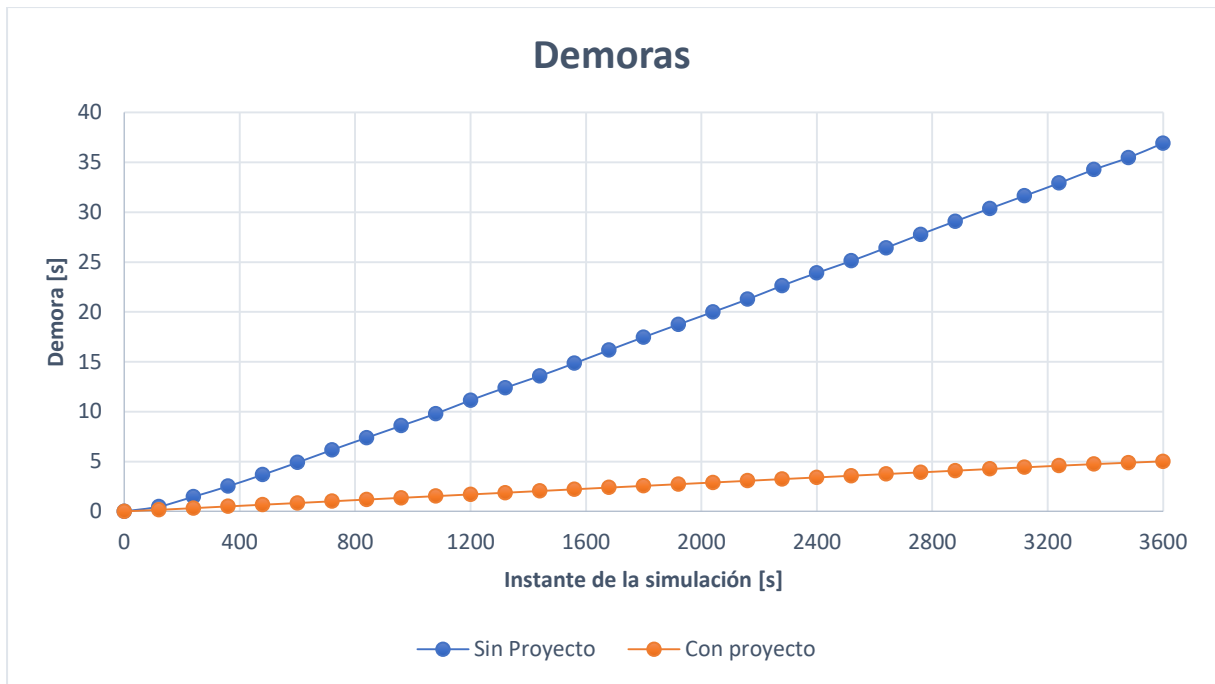


Ilustración 45 Demora promedio por vehículo en la intersección (Pum\_Mx),

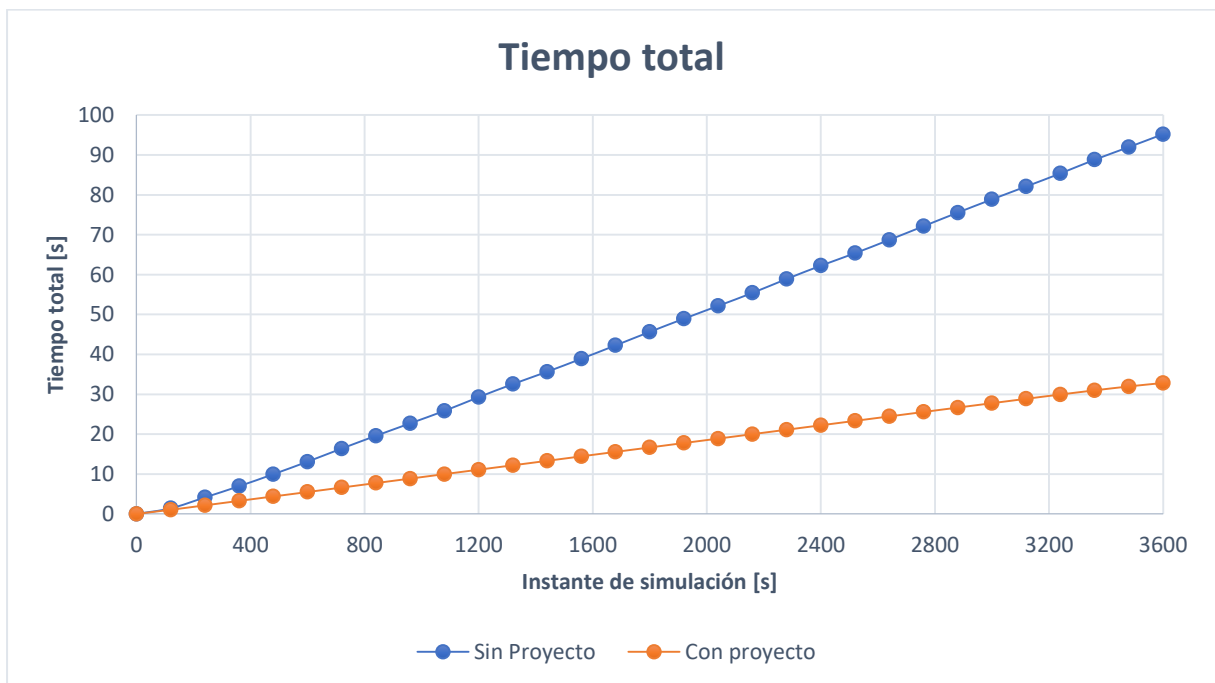


Ilustración 46: Tiempo total gastado en la intersección (Pum\_Mx), Fuente: propia

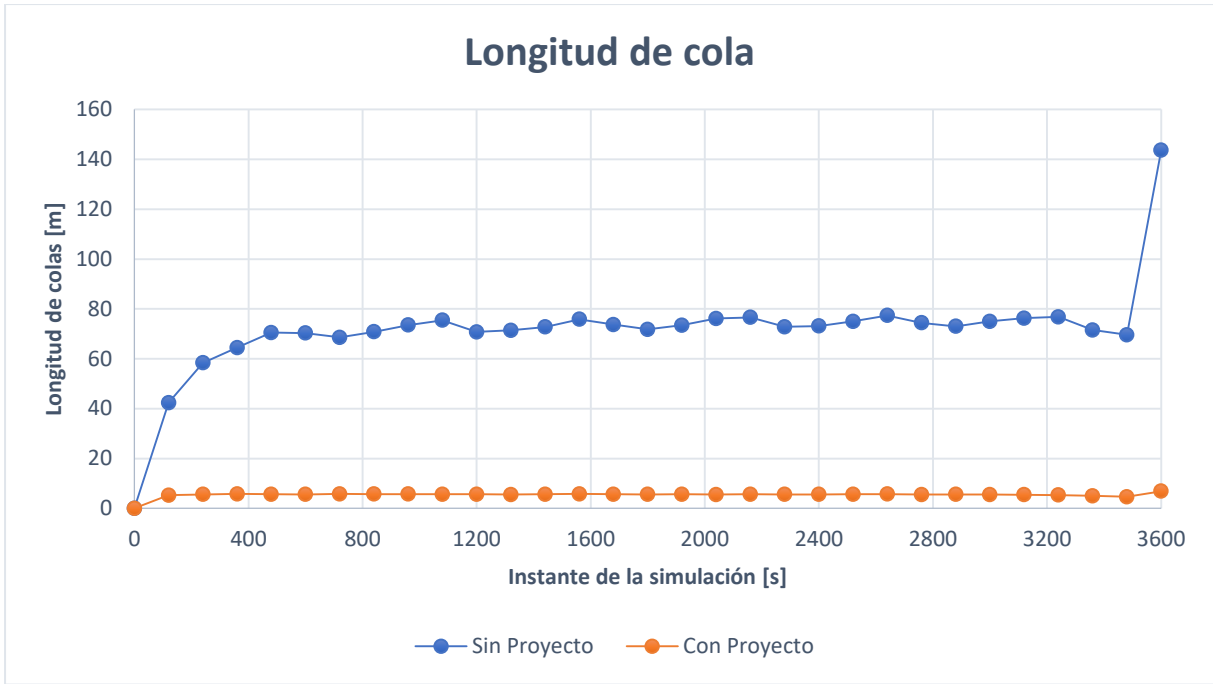


Ilustración 47: Longitud de colas de vehículos en la intersección (Pum\_Mx), Fuente: propia

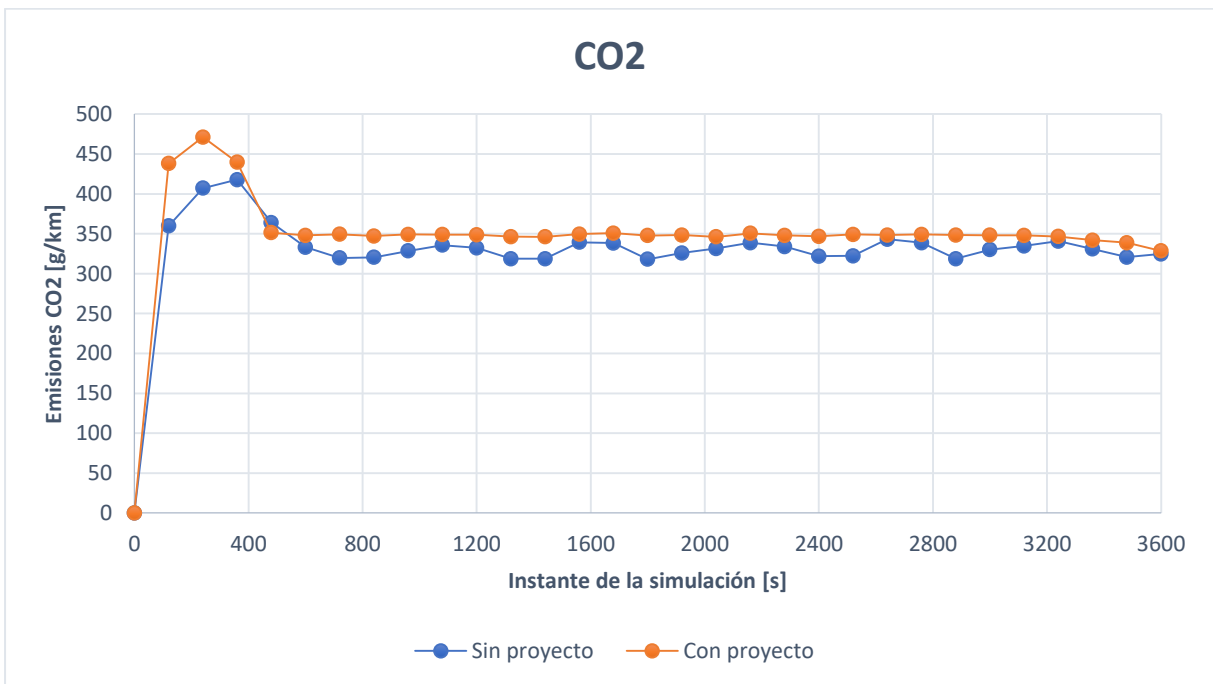


Ilustración 48: Emisiones de CO2 en la intersección (Pum\_Mx), Fuente: propia.

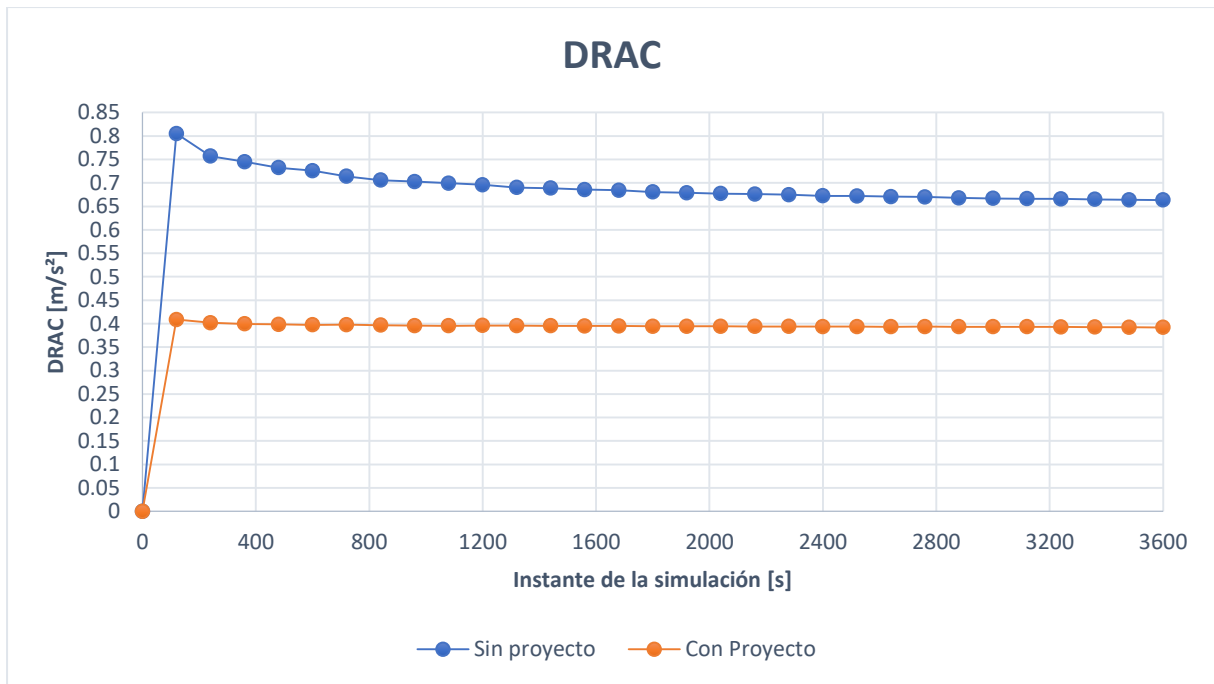


Ilustración 49: DRAC promedio por vehículos en la intersección (Pum\_Mx), Fuente: propia.

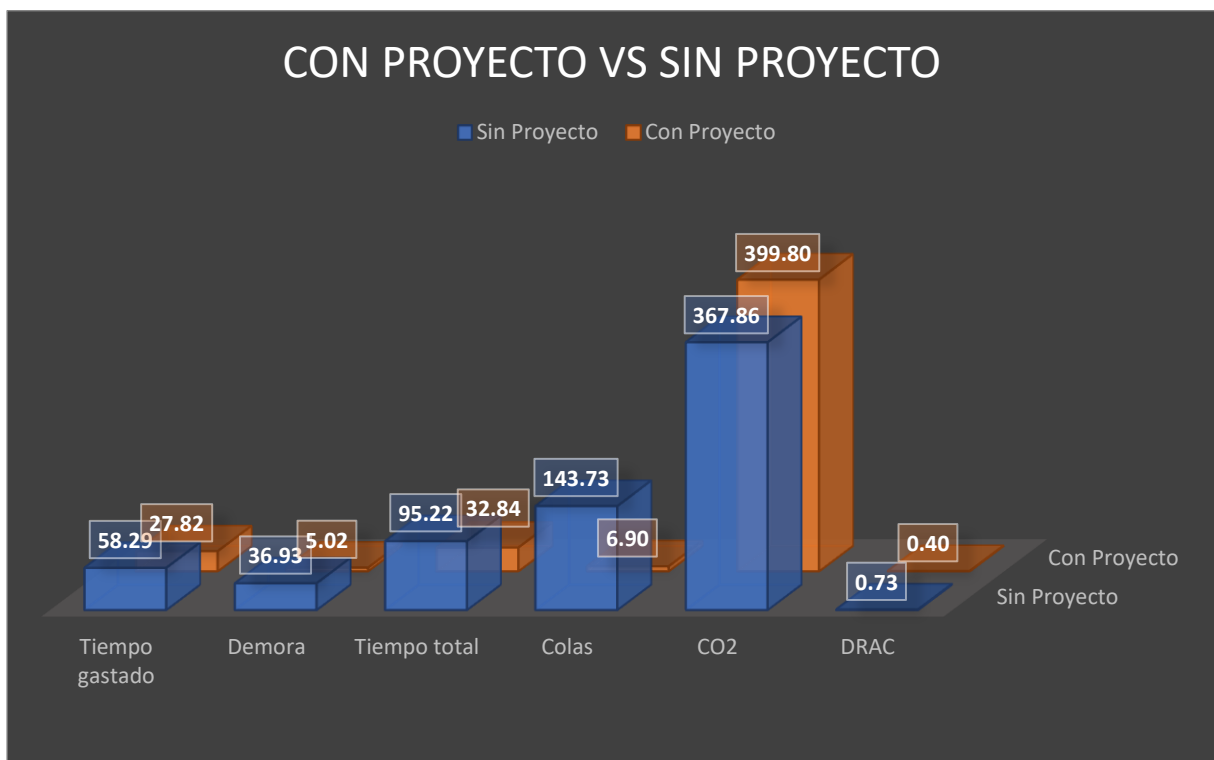


Ilustración 50 Comparación de resultados, Con Proyecto vs sin Proyecto (Pum\_Mx).

En la Tabla 18 se encuentra el nivel de servicio para cada año proyectado de la intersección y se empleó la Tabla 2 para determinar el LOS. La capacidad de la

intersección implementada la turbo rotonda tipo espiral es de 4000 (veh/h) (Fortuijn, 2009).

Tabla 18 Nivel de servicio intersección Pumapungo y Max Uhle

Pumapungo y Max Uhle				Capacidad (veh/h): 4000		
<b>Año</b>	2015	2020	2025	2030	2035	2040
<b>Volumen (veh/h)</b>	2677	2878	3011	3115	3200	3355
<b>V/C</b>	0.669	0.720	0.753	0.779	0.800	0.839
<b>Tiempo demora (s)</b>	32.84	38.36	40.50	43.26	44.87	54.74
<b>LOS</b>	D	E	E	E	E	F

Luego de realizar el análisis del estado “sin proyecto” y “con proyecto” se puede evidenciar una notable mejora en los diferentes parámetros evaluados con respecto al estado sin proyecto, como se indica en la Ilustración 50. Entre los más importantes se recalcan, tiempo total de demora y tiempo gastado, el cual disminuye en 62.38 sg lo que representa una mejora de 65.5% con respecto al estado sin proyecto. Además, al realizar la comparación de la longitud de colas mejora 20,8 veces, o 95.2% al reducir de 143.73 m a 6.90 m, el DRAC mejora 45.2%. El único parámetro desfavorable es el de las emisiones de CO2 en el que existe un incremento del 8,7%.

Nivel de servicio en la intersección se muestra en la siguiente tabla

#### 4.2. Intersección Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle

En la Ilustración 51 se muestra el resultado de la intersección con proyecto con sus respectivas maniobras permitidas para cada acceso a la misma, incluido el flujo vehicular y su señalización horizontal según la normativa holandesa (CROW, 2008)

24My\_Mx: Con Proyecto VHMD (17:45-18:45)

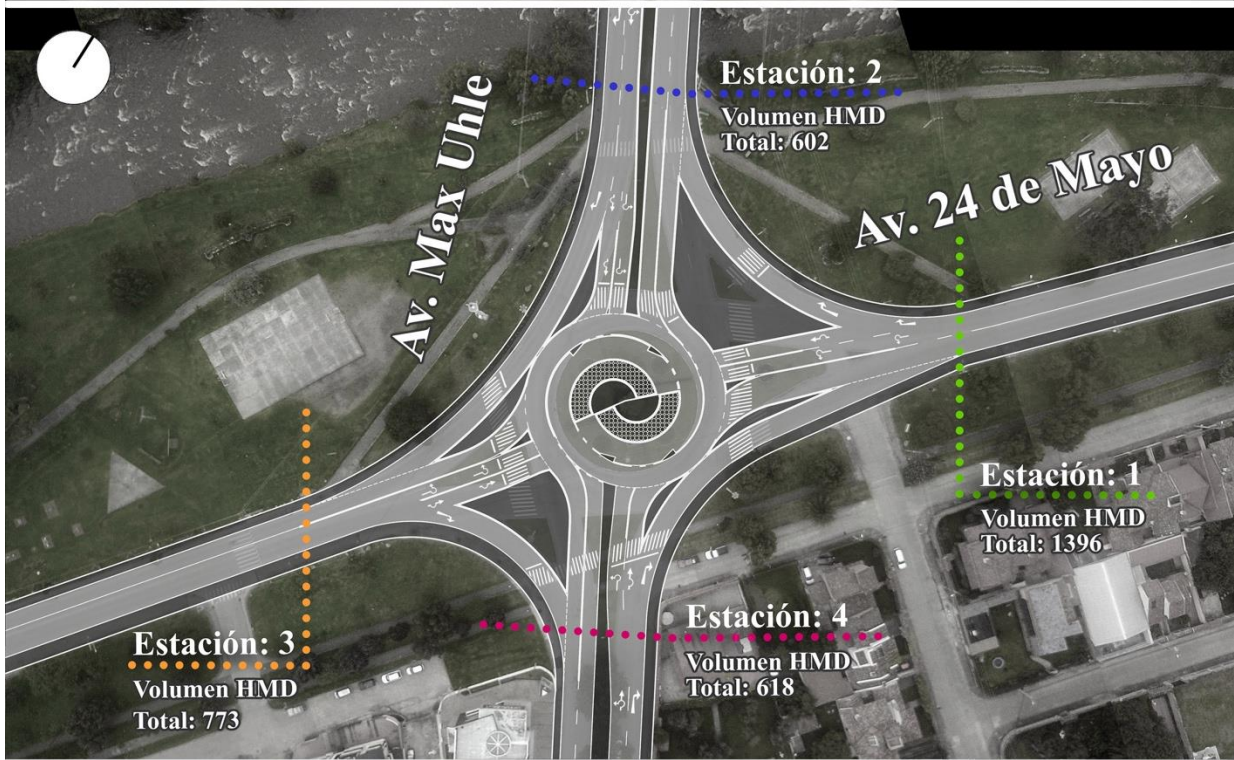


Ilustración 51 Turbo Rotonda de la intersección Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle con sus maniobras permitidas.

Se presentan a continuación en la *Tabla 19* y los datos obtenidos por la media de las 1000 simulaciones y una comparación de los parámetros evaluados en la Ilustración 57DRAC promedio en la intersección (24My\_Mx), Fuente: propia.. Las gráficas de los parámetros evaluados individualmente se encuentran en el Anexo 12.

*Tabla 19 Estado con proyecto de la Intersección Av. 24 de Mayo y Max Uhle.*

<b>SIN PROYECTO</b>		
<b>Simulación</b>	<b>MEDIA</b>	
<b>Tiempo gastado</b>	42,25	[s]
<b>Demora</b>	10,06	[s]
<b>Tiempo total</b>	52,30	[s]
<b>Colas</b>	5,55	[m]
<b>CO2</b>	309,06	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,361	[m/s <sup>2</sup> ]

*Tabla 20: Estado con proyecto de la Intersección Av. 24 de Mayo y Max Uhle.*

<b>CON PROYECTO</b>		
<b>Simulación</b>	<b>MEDIA</b>	
<b>Tiempo gastado</b>	40,46	[s]
<b>Demora</b>	9,02	[s]
<b>Tiempo total</b>	49,48	[s]
<b>Colas</b>	7,22	[m]
<b>CO2</b>	461,90	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,360	[m/s <sup>2</sup> ]

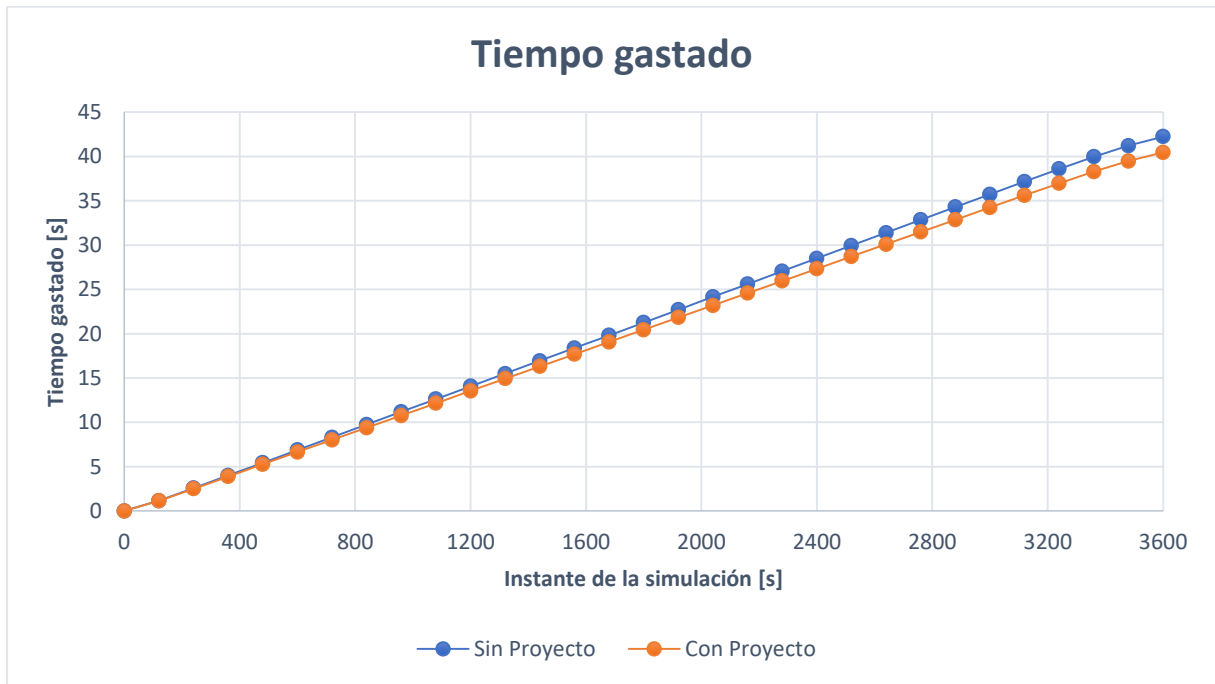


Ilustración 52: Tiempo promedio gastado en la intersección (24My\_Mx), Fuente: propia.

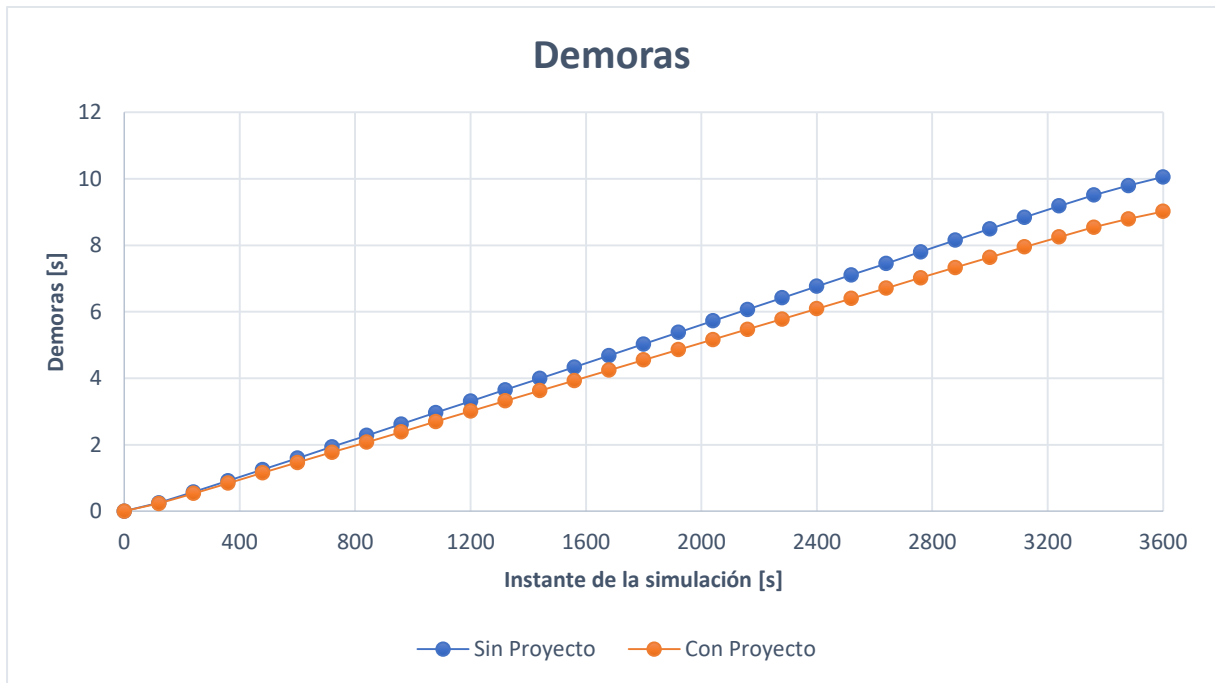


Ilustración 53: Demoras promedio por vehículo en la intersección (24My\_Mx), Fuente: propia.



Ilustración 54: Tiempo total promedio empleado en la intersección (24My\_Mx , Fuente: propia.

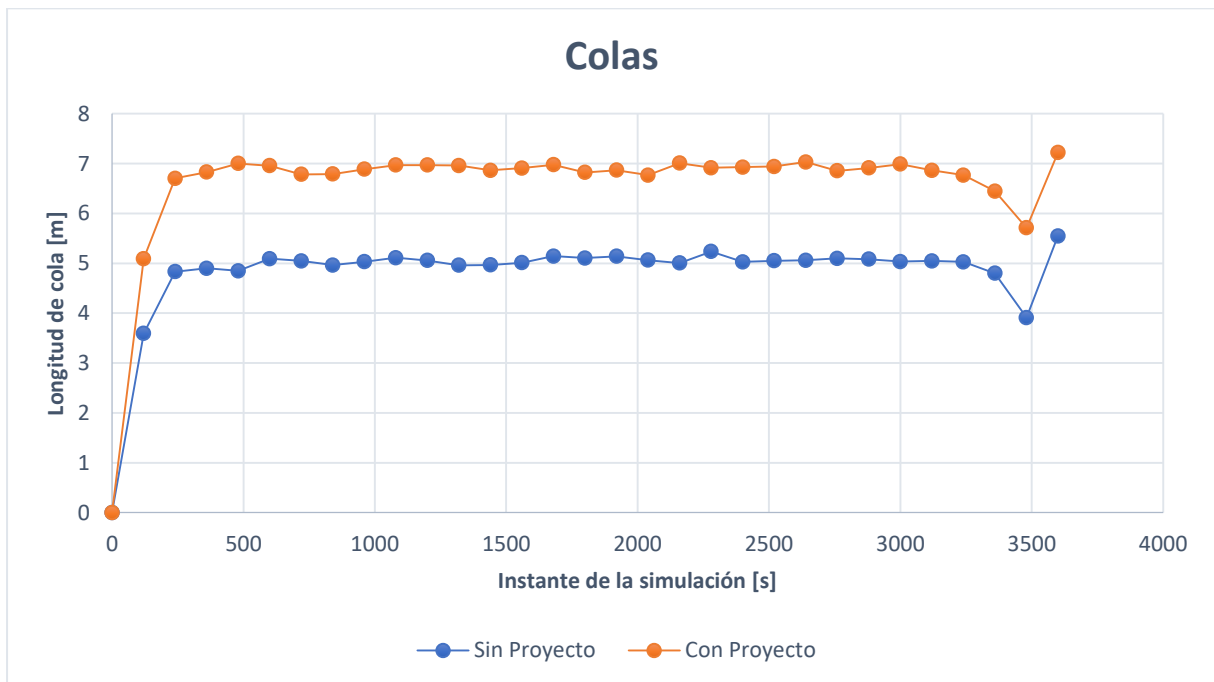


Ilustración 55: Longitud de cola de vehículos en la intersección (24My\_Mx), Fuente: propia.



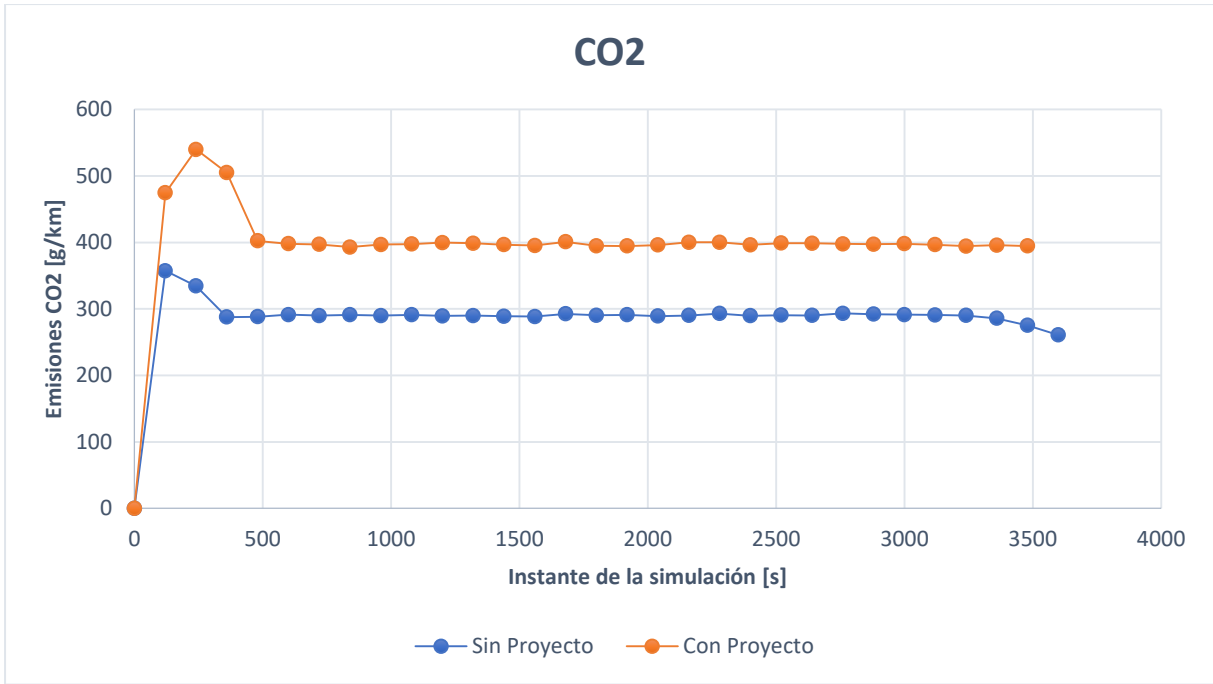


Ilustración 56: Emisiones de CO2 en la intersección (24My\_Mx), Fuente: propia.

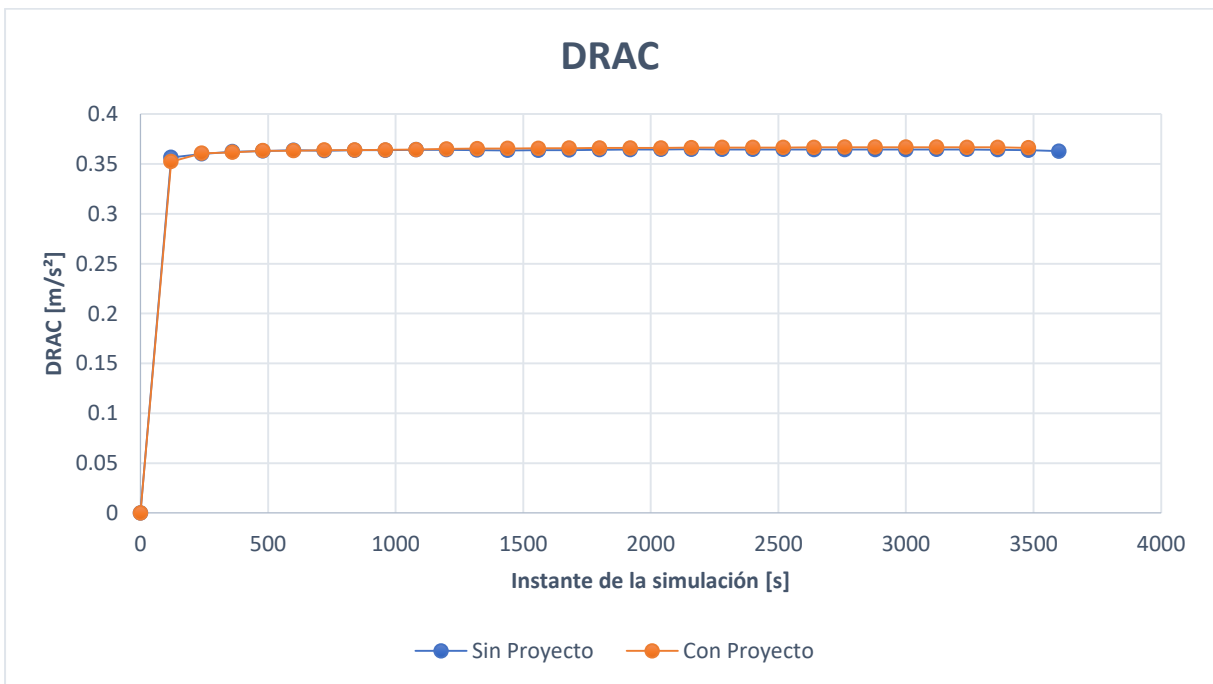


Ilustración 57: DRAC promedio en la intersección (24My\_Mx), Fuente: propia.

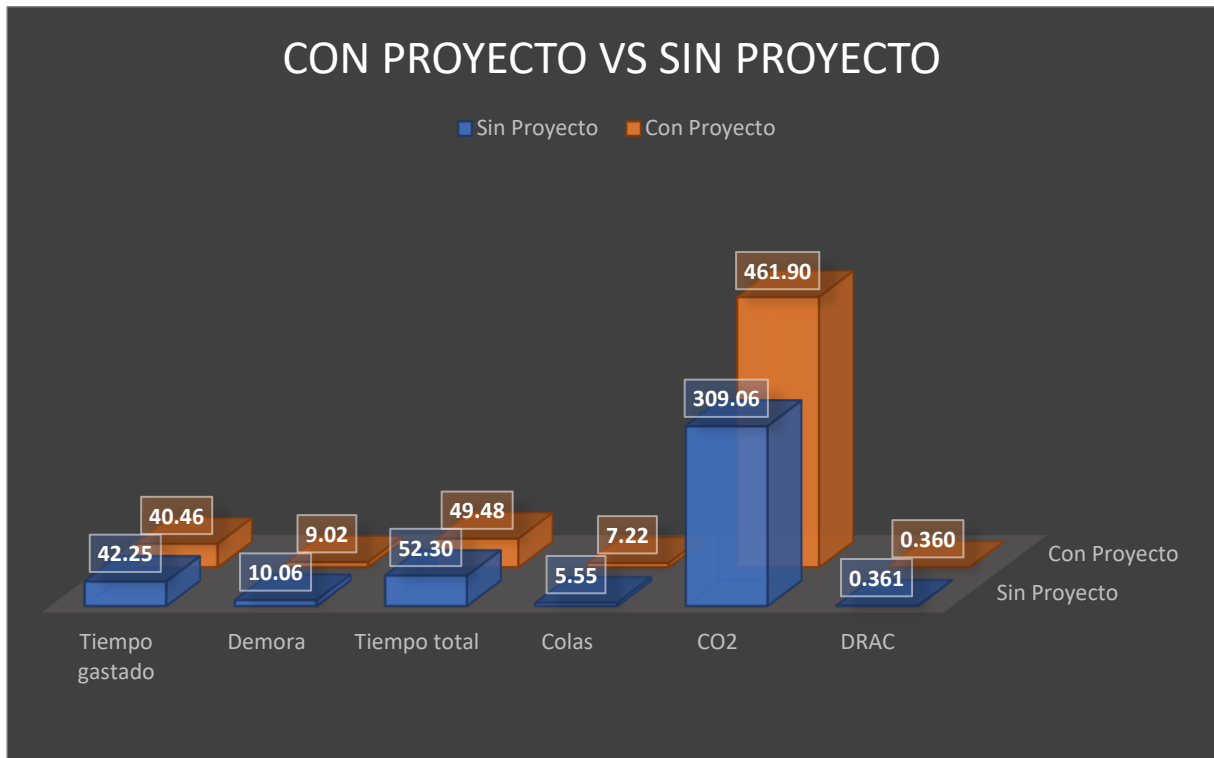


Ilustración 58: Comparación, Con Proyecto vs. Sin Proyecto de la intersección (24My\_Mx)

En la Tabla 21 se encuentra el nivel de servicio para cada año proyectado de la intersección y se empleó la Tabla 2 para determinar el LOS. La capacidad de la intersección implementada la turbo rotonda tipo espiral es de 4000 (veh/h) (Fortuijn, 2009).

Tabla 21: Nivel de servicio intersección 24 de Mayo y Max Uhle

24 de Mayo y Max Uhle				Capacidad (veh/h): 4000		
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Volumen (veh/h)	3268	3463	3545	3710	3927	3990
V/C	0.817	0.866	0.886	0.928	0.982	0.998
Tiempo demora (s)	49.48	53.79	56.28	58.98	64.73	66.23
LOS	E	F	F	F	F	F

Al realizar el análisis comparativo entre el estado “sin proyecto” y “con proyecto” para la intersección comprendida por la Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle, los parámetros evaluados presentan un comportamiento variable, en donde algunos

existen un decremento o mejoría con respecto al estado actual y otros un incremento en comparación al mismo, como se indica en la Ilustración 58 Se tiene que el tiempo promedio gastado por el vehículo mejora un 4.23%, las demoras mejoran en 10,33%, siendo este parámetro el de mayor mejora. El tiempo total empleado en la intersección mejora 5,39%. y el DRAC mejora 0,27%.

Los parámetros que no representan una mejora son, emisiones de CO<sub>2</sub>, el cual incrementa en 33.08% y la longitud de colas aumenta un 23,18%. Esto sigue representando una mejora en el flujo de la intersección con respecto al estado actual ya que el tiempo gastado y el total disminuye.

#### **4.3. Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma**

De la misma forma se muestra en la Ilustración 58 el resultado de la intersección con proyecto con sus respectivas maniobras permitidas para cada acceso a la misma, incluido el flujo vehicular y su señalización horizontal siguiendo la normativa holandesa (CROW, 2008)

**24My\_Ry: Con Proyecto VHMD (18:00-19:00)**

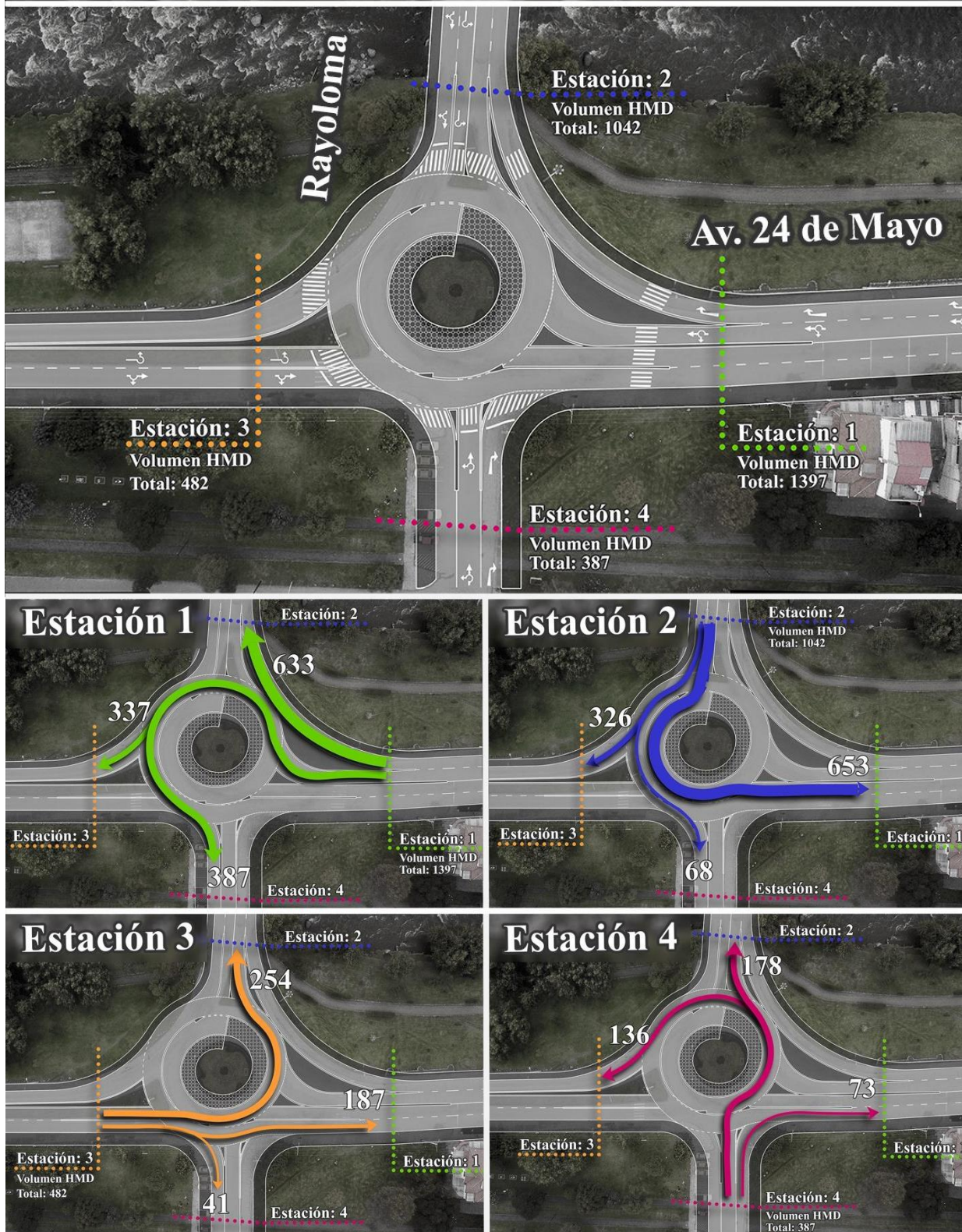


Ilustración 59 Turbo Rotonda de la intersección Av. 24 de Mayo y Av. Rayoloma con sus maniobras permitidas.

Se muestra los datos obtenidos bajo el mismo procedimiento.

Se presentan de igual manera que las anteriores intersecciones y los datos obtenidos por la media de las 1000 simulaciones y una comparación de los parámetros evaluados en la Ilustración 67, así mismo, las gráficas de los parámetros evaluados individualmente se encuentran en el Anexo 13.

Tabla 22 Estado con proyecto de la Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma.

<b>SIN PROYECTO</b>		
<b>Simulación</b>	<b>MEDIA</b>	
<b>Tiempo gastado</b>	32,26	[s]
<b>Demora</b>	9,18	[s]
<b>Tiempo total</b>	41,44	[s]
<b>Colas</b>	5	[m]
<b>CO2</b>	390,67	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,3328	[m/s <sup>2</sup> ]

Tabla 23: Estado con proyecto de la Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma.

<b>CON PROYECTO</b>		
<b>Simulación</b>	<b>MEDIA</b>	
<b>Tiempo gastado</b>	28,30	[s]
<b>Demora</b>	9,07	[s]
<b>Tiempo total</b>	37,37	[s]
<b>Colas</b>	11	[m]
<b>CO2</b>	386,87	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,5770	[m/s <sup>2</sup> ]

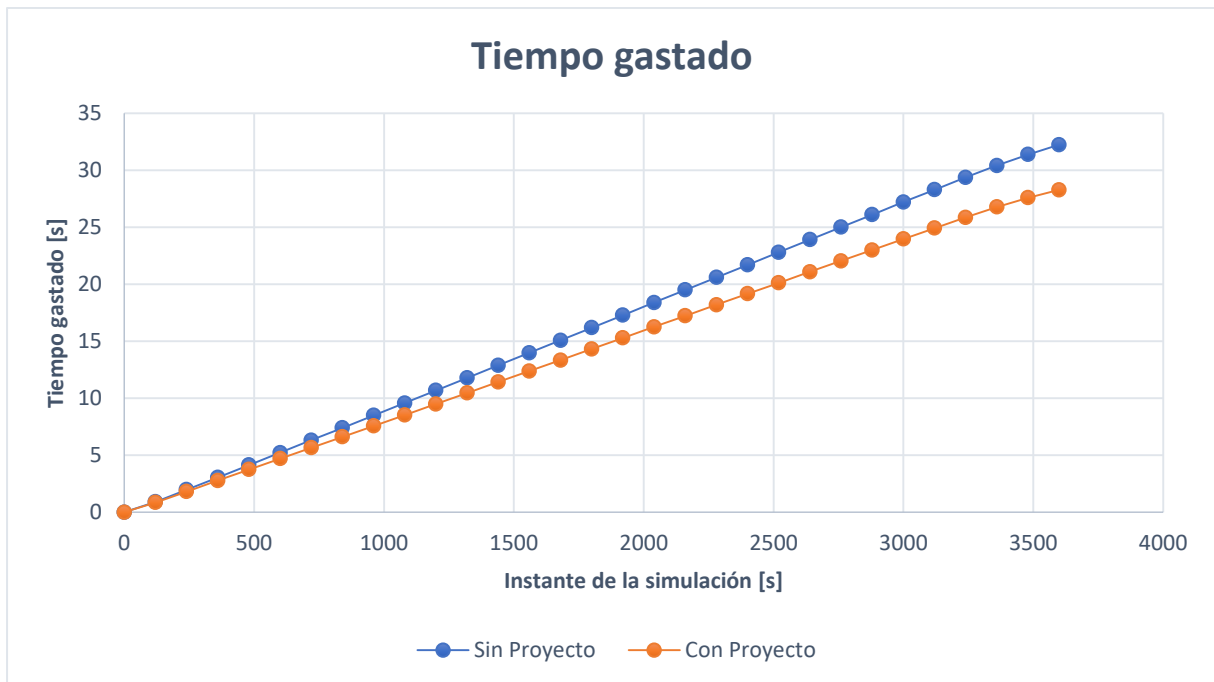
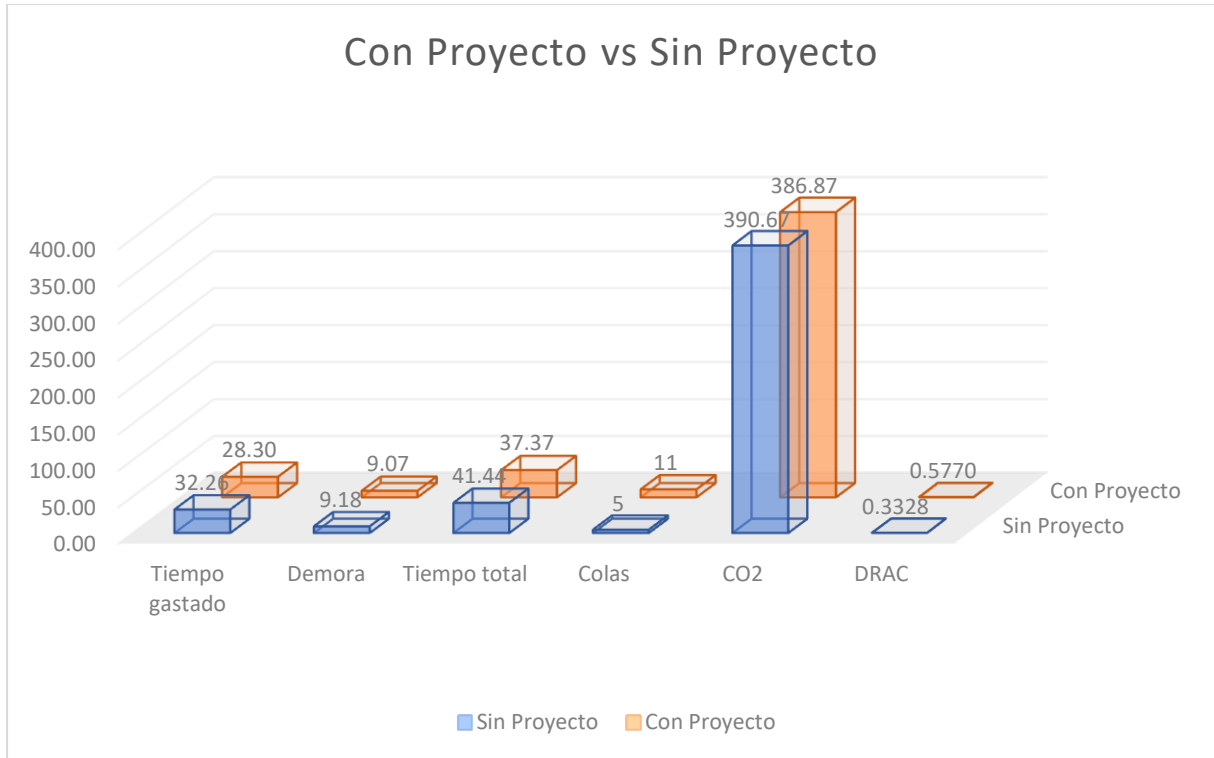


Ilustración 60: Tiempo promedio gastado en la intersección (24My\_Ry), Fuente: propia.



Ilustración 61: Demoras promedio por vehículo en la intersección (24My\_Ry).

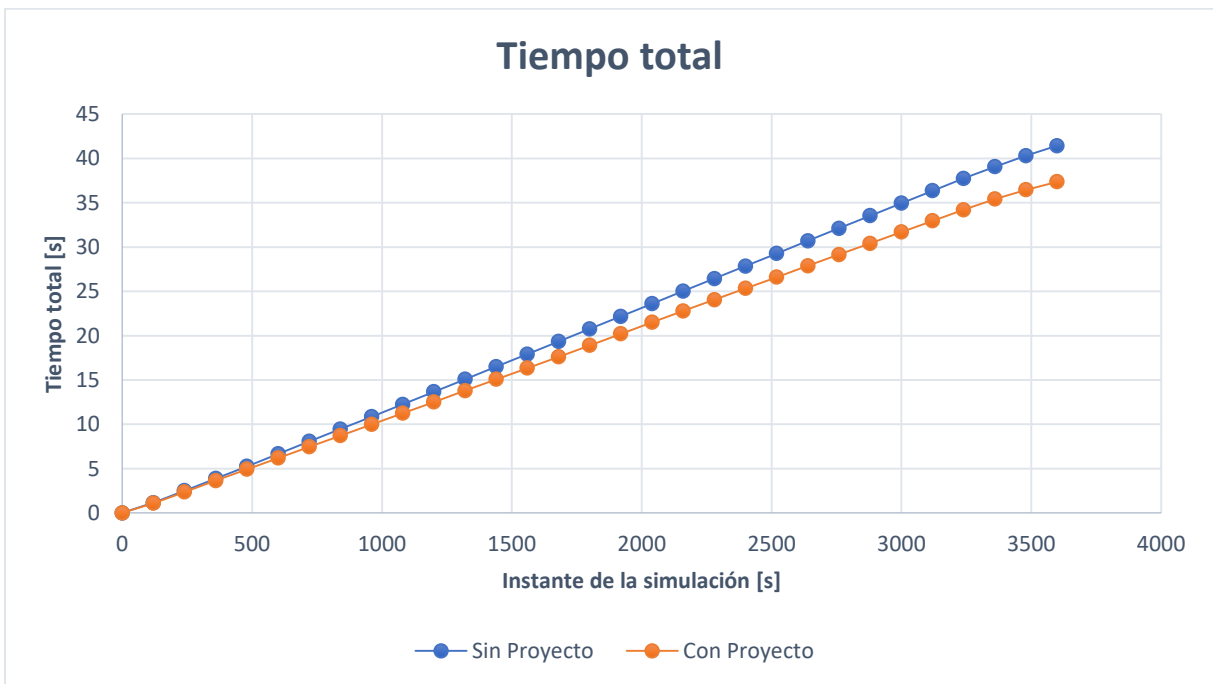


Ilustración 62: Tiempo total promedio empleado en la intersección (24My\_Ry), Fuente: propia.

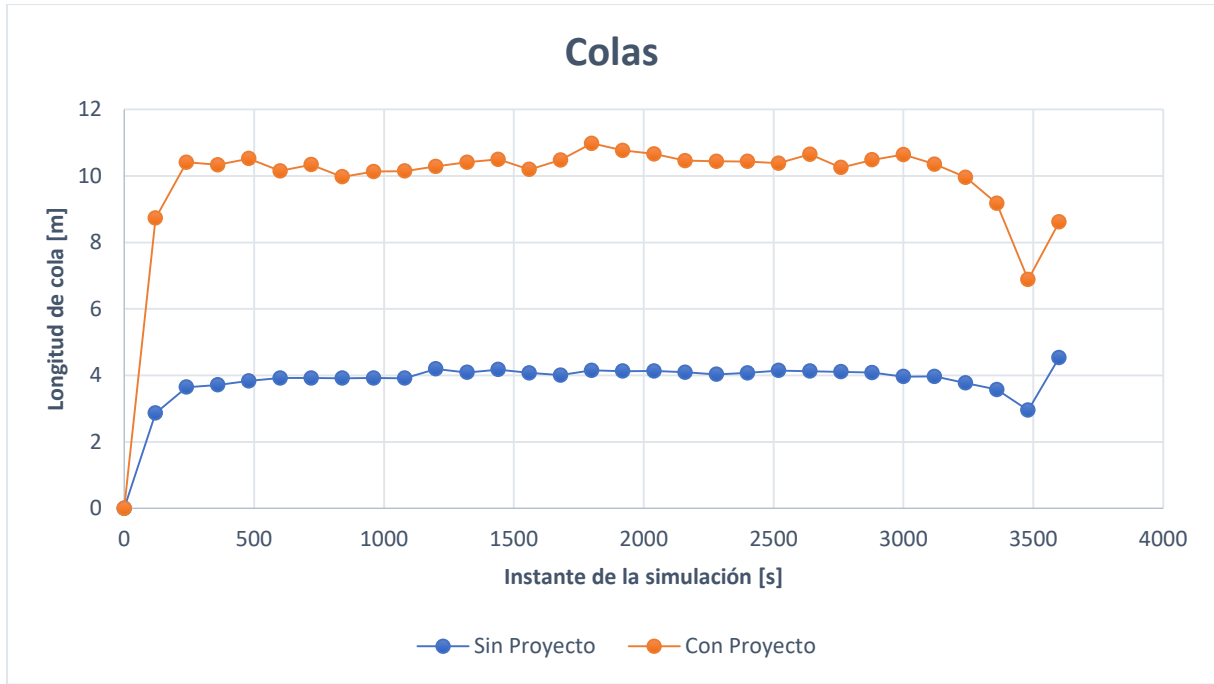


Ilustración 63: Longitud de colas de vehículos en la intersección (24My\_Ry), Fuente: propia.

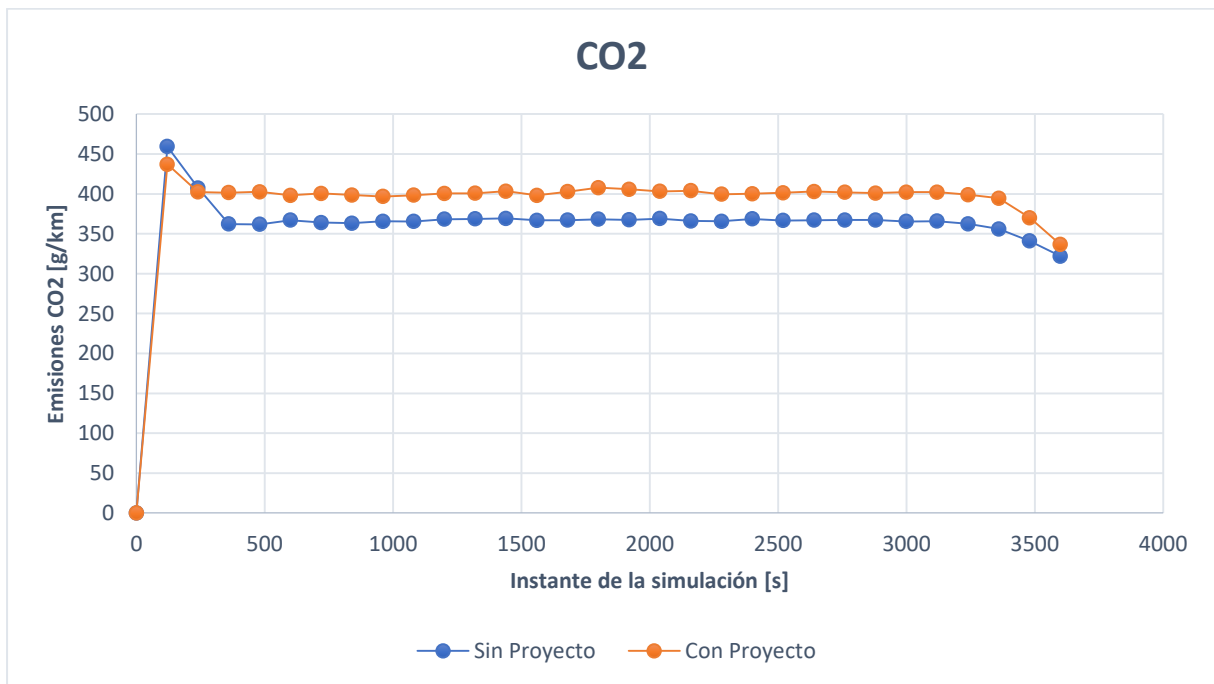


Ilustración 64: Emisiones de CO2 de la intersección (24My\_Ry), Fuente: propia.



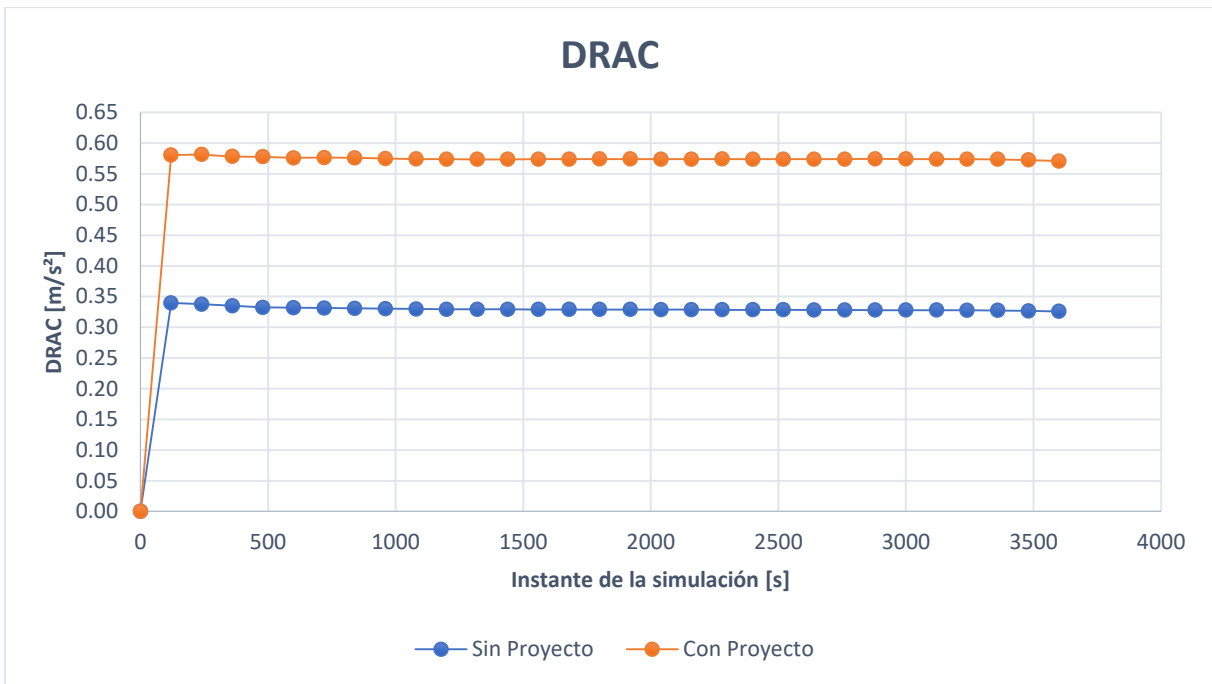


Ilustración 65: DRAC de la intersección (24My\_Ry), Fuente: propia.

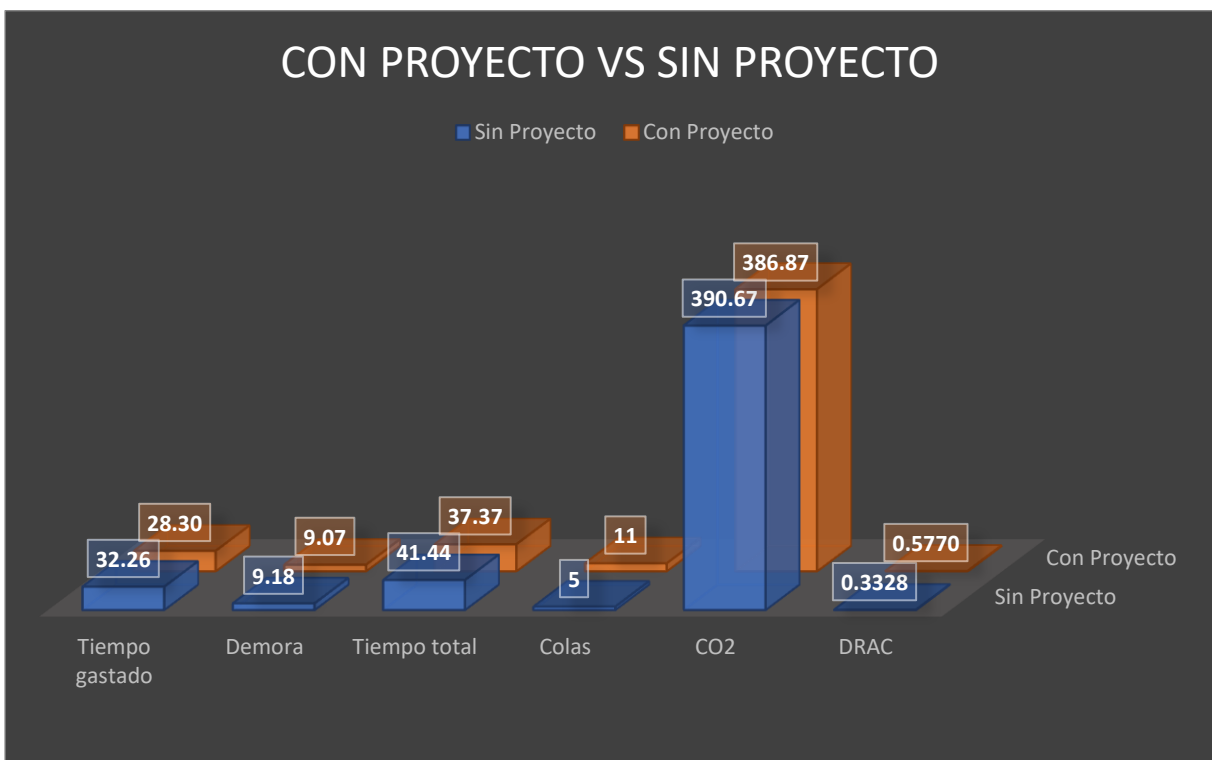


Ilustración 66: Comparación entre el estado Sin proyecto y Con Proyecto (24My\_Ry)

En la Tabla 24 se encuentra el nivel de servicio para cada año proyectado de la intersección y se empleó la Tabla 2 para determinar el LOS. La capacidad de la

intersección implementada la turbo rotonda tipo rotula es de 3500 (veh/h) (Fortuijn, 2009).

Tabla 24 nivel de servicio de la intersección 24 de Mayo y Rayoloma

24 de Mayo y Rayoloma				Capacidad (veh/h): 3500		
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Volumen (veh/h)	3159	3446	3566	3598	3645	3748
V/C	0.903	0.985	1.019	1.028	1.041	1.071
Tiempo demora	37.37	47.35	51.97	54.01	55.97	60.74
LOS	E	E	F	F	F	F

De la misma manera que se realizó el análisis con las anteriores intersecciones, al momento de evaluar los parámetros más importantes entre el estado “sin proyecto” y “con proyecto”, como se indica en Ilustración 66 Los parámetros que presentan una mejora son: Tiempo promedio gastado en la intersección por vehículo, un 12,27%, Demoras un 1,24%, tiempo total empleado en cruzar la intersección mejora 10,89%, y también existe una mejora de 0,97% en emisiones de CO2 con respecto al estado actual de la intersección. Los parámetros que no presentan una mejora son: Longitud de colas existe un incremento de 58,67% con respecto al estado actual y el DRAC aumenta también un 42,31%.

#### 4.4. Proyección de tráfico

Para analizar los datos obtenidos mediante la proyección de tráfico en las intersecciones de estudio, se realizaron matrices Origen Destino con el tráfico proyectado hasta el año 2040, con el fin de evaluar el comportamiento a largo plazo y aportar con fiabilidad de los datos, se realizaron 100 simulaciones debido a que se cambió el tamaño de muestra, variando el error permitido a un  $\pm 2\%$ , para cada período de datos desde el 2015 al 2040, los cuáles se mostrarán a continuación por cada intersección.

4.4.1. Proyección de la intersección Av. Pumapungo y Av. Max Uhle:

Tabla 25: Datos obtenidos para la proyección de tráfico para 2015-2020 (Pum\_Mx)

2015-2020				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
Tiempo gastado	63,50	[s]	31,49	[s]
Demora	41,85	[s]	6,88	[s]
Tiempo total	105,35	[s]	38,36	[s]
Colas	171,25	[m]	8,67	[m]
CO2	377,58	[g/km]	417,65	[g/km]
DRAC	0,70	[m/s <sup>2</sup> ]	0,42	[m/s <sup>2</sup> ]

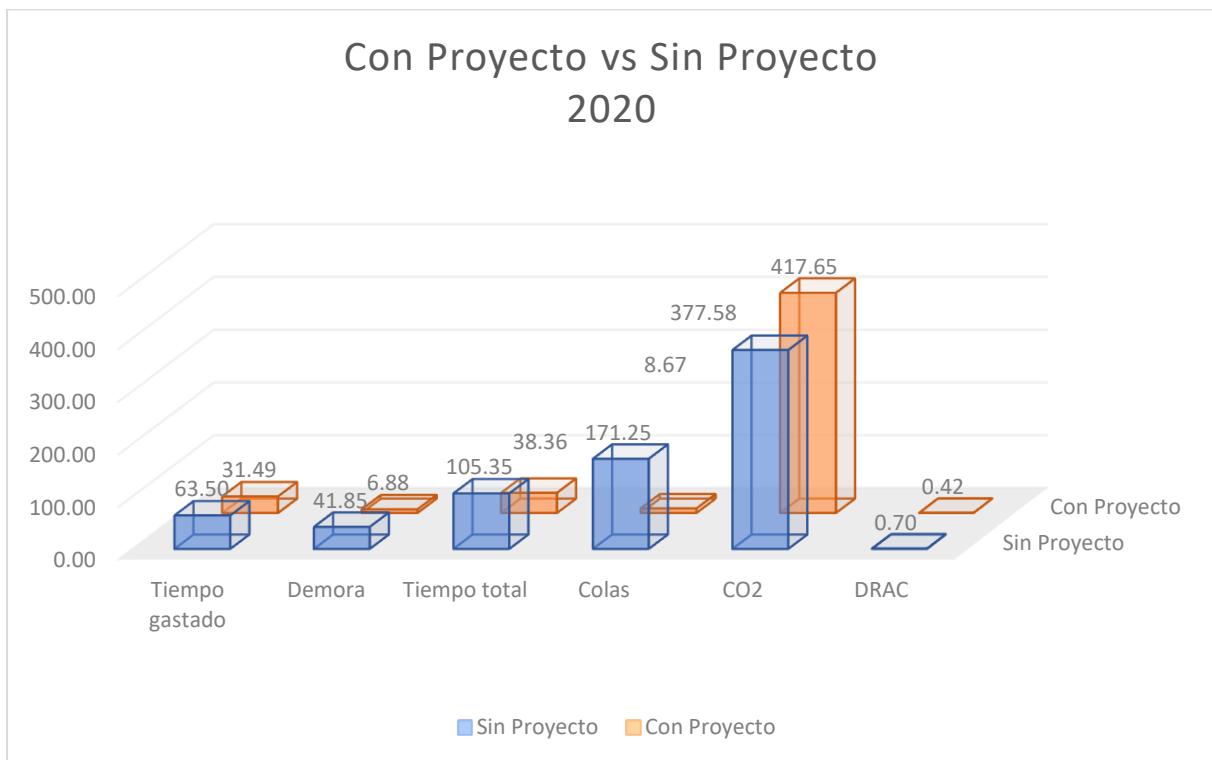


Ilustración 67 Comparación Sin Proyecto vs Con Proyecto 2015-2020 (Pum\_Mx).

Tabla 26: Datos promedio obtenidos en la intersección para la proyección del 2020-2025 (Pum\_Mx).

2020-2025				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
Tiempo gastado	69,20	[s]	33,05	[s]
Demora	46,93	[s]	7,45	[s]
Tiempo total	116,13	[s]	40,50	[s]

<b>Colas</b>	176,38	[m]	11,03	[m]
<b>CO2</b>	381,21	[g/km]	430,96	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,67	[m/s <sup>2</sup> ]	0,42	[m/s <sup>2</sup> ]

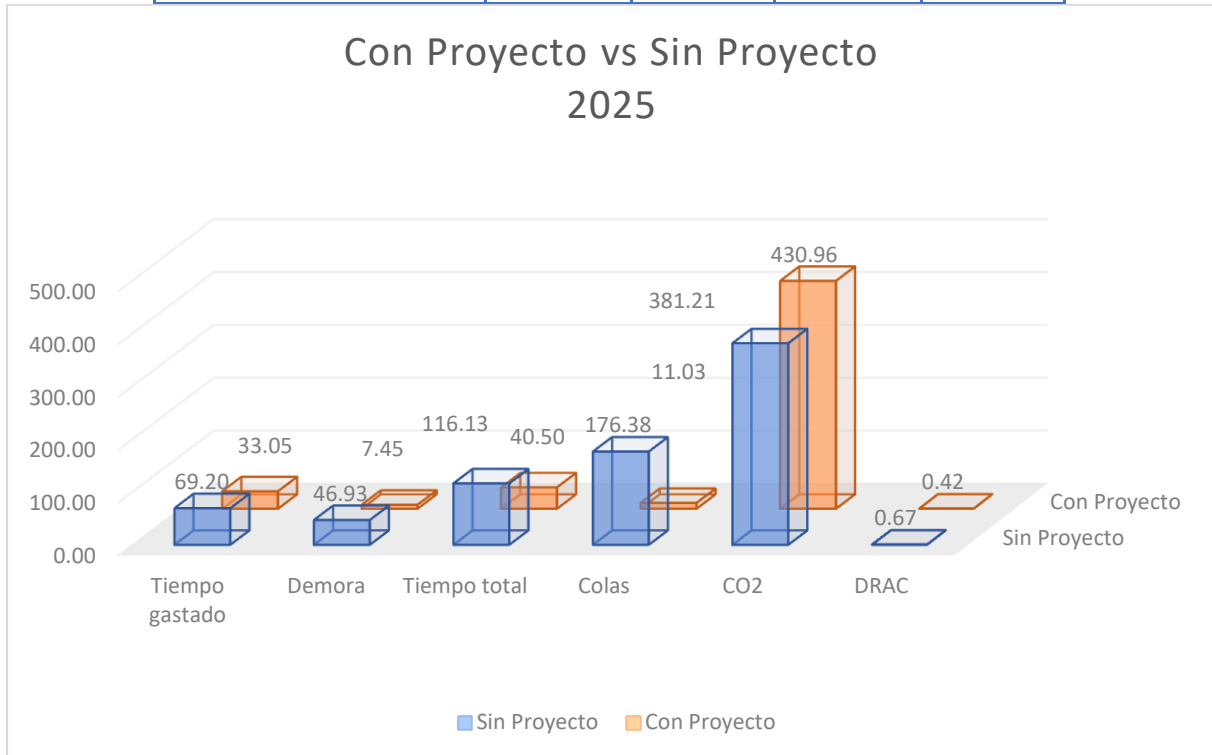


Ilustración 68 Comparación entre Sin Proyecto y Con proyecto para el 2020-2025 (Pum\_Mx).

Tabla 27: Datos promedio obtenidos para el período 2025-2030 (Pum\_Mx)

2025-2030				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
<b>Tiempo gastado</b>	71,60	[s]	34,89	[s]
<b>Demora</b>	49,03	[s]	8,36	[s]
<b>Tiempo total</b>	120,63	[s]	43,26	[s]
<b>Colas</b>	204,83	[m]	11,11	[m]
<b>CO2</b>	390,70	[g/km]	440,01	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,65	[m/s <sup>2</sup> ]	0,43	[m/s <sup>2</sup> ]

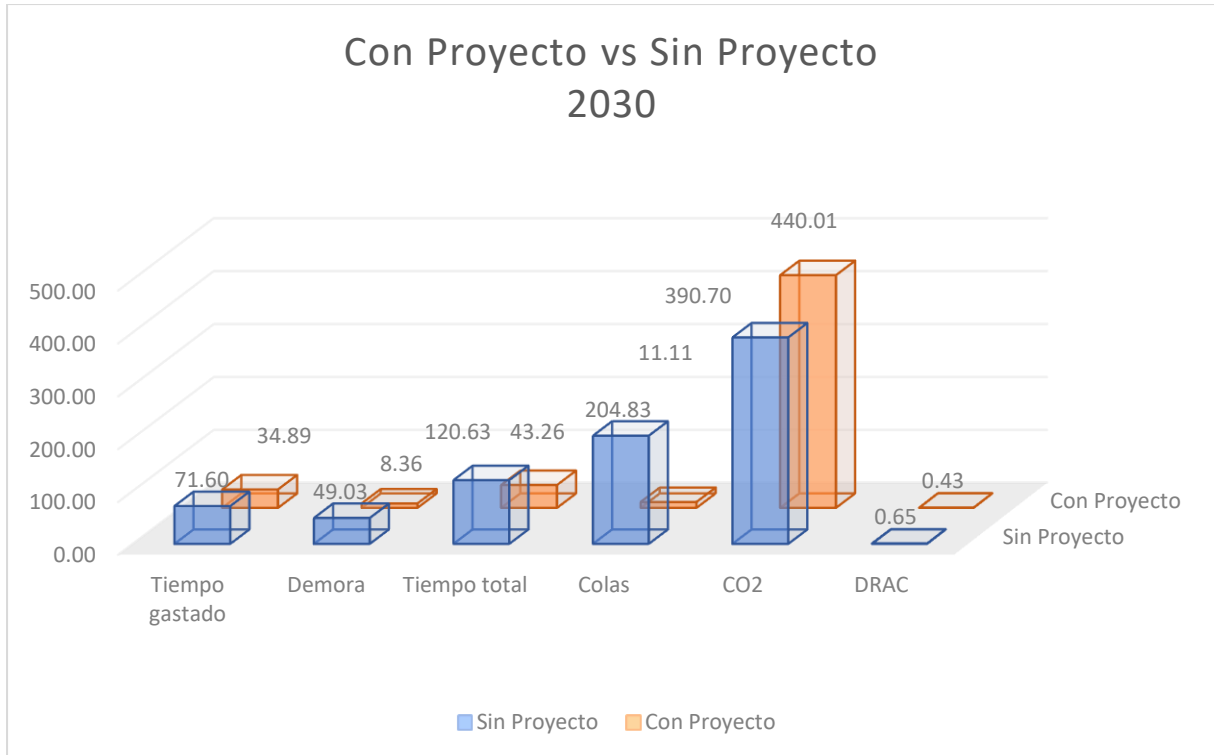


Ilustración 69 Comparación entre Sin Proyecto y Con Proyecto para 2025-2030 (Pum\_Mx)

Tabla 28: Datos promedio obtenidos para el período 2030-2035 (Pum\_Mx)

2030-2035				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
<b>Tiempo gastado</b>	73,15	[s]	36,08	[s]
<b>Demora</b>	50,65	[s]	8,79	[s]
<b>Tiempo total</b>	123,80	[s]	44,87	[s]
<b>Colas</b>	221,21	[m]	14,10	[m]
<b>CO2</b>	392,30	[g/km]	444,74	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,62	[m/s <sup>2</sup> ]	0,43	[m/s <sup>2</sup> ]

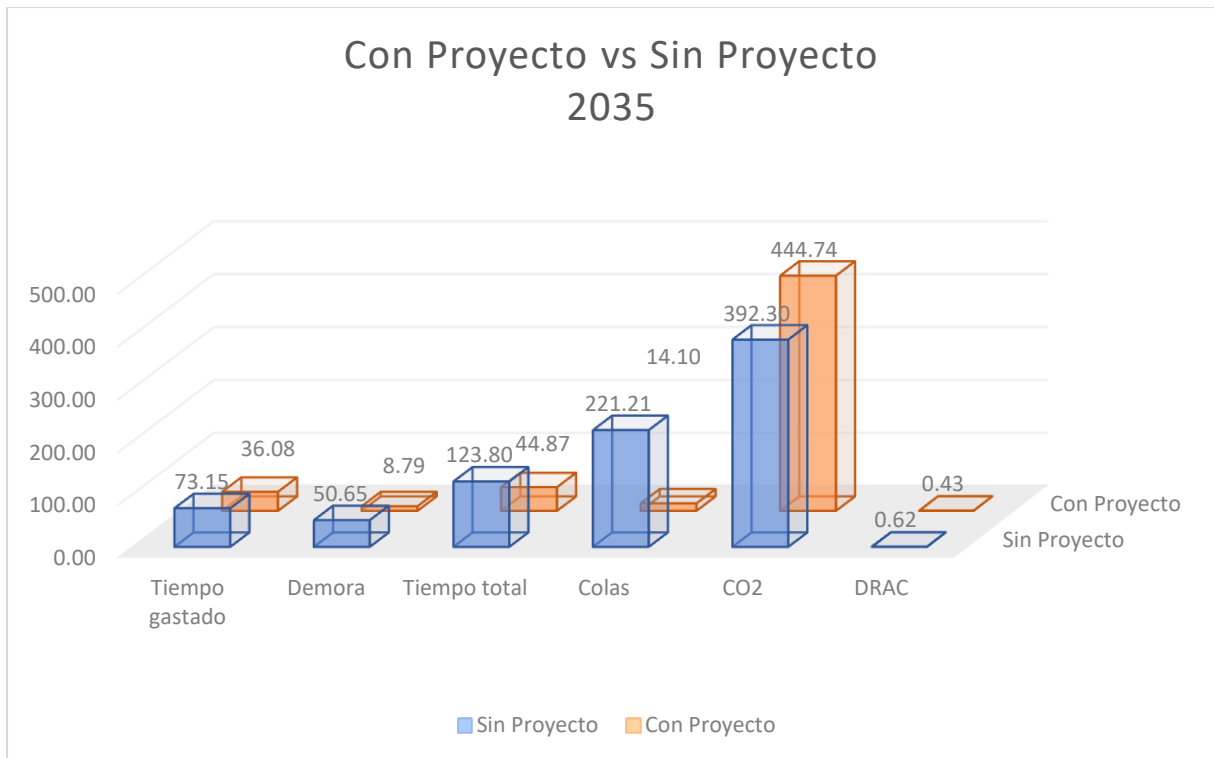


Ilustración 70 Comparación entre sin proyecto y con proyecto para 2030-2035 (Pum\_Mx)

Tabla 29: Datos promedio obtenidos para el período 2035-2040 (Pum\_Mx)

2035-2040				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
Tiempo gastado	73,65	[s]	41,57	[s]
Demora	51,01	[s]	13,17	[s]
Tiempo total	124,66	[s]	54,74	[s]
Colas	218,44	[m]	36,11	[m]
CO2	395,83	[g/km]	479,73	[g/km]
DRAC	0,61	[m/s <sup>2</sup> ]	0,39	[m/s <sup>2</sup> ]

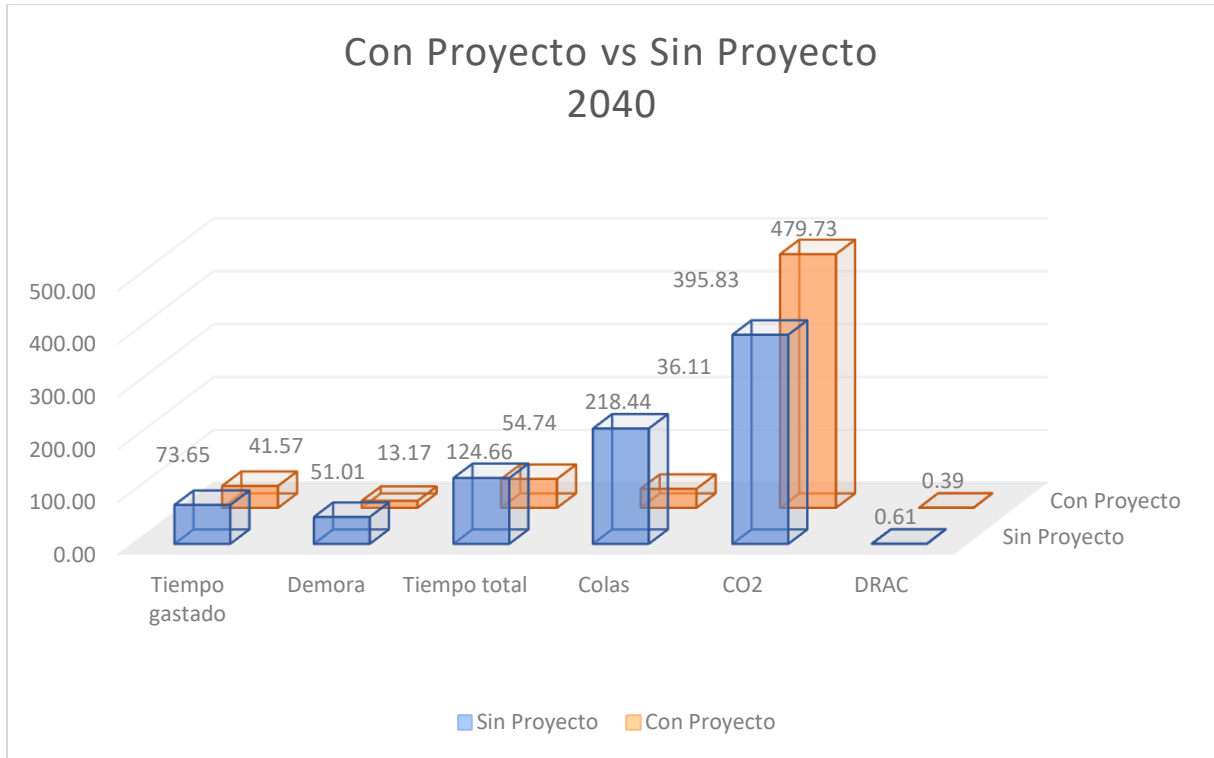


Ilustración 71 Comparación entre el estado sin proyecto y con proyecto para 2035-2040 (Pum\_Mx).

Tabla 30 : Comparación entre estado actual 2015 y estado con proyecto 2040 para la intersección Av.

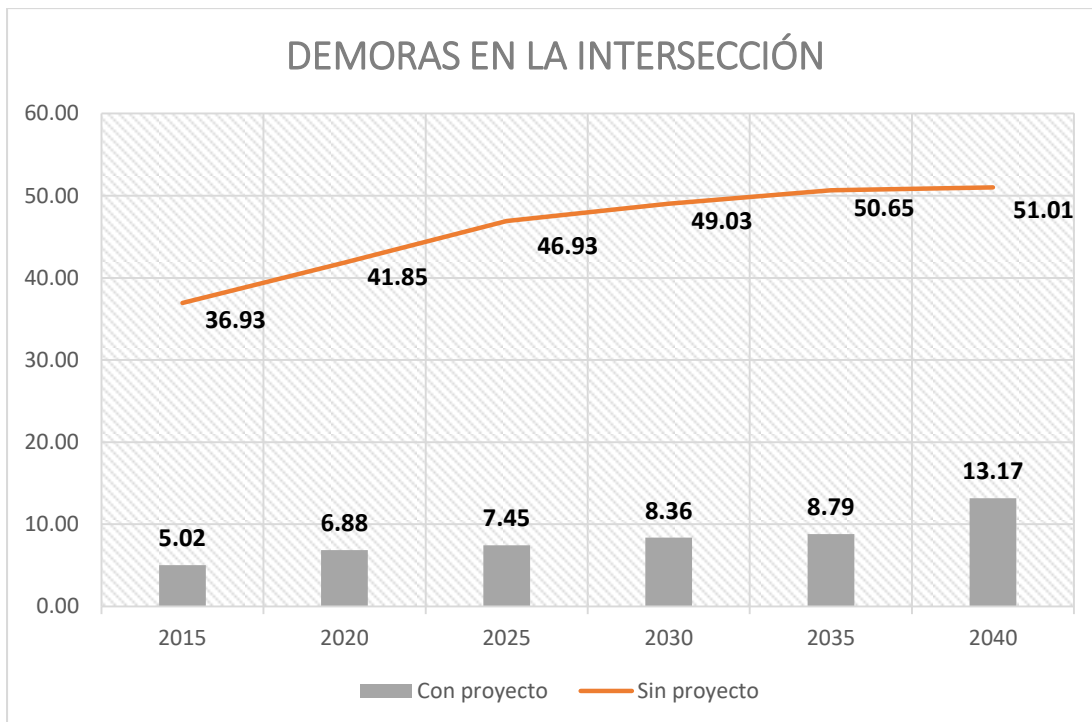
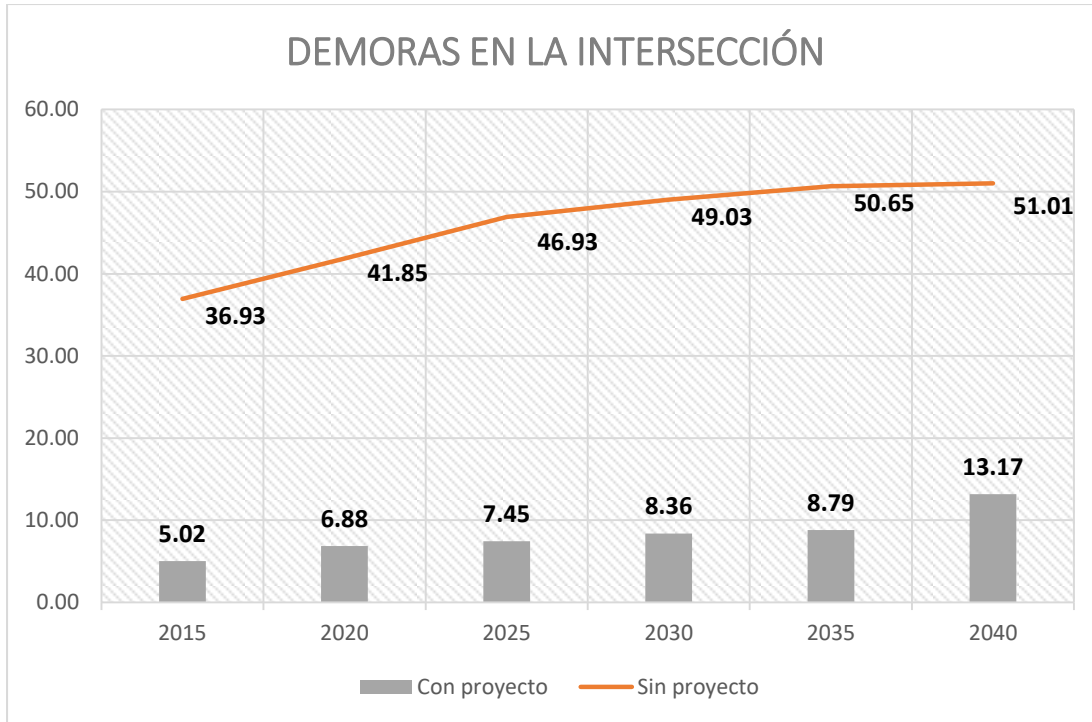
Pumapungo y Av. Max Uhle,

	SIN PROYECTO 2015		CON PROYECTO 2040		Porcentaje
Simulación	MEDIA		MEDIA		%
Tiempo gastado	58,29	[s]	41,57	[s]	28,7%
Demora	36,93	[s]	13,17	[s]	64,3%
Tiempo total	95,22	[s]	54,74	[s]	42,5%
Colas	143,73	[m]	36,11	[m]	74,9%
CO2	367,86	[g/km]	479,73	[g/km]	-30,4%
DRAC	0,73	[m/s <sup>2</sup> ]	0,39	[m/s <sup>2</sup> ]	46,9%

Al realizar la comparación entre el estado “sin proyecto” y “con proyecto” para los distintos períodos de tiempo, cada 5 años hasta el 2040, como se puede ver en Ilustración 67 Ilustración 68 Ilustración 69 Ilustración 70 Ilustración 71 para los parámetros evaluados, existe la misma tendencia en donde mejora el tiempo gastado, demoras, tiempo total en la intersección longitud de colas y DRAC, pero las emisiones de CO2 no presenta una mejora con respecto al estado sin proyecto.

Finalmente, se realizó una comparación entre el estado “sin proyecto” para el año 2015, es decir con los datos originales, y el estado “con proyecto” para el año 2040, ya con los datos proyectados, como se indica en la *Tabla 30*, en donde se muestra el porcentaje obtenido entre el resultado para “sin proyecto” y “con proyecto”. Se puede observar que el tiempo gastado mejora 28,7%, las demoras 64,3%, el tiempo total empleado en la intersección mejora 42,5%, la longitud de colas presenta una mejora del 74,9% y el DRAC mejora en 46,9%. se puede observar la evolución a través del tiempo del estado sin proyecto vs con proyecto y se evidencia mejoras significativas.





*Ilustración 72.: Comparación en el tiempo entre demoras del estado actual y estado con proyecto para la intersección Av. Pumapungo y Av. Max Uhle., Fuente: propia*

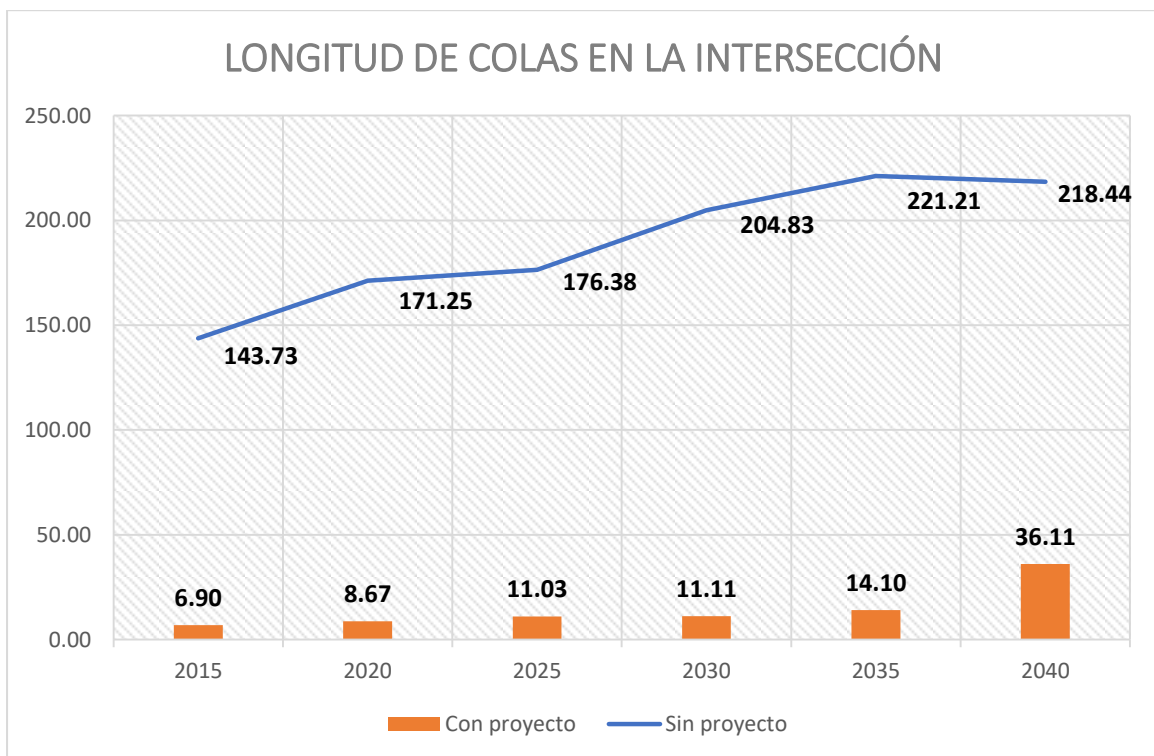
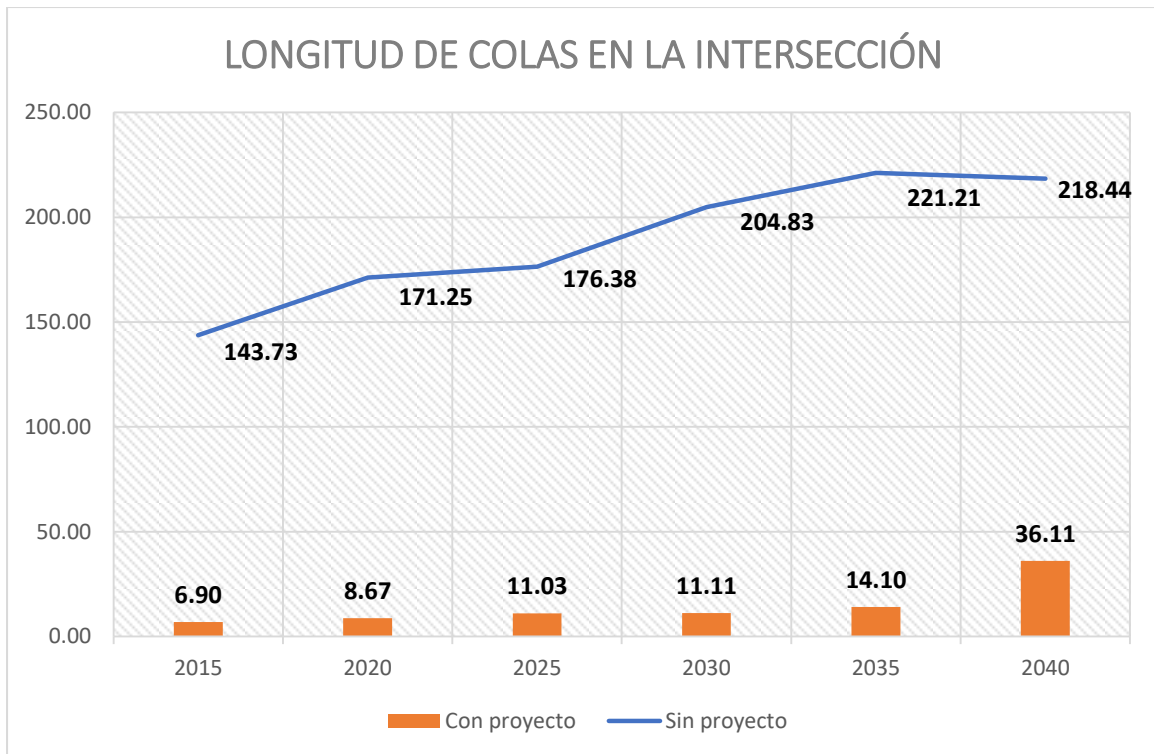


Ilustración 73:: Comparación en el tiempo entre la longitud de colas del estado actual y estado con proyecto para la intersección Av. Pumapungo y Av. Max Uhle., Fuente: propia

4.4.2. Proyección de la intersección Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle

Tabla 31: Datos promedio obtenidos para 2015-2020 (24My\_Mx).

2015-2020				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
Tiempo gastado	45,68	[s]	43,57	[s]
Demora	11,70	[s]	10,22	[s]
Tiempo total	57,37	[s]	53,79	[s]
Colas	9,39	[m]	9,52	[m]
CO2	328,59	[g/km]	479,44	[g/km]
DRAC	0,37	[m/s <sup>2</sup> ]	0,37	[m/s <sup>2</sup> ]

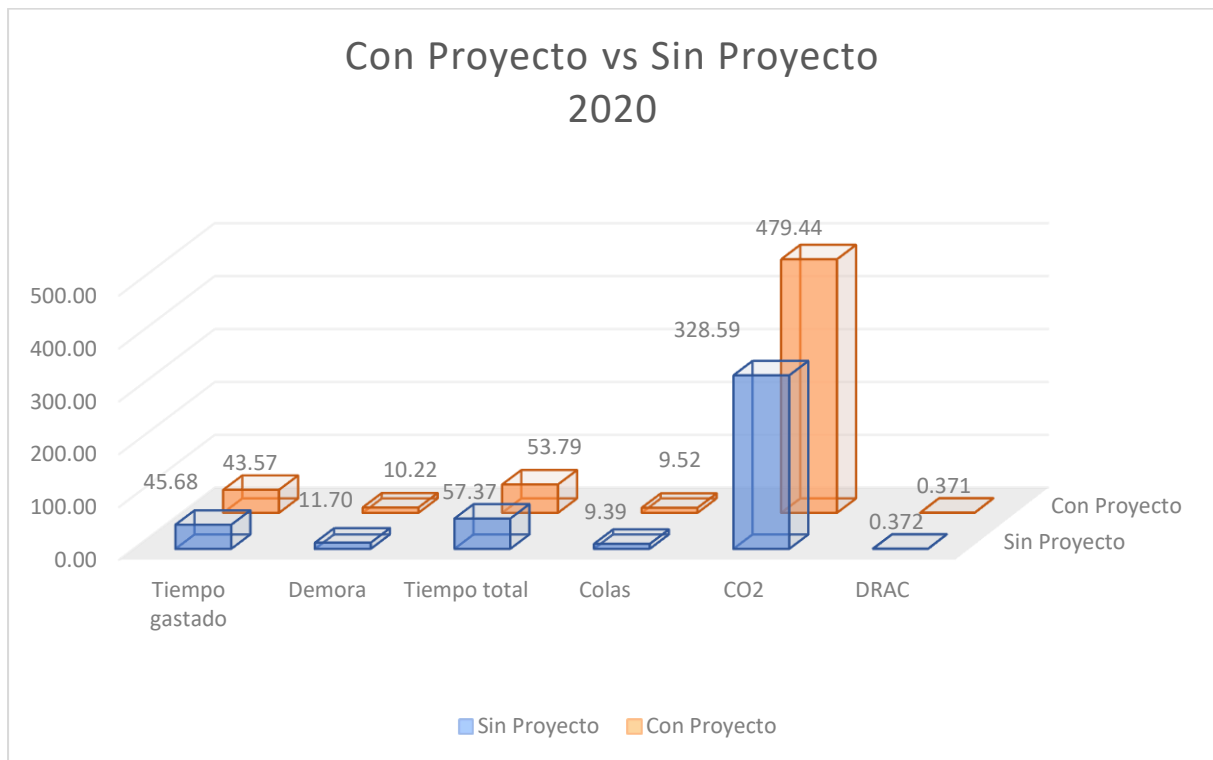


Ilustración 72 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para 2015-2020 (24My\_Mx).

Tabla 32: Datos promedio obtenidos para 2020-2025 (24My\_Mx).

2020-2025				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
Tiempo gastado	47,23	[s]	45,41	[s]
Demora	12,36	[s]	10,88	[s]
Tiempo total	59,59	[s]	56,28	[s]
Colas	10,97	[m]	11,53	[m]

<b>CO2</b>	339,18	[g/km]	487,34	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,38	[m/s <sup>2</sup> ]	0,39	[m/s <sup>2</sup> ]

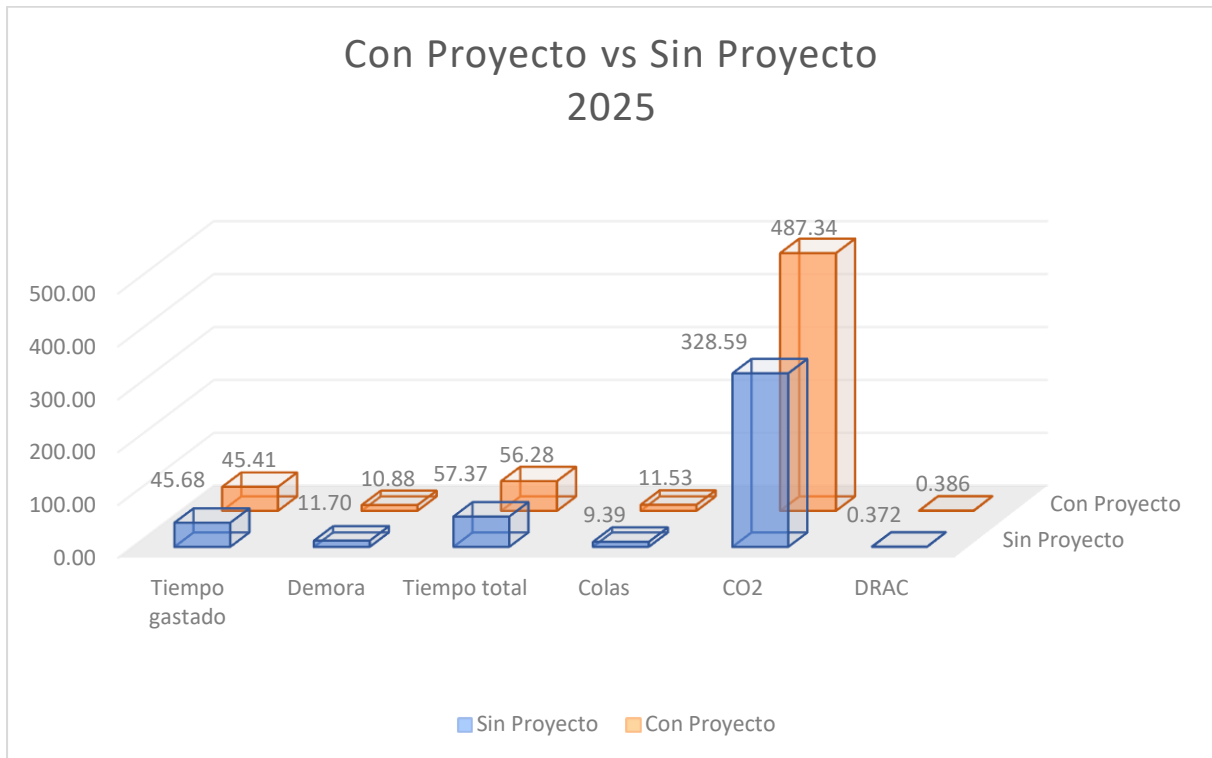


Ilustración 73 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para 2020-2025 (24My\_Mx),

Tabla 33: Datos promedio obtenidos para el período 2025-2030 (24My\_Mx).

2025-2030				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
<b>Simulación</b>	MEDIA		MEDIA	
<b>Tiempo gastado</b>	48,81	[s]	47,32	[s]
<b>Demora</b>	13,09	[s]	11,66	[s]
<b>Tiempo total</b>	61,90	[s]	58,98	[s]
<b>Colas</b>	10,08	[m]	13,14	[m]
<b>CO2</b>	338,32	[g/km]	499,47	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,38	[m/s <sup>2</sup> ]	0,39	[m/s <sup>2</sup> ]

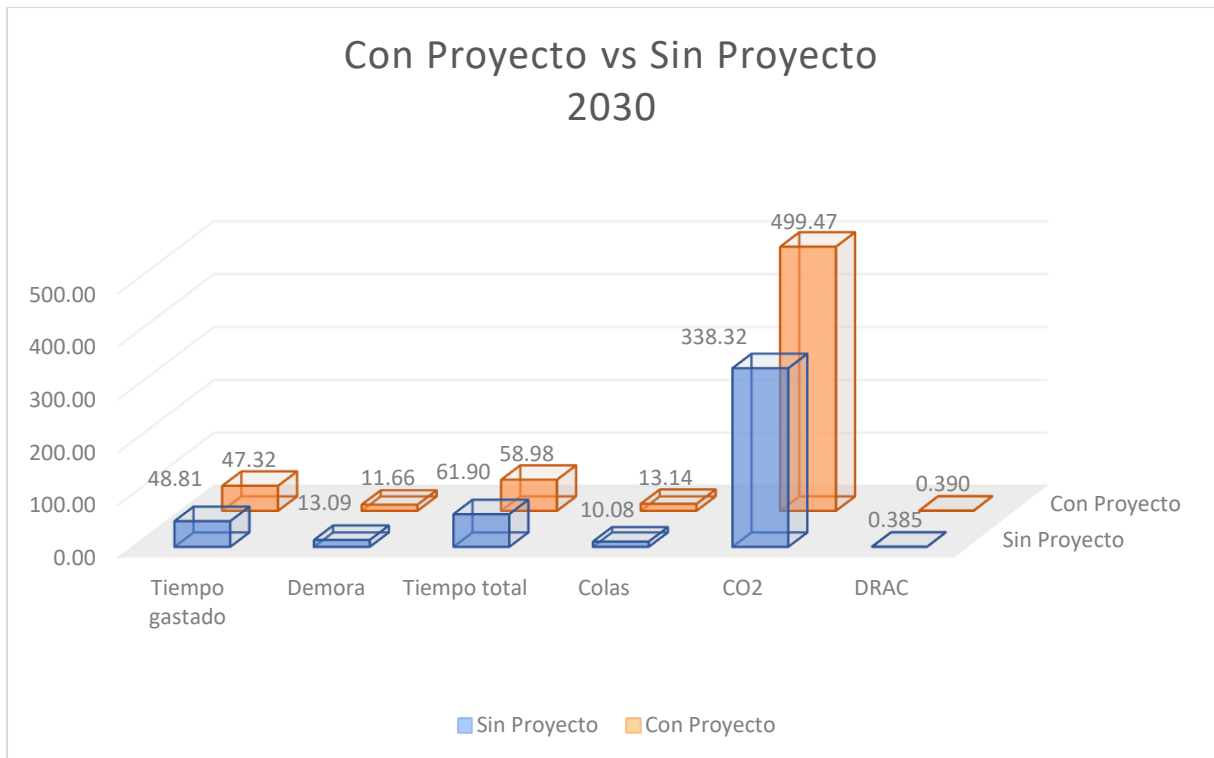


Ilustración 74 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2025-2030 (24My\_Mx).

Tabla 34: Datos promedio obtenidos para 2030-2035 (24My\_Mx).

2030-2035				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
<b>Tiempo gastado</b>	50,69	[s]	51,24	[s]
<b>Demora</b>	13,97	[s]	13,50	[s]
<b>Tiempo total</b>	64,66	[s]	64,73	[s]
<b>Colas</b>	12,78	[m]	17,93	[m]
<b>CO2</b>	351,44	[g/km]	516,09	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,40	[m/s <sup>2</sup> ]	0,40	[m/s <sup>2</sup> ]

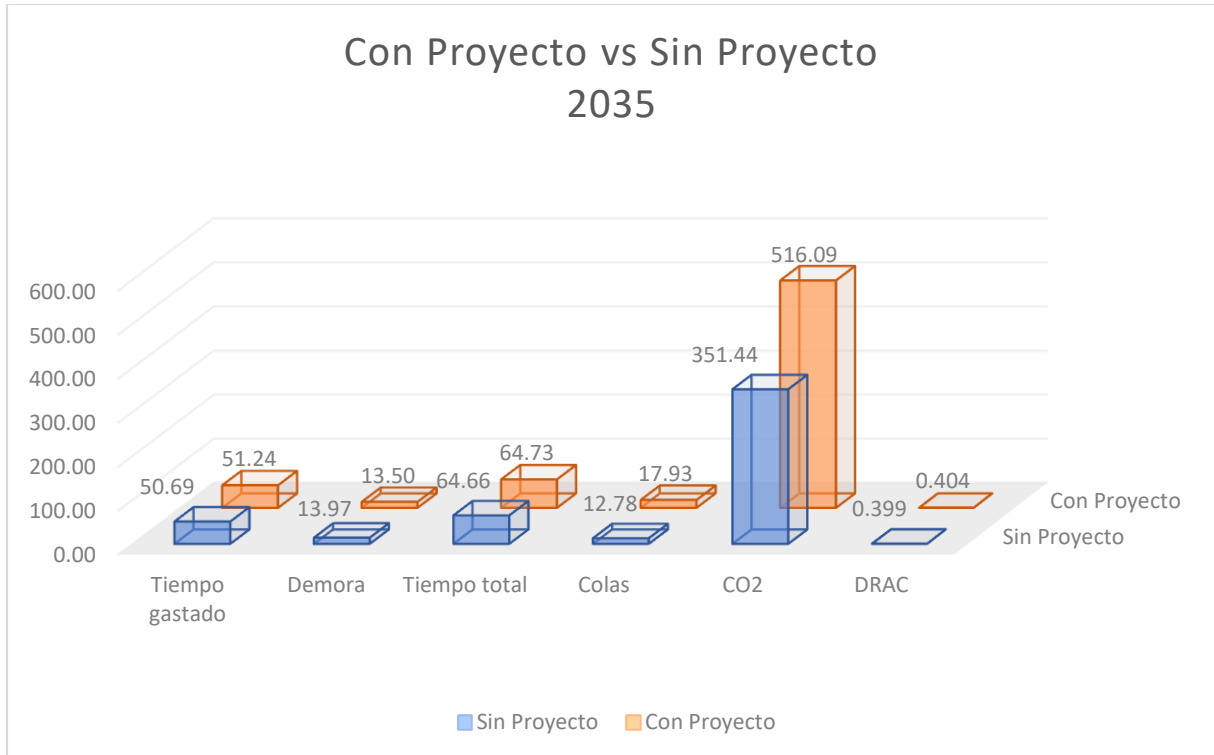


Ilustración 75 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2030-2035 (24My\_Mx).

Tabla 35: Datos promedio obtenidos para 2035-2040 (24My\_Mx)

		2035-2040			
		SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación		MEDIA		MEDIA	
<b>Tiempo gastado</b>		51,88	[s]	52,30	[s]
<b>Demora</b>		14,59	[s]	13,93	[s]
<b>Tiempo total</b>		66,48	[s]	66,23	[s]
<b>Colas</b>		11,52	[m]	16,84	[m]
<b>CO2</b>		351,31	[g/km]	517,66	[g/km]
<b>DRAC</b>		0,40	[m/s <sup>2</sup> ]	0,41	[m/s <sup>2</sup> ]

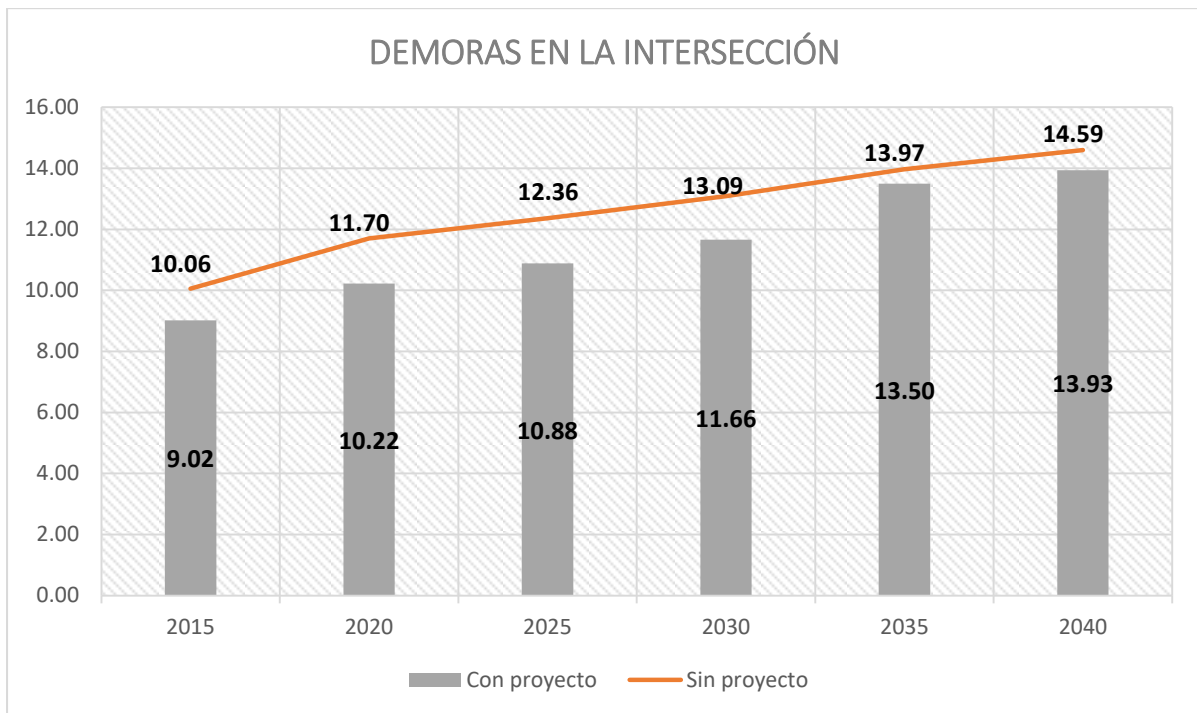
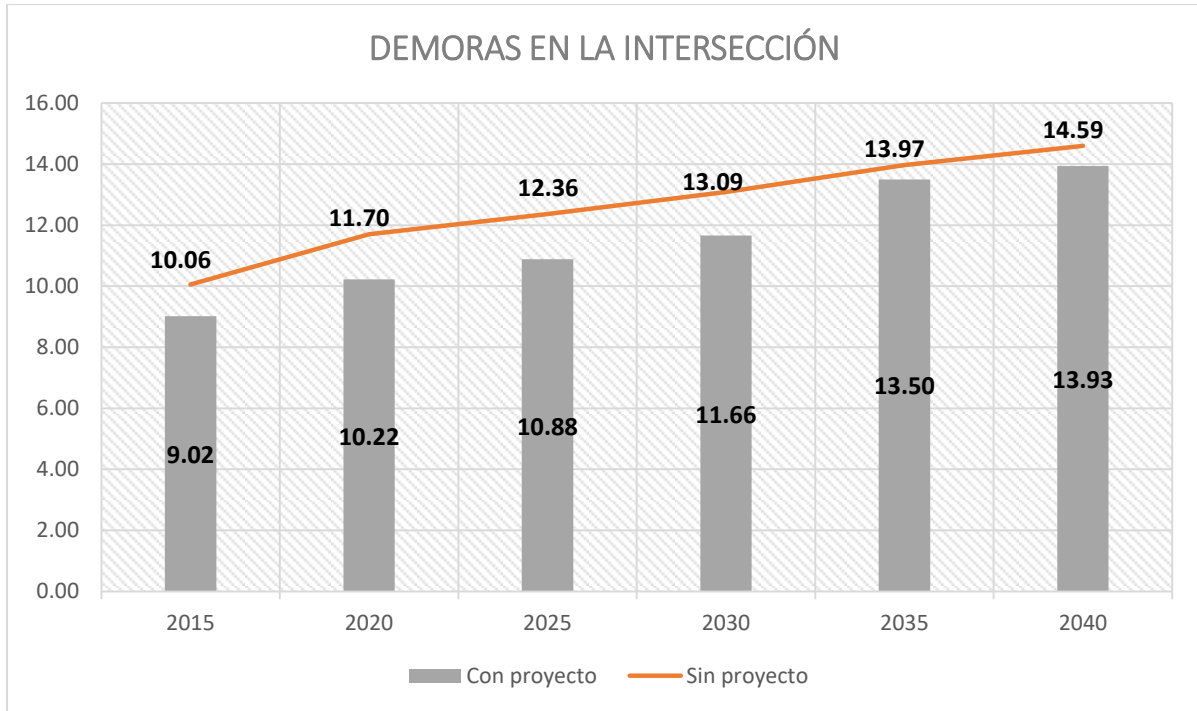
Ilustración 76 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2035-2040 (24My\_Mx)

Tabla 36: Comparación entre porcentajes obtenidos para el 2015 y para el 2040 en la intersección comprendida por Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle)

	PROYECTO 2015		PROYECTO 2040	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
Tiempo gastado	4,22%	[s]	-0,80%	[s]
Demora	10,30%	[s]	4,53%	[s]
Tiempo total	5,39%	[s]	0,37%	[s]
Colas	-30,17%	[m]	-46,24%	[m]
CO2	-49,45%	[g/km]	-47,35%	[g/km]
DRAC	0,27%	[m/s <sup>2</sup> ]	-2,98%	[m/s <sup>2</sup> ]

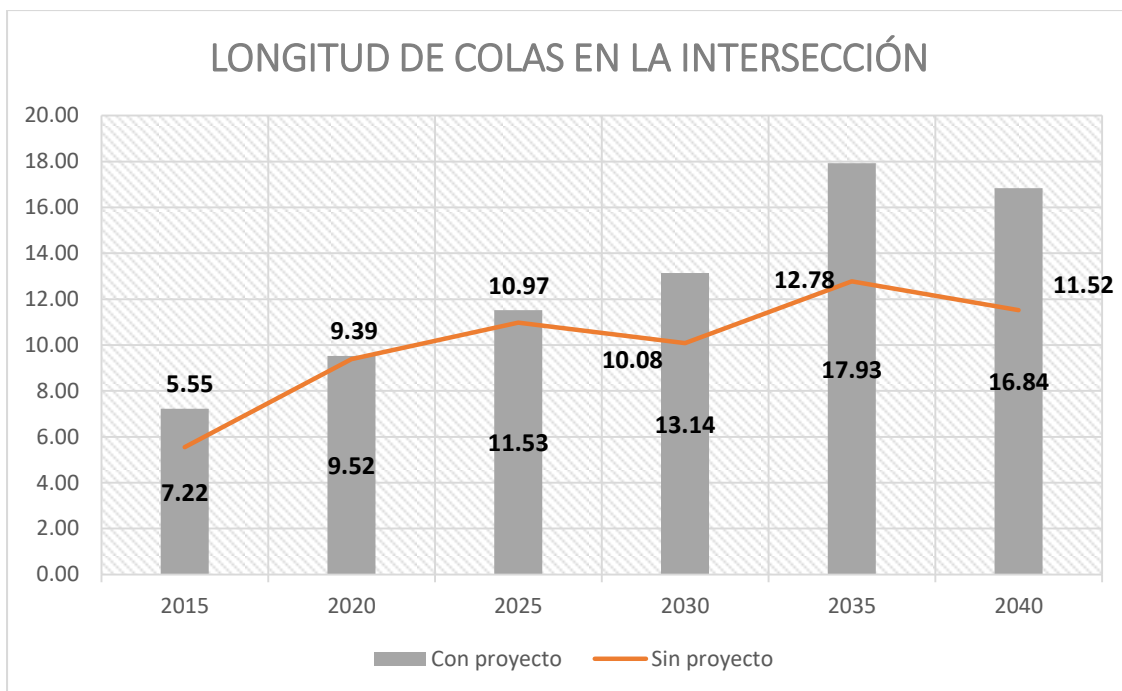
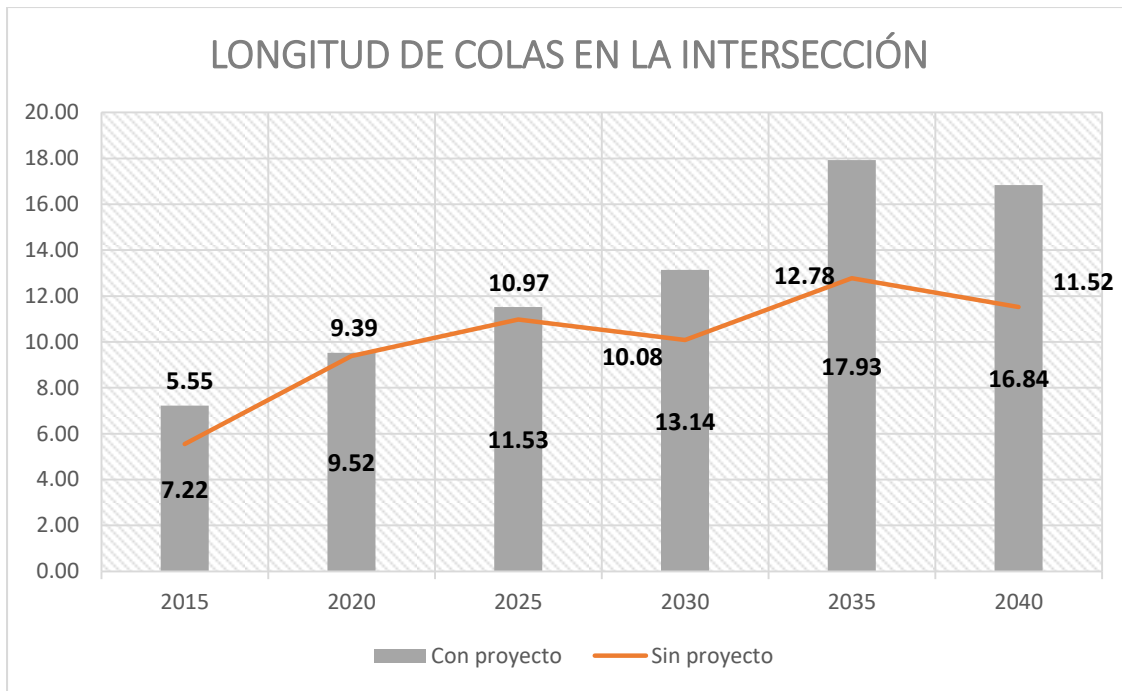
Al realizar la comparación entre estado “sin proyecto” y “con proyecto” para los datos proyectados en los períodos desde el 2015 al 2040, cada 5 años, como se indica en la Ilustración 72, Ilustración 73, Ilustración 74, Ilustración 75, Ilustración 76, se mantiene una mejora en el tiempo gastado, demoras y por ende tiempo total empleado en la intersección, sin embargo, la longitud de colas, emisiones de CO2 y DRAC no presenta una mejora con respecto al estado sin proyecto.

Finalmente, se realizó una comparación entre los porcentajes entre el estado “sin proyecto” y “con proyecto”, como se indica en la *Tabla 36*, en donde los datos que se encuentran con signo negativo no presentan mejora y los que se encuentran con signo positivo si presentan una mejora. Así, se puede observar que para el año 2040 existirá una mejora únicamente en las demoras, sin embargo, en longitudes de colas de vehículos en la intersección no existirá una mejora, como se puede observar en la Ilustración 79 y tiempo del estado sin proyecto vs con proyecto.



*Ilustración 79:: Comparación en el tiempo entre demoras del estado actual y estado con proyecto para la intersección por Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle., Fuente: propia*





*Ilustración 80:: Comparación en el tiempo entre longitud de colas del estado actual y estado con proyecto para la intersección por Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle., Fuente: propia*

4.4.3. Intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma

Tabla 37 Datos promedio obtenidos para 2015-2020 (24My\_Ry).

2015-2020				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
Tiempo gastado	35,68	[s]	34,16	[s]
Demora	11,06	[s]	13,19	[s]
Tiempo total	46,74	[s]	47,35	[s]
Colas	8,34	[m]	16,18	[m]
CO2	418,84	[g/km]	425,79	[g/km]
DRAC	0,32	[m/s <sup>2</sup> ]	0,57	[m/s <sup>2</sup> ]

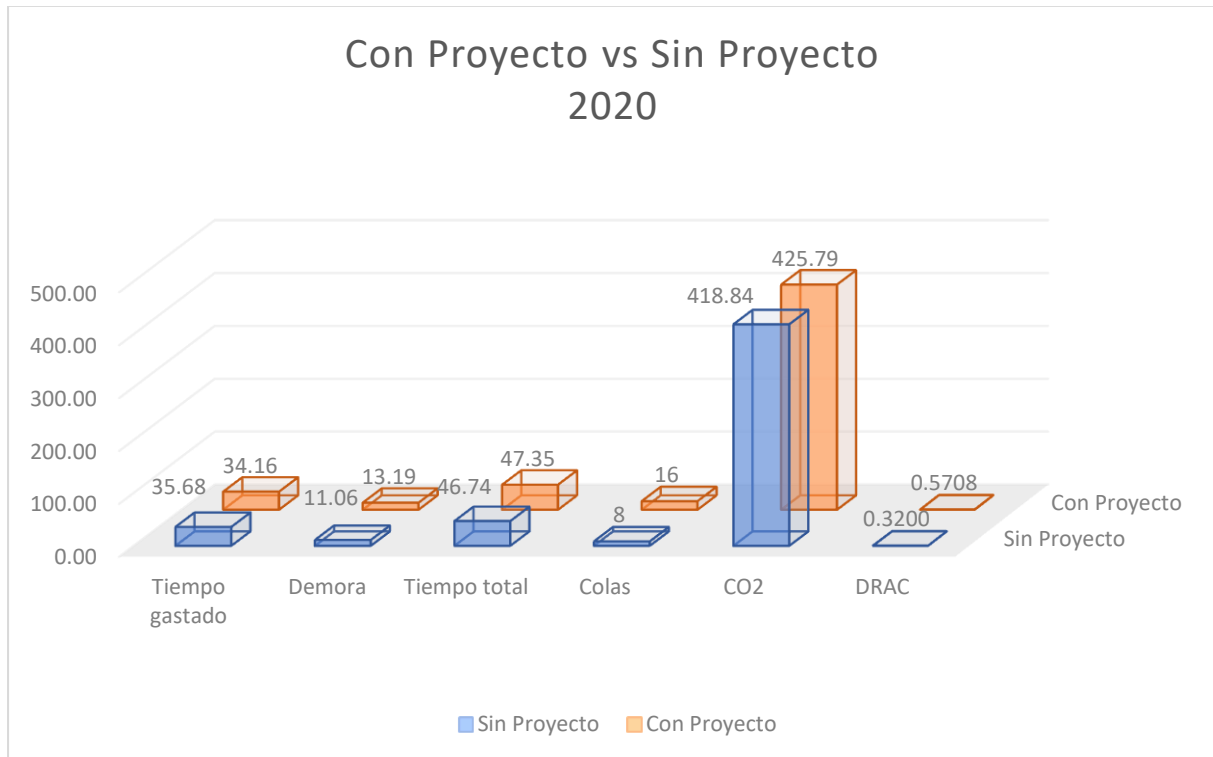


Ilustración 77 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2015-2020 (24My\_Ry)

Tabla 38 Datos promedio obtenidos para 2020-2025 (24My\_Ry).

2020-2025		
	SIN PROYECTO	CON PROYECTO
Simulación	MEDIA	MEDIA

<b>Tiempo gastado</b>	36,95	[s]	36,76	[s]
<b>Demora</b>	11,59	[s]	15,21	[s]
<b>Tiempo total</b>	48,54	[s]	51,97	[s]
<b>Colas</b>	6,47	[m]	27,73	[m]
<b>CO2</b>	418,00	[g/km]	442,39	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,33	[m/s <sup>2</sup> ]	0,56	[m/s <sup>2</sup> ]

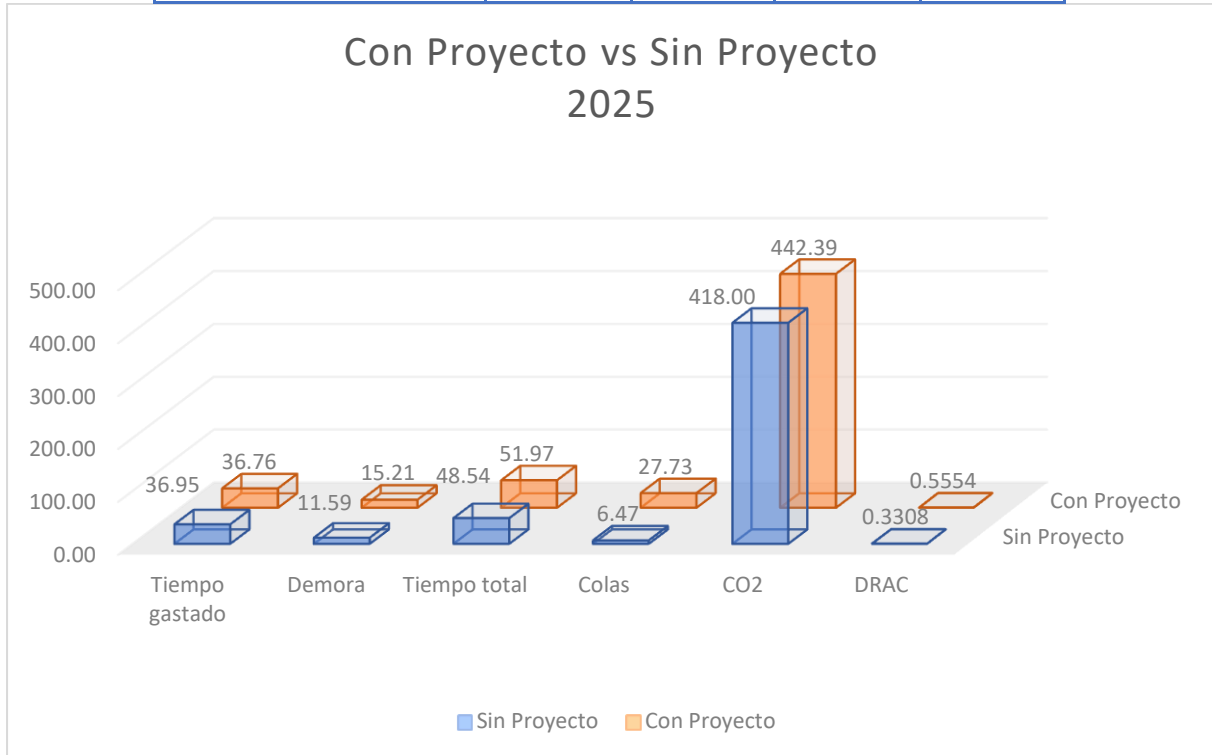


Ilustración 78 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2020-2025 (24My\_Ry)

Tabla 39: Datos promedio obtenidos para 2025-2030 (24My\_Ry)

2025-2030				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
<b>Simulación</b>	MEDIA		MEDIA	
<b>Tiempo gastado</b>	37,67	[s]	37,88	[s]
<b>Demora</b>	11,96	[s]	16,13	[s]
<b>Tiempo total</b>	49,63	[s]	54,01	[s]
<b>Colas</b>	8,01	[m]	36,25	[m]
<b>CO2</b>	432,49	[g/km]	462,52	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,34	[m/s <sup>2</sup> ]	0,56	[m/s <sup>2</sup> ]

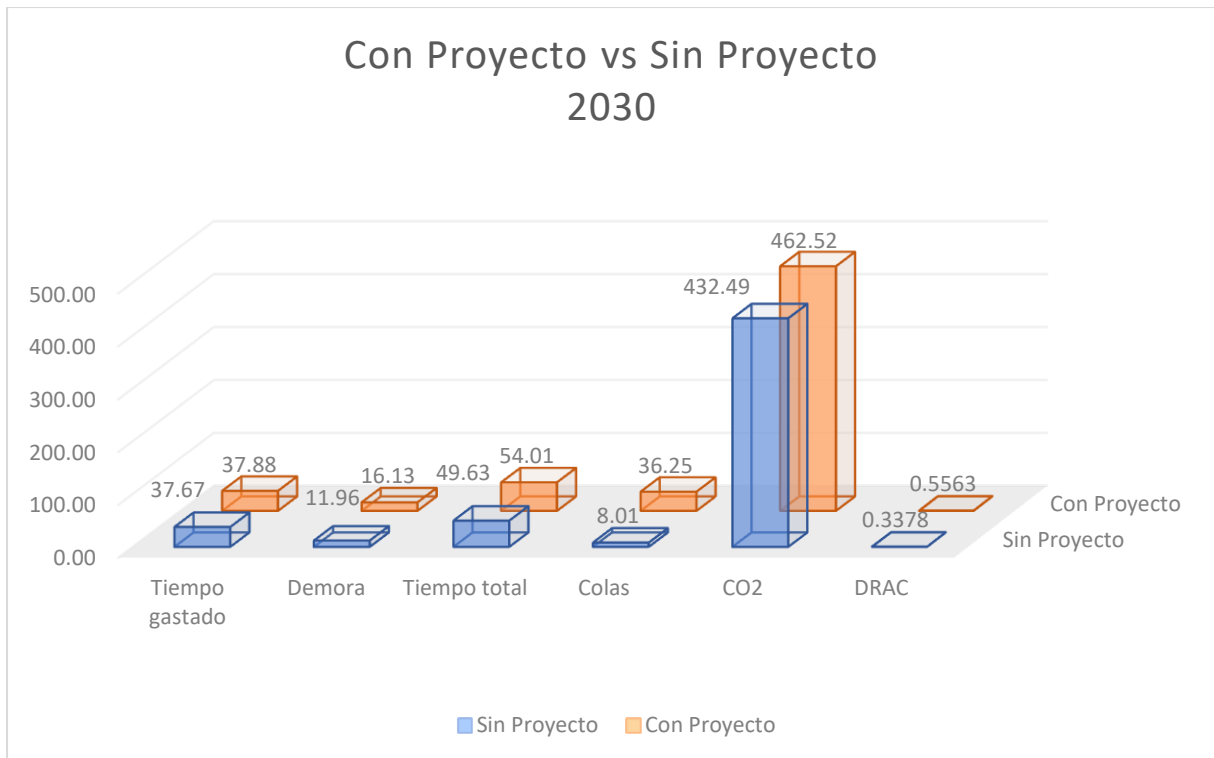


Ilustración 79 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2025-2030 (24My\_Ry)

Tabla 40: Datos promedio obtenidos para 2030-2035 (24My\_Ry)

2030-2035				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
<b>Tiempo gastado</b>	38,17	[s]	38,97	[s]
<b>Demora</b>	12,24	[s]	17,00	[s]
<b>Tiempo total</b>	50,41	[s]	55,97	[s]
<b>Colas</b>	9,87	[m]	37,69	[m]
<b>CO2</b>	437,32	[g/km]	464,82	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,33	[m/s <sup>2</sup> ]	0,55	[m/s <sup>2</sup> ]

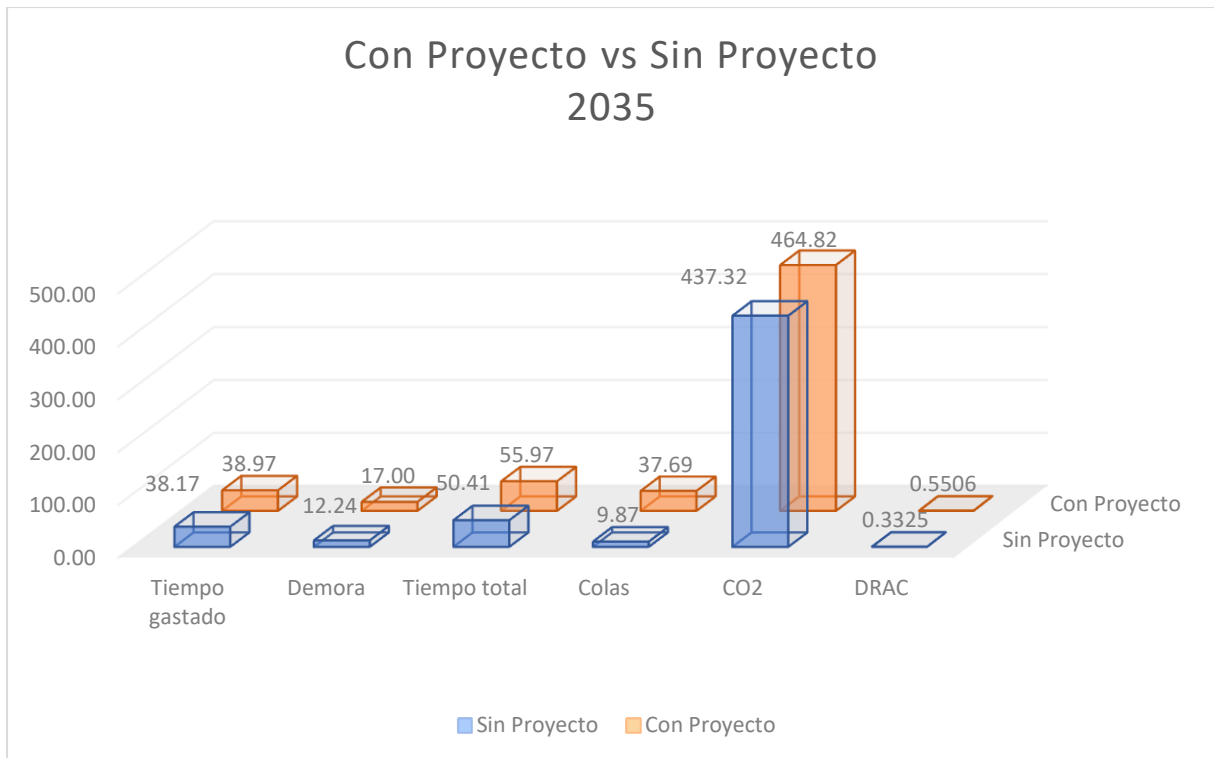


Ilustración 80 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2030-2035 (24My\_Ry)

Tabla 41: Datos promedio obtenidos para 2035-2040 (24My\_Ry)

2035-2040				
	SIN PROYECTO		CON PROYECTO	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
<b>Tiempo gastado</b>	38,73	[s]	41,73	[s]
<b>Demora</b>	12,51	[s]	19,01	[s]
<b>Tiempo total</b>	51,24	[s]	60,74	[s]
<b>Colas</b>	10,10	[m]	40,54	[m]
<b>CO2</b>	449,00	[g/km]	477,22	[g/km]
<b>DRAC</b>	0,33	[m/s <sup>2</sup> ]	0,54	[m/s <sup>2</sup> ]

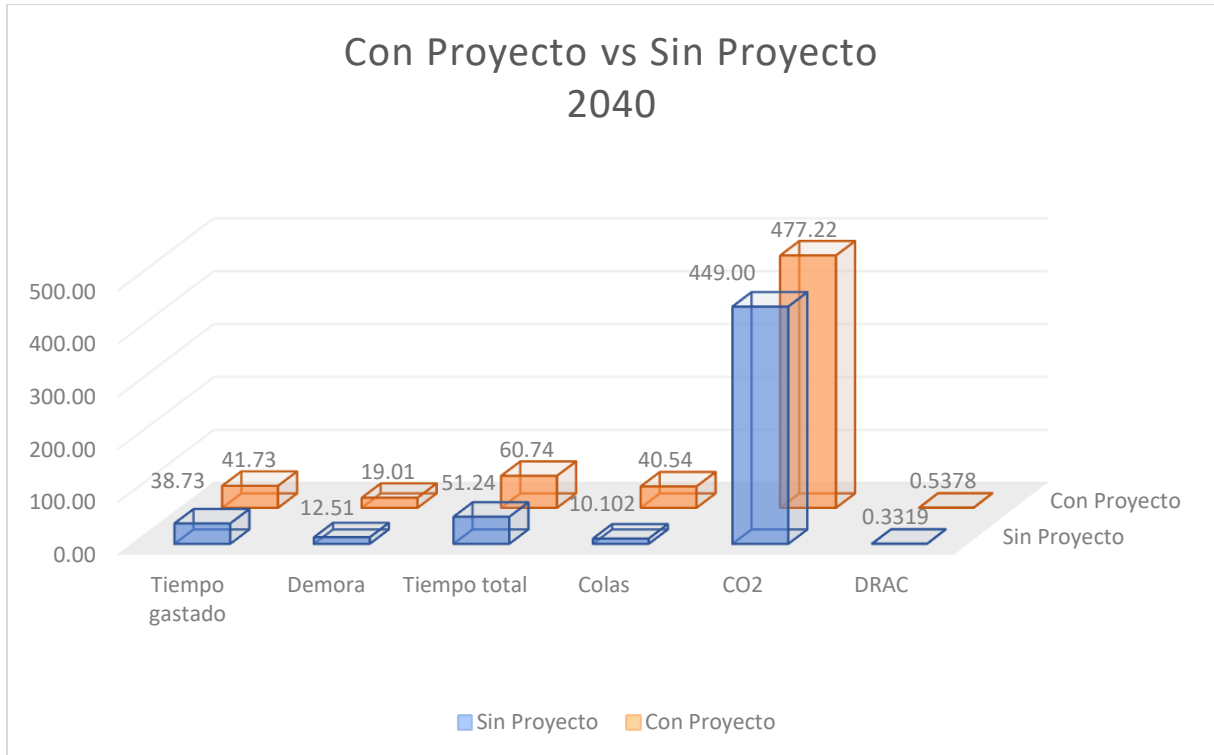


Ilustración 81 Comparación entre estado sin proyecto y con proyecto para el período 2035-2040 (24My\_Ry)

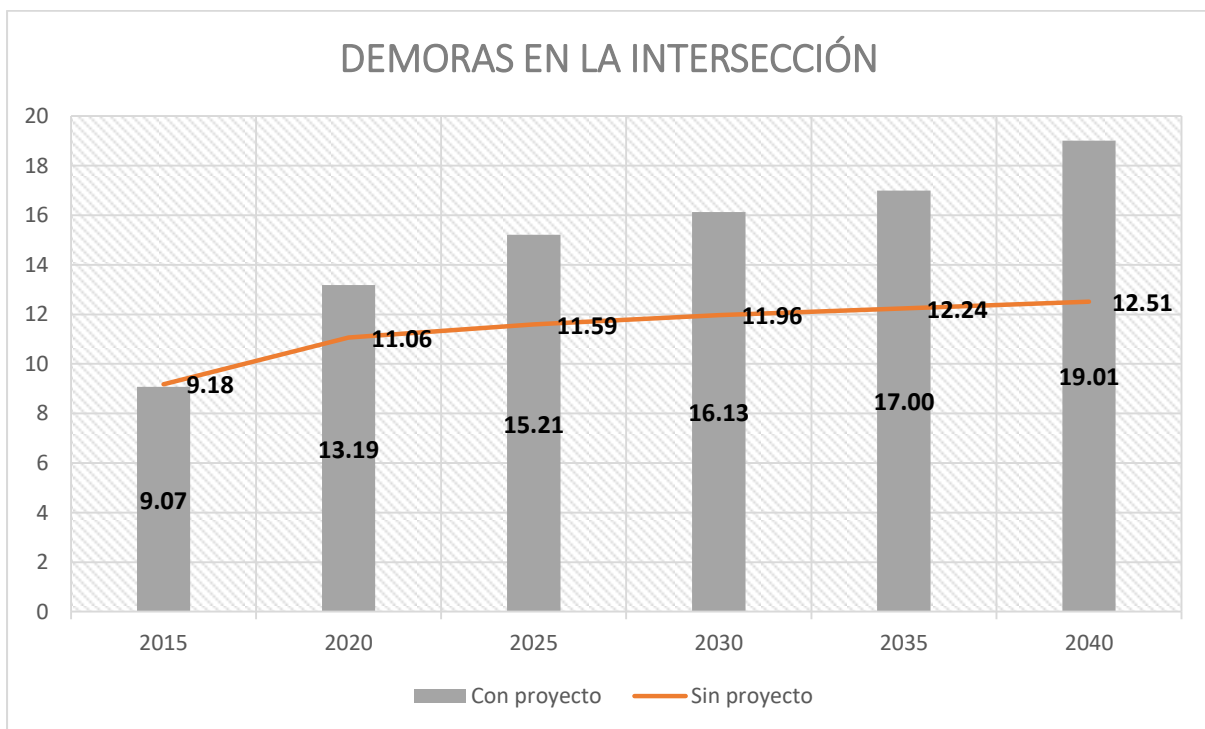
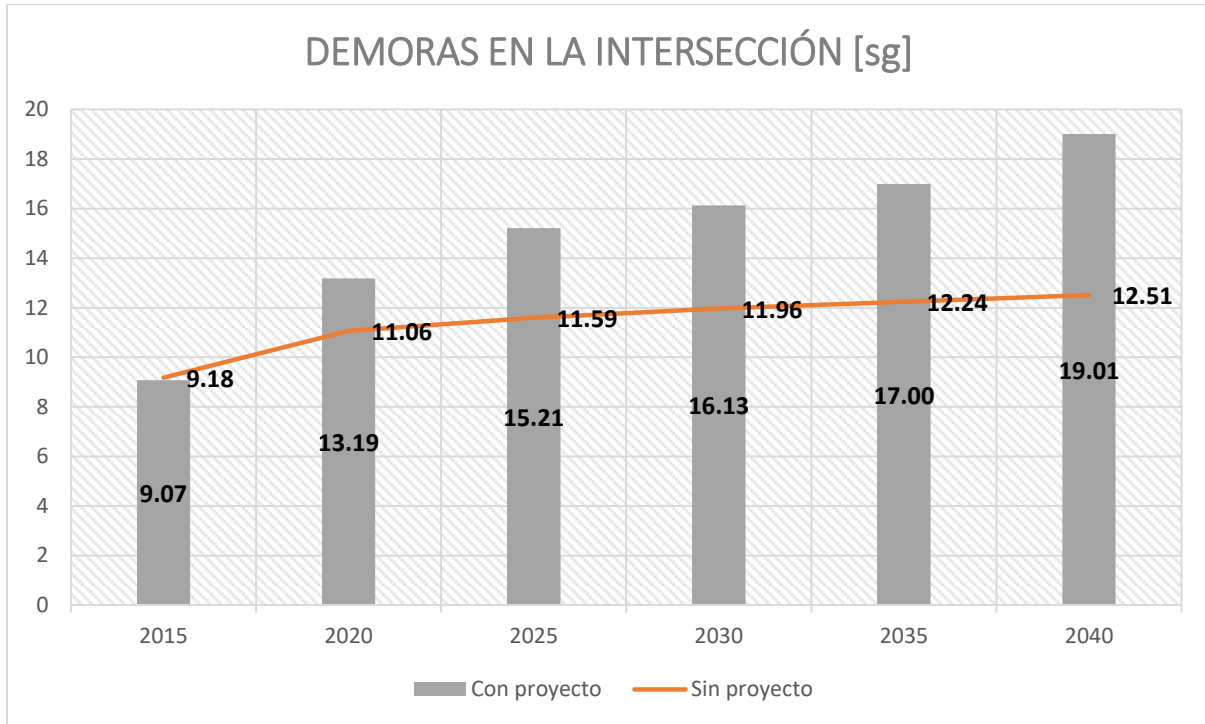
. Tabla 42: Comparación entre porcentajes obtenidos en el 2015 y 2040 para la intersección comprendida por Av. 24 de Mayo y Rayoloma

	PROYECTO 2015		PROYECTO 2040	
Simulación	MEDIA		MEDIA	
<b>Tiempo gastado</b>	12,27%	[s]	-7,74%	[s]
<b>Demora</b>	1,24%	[s]	-51,95%	[s]
<b>Tiempo total</b>	9,83%	[s]	-18,54%	[s]
<b>Colas</b>	-141,98%	[m]	-301,29%	[m]
<b>CO2</b>	0,97%	[g/km]	-6,28%	[g/km]
<b>DRAC</b>	-73,36%	[m/s <sup>2</sup> ]	-62,02%	[m/s <sup>2</sup> ]

Al realizar el análisis comparativo entre el estado “sin proyecto” y “con proyecto” con los datos proyectado en periodos cada 5 años desde el 2015 al 2040 en esta intersección, existe una variación entre los datos obtenidos, debido que al momento de observar la *Ilustración 77*, *Ilustración 78*, *Ilustración 79*, *Ilustración 80*, *Ilustración 81*,

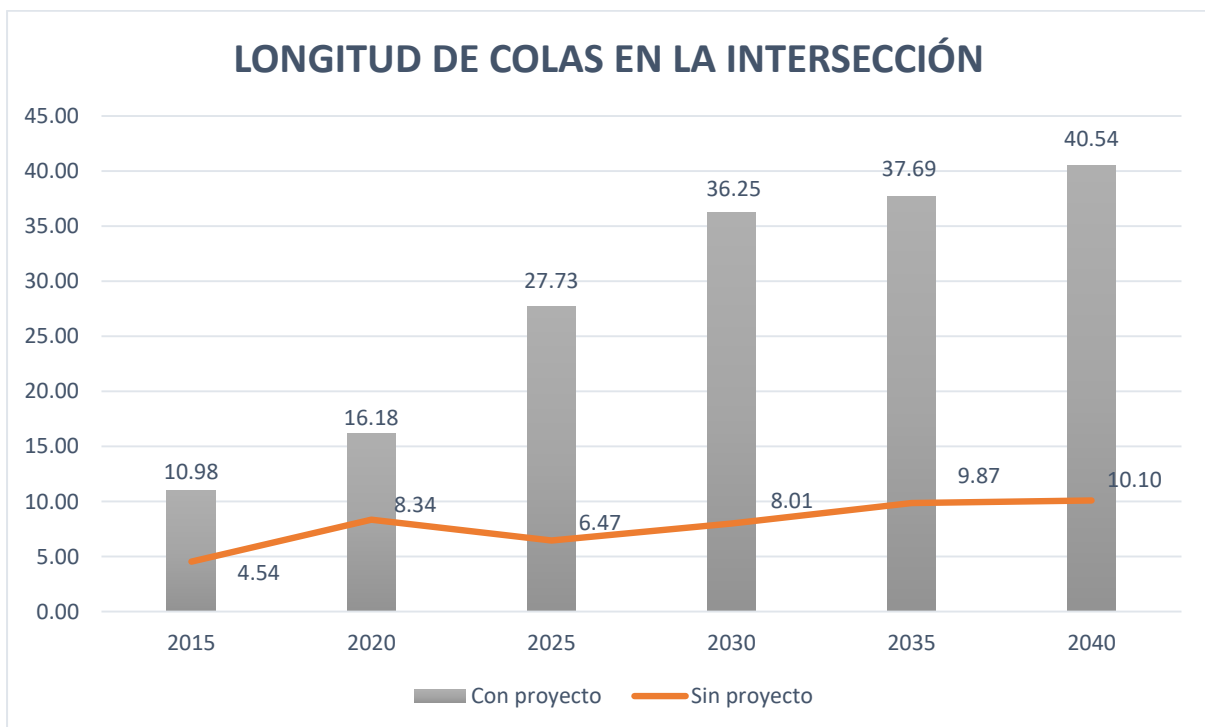
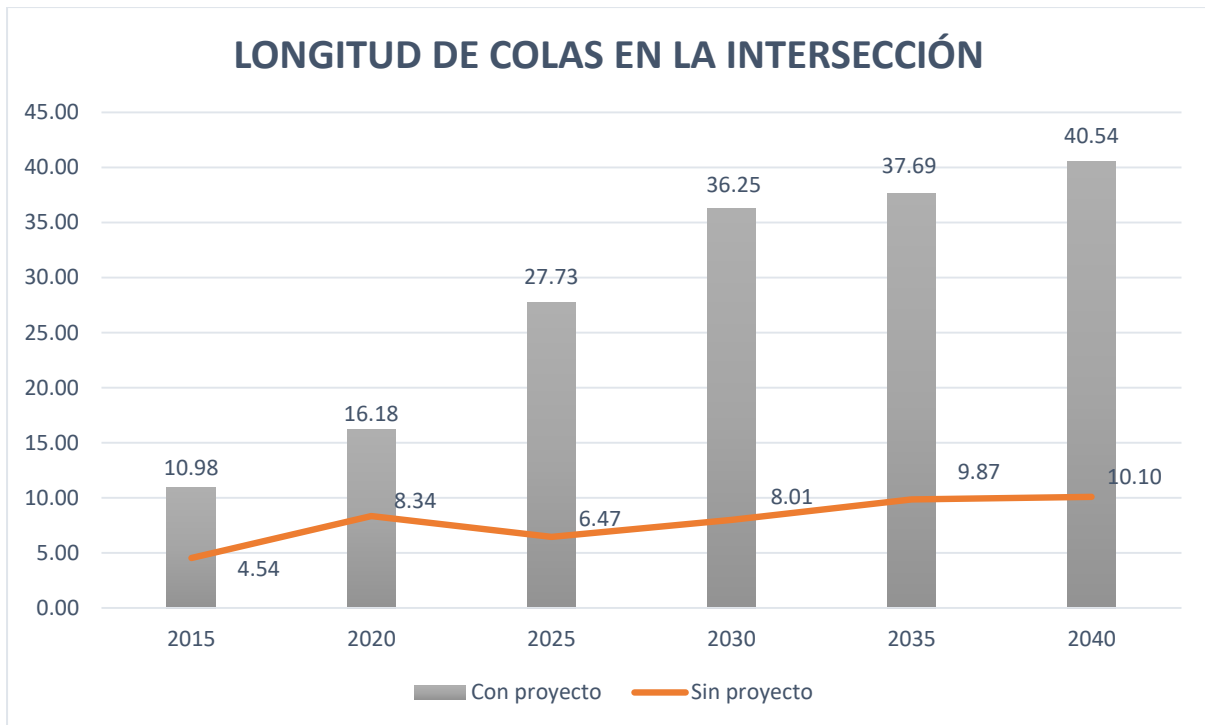
existe una mejora únicamente hasta el año 2025, luego de ello empieza un incremento en los valores de todos los parámetros evaluados.

Finalmente, al comparar los porcentajes obtenidos entre el 2015 y 2040 como se indica en la *Tabla 42*, donde los porcentajes con signo negativo son los que no presentan mejoría con respecto al 2015, se observa que todos los parámetros evaluados no mejoran en comparación al 2015, donde si existía mejoría. En conclusión, el proyecto para el año 2040 no será factible, como se muestra en la la comparación entre el estado sin proyecto y con proyecto.



*Ilustración 86:: Comparación en el tiempo entre demoras del estado actual y estado con proyecto para la intersección: Av. 24 de Mayo y Rayoloma., Fuente: propia*





*Ilustración 87:: Comparación en el tiempo entre longitud de colas del estado actual y estado con proyecto para la intersección: Av. 24 de Mayo y Rayoloma., Fuente: propia*

#### 4.5. Limitaciones del proyecto.

Las limitaciones presentadas al momento de realizar el estudio de este proyecto, se enfocan principalmente a la micro simulación, debido a que al momento de realizar la modelación de las turbo rotondas de la Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle y de la Av. 24 de Mayo y Rayoloma, al ser rotondas convencionales, se modificó previamente la matriz Origen Destino, sumando los giros en U al giro de izquierda, esto debido a que el programa no acepta giros en U. Esto generó que al momento de simular la turbo rotonda y por limitación propia del programa, no se tomaban los carriles de la turbo rotonda como era debido.

Para eliminar este problema se forzó al programa que se seleccionara los carriles de la turbo rotonda correctamente, mediante la creación de un nuevo nodo centroide, modificando nuevamente la matriz Origen/Destino de las dos intersecciones, en donde se añadió el flujo desde el nuevo nodo centroide, hacia los nodos de interés. De esta manera se logró que la simulación de las dos turbo rotondas se asemeje más a la realidad.

## Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

Este capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo de este estudio, las cuales parten del estudio de las intersecciones realizado en el 2015 (Municipio de Cuenca, 2015) y con la ayuda del programa TRITONE para el análisis de datos y micro simulación.

### 5.1. Conclusiones

De las tres intersecciones de estudio, la intersección que presenta una mejora significativa en comparación al estado actual, es la intersección comprendida por la Av. Pumapungo y Av. Max Uhle (Pum\_Mx), esto debido a que una intersección semafórica siempre presentará mayores demoras y tiempo gastado en comparación a los diferentes tipos de intersecciones.

En la intersección nombrada anteriormente se reduce notablemente las demoras, teniendo una mejora del 86,42% y el tiempo promedio gastado por un vehículo mejora en 52,27%, por ende, mejora el tiempo total empleado en cruzar la intersección, también existe una mejora en longitud de colas y DRAC.

Entre una intersección con turbo rotonda y rotonda convencional, no existe una mejora significativa, principalmente en la longitud de colas, en donde la turbo rotonda presenta mayor longitud (en metros) de cola de vehículos y DRAC, sin embargo, existe una mejora en el tiempo total empleado en cruzar la intersección.

Con respecto al Nivel de servicio en base a los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye que la implementación de una turbo rotonda es una alternativa viable para mejorar el nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas con un nivel de servicio (LOS) en estado "F".

En el caso específico de las intersecciones analizadas en este estudio, se encontró que:

La intersección de la Av. Pumapungo y Av. Max Uhle presenta una mejora significativa, pasando de un nivel de servicio "F" a un "D" en el 2015, para el 2020 sube a "E" y se mantiene hasta el 2035, y en el año 2040 pasa a un LOS "F".

La intersección de la Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle solo presenta una mejora para el año del 2015 donde pasa de "F" a "E", pero a partir del 2020 ya se mantiene en un nivel de servicio "F".

La intersección de la Av. 24 de Mayo y Rayoloma presenta una mejora para el año del 2015 y 2020 donde pasa de LOS "F" a "E", pero a partir del 2025 ya se mantiene en LOS "F".

Al momento de trabajar con datos proyectados, en la modelación para la micro simulación, las matrices Origen/Destino no poseen los mismos nodos en las intersecciones con rotonda convencional, entre el estado "sin proyecto" y "con proyecto" debido a que como se mencionó en el capítulo anterior, existe una limitación del programa. Sin embargo, se realizó la proyección y micro simulación con los datos obtenidos.

Considerando lo mencionado anteriormente, las intersecciones que presentan una factibilidad a largo plazo con turbo rotonda son las intersecciones: Av. Pumapungo y Av. Max Uhle y Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle. Esto se debe a que en la intersección comprendida por la Av. 24 de Mayo y Rayoloma, los datos proyectados para el 2040 superan la capacidad de la turbo rotonda en forma de rótula, teniendo una capacidad de diseño de 3500 vehículos/hora y en el año 2040 se tienen 4101 vehículos/hora.

Finalmente, considerando los datos presentados, se concluye que la turbo rotonda presenta una mejora en dos de las tres intersecciones de estudio a largo plazo, es decir a 25 años de proyecto, en la intersección comprendida por Av. Pumapungo y Av. Max Uhle y Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle, cabe mencionar también que las tres intersecciones presentan una mejora en el estado actual de estudio, por lo que resulta factible para una solución inmediata al tráfico, sin embargo como punto importante se debe elegir la geometría de la turbo rotonda teniendo en cuenta la capacidad a largo plazo de la turbo rotonda para mejores resultados.

## **5.2. Recomendaciones**

Los resultados obtenidos en el presente estudio son válidos para evaluar la viabilidad de la implementación de una turbo rotonda en las intersecciones analizadas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los aforos vehiculares utilizados para el análisis son del 2015, por lo que es posible que los resultados no representen las demoras reales de las intersecciones por lo que se recomienda una actualización de Aforos Vehiculares, estos aforos deben realizarse en condiciones similares a las que se esperan en el futuro, es decir, con el mismo volumen y tipo de tráfico

Se recomienda la implementación de una turbo rotonda en la intersección de la Av. Pumapungo y Av. Max Uhle, ya que es la única intersección que presenta una mejora significativa en el nivel de servicio ya que se parte de una intersección semaforizada a una turbo rotonda.

Se recomienda realizar los siguientes estudios complementarios para evaluar la viabilidad de la implementación de una turbo rotonda en las intersecciones analizadas, como un estudio de costos y beneficios de la implementación de la turbo rotonda y un estudio de aceptación por parte de los usuarios de la turbo rotonda.

La distancia entre intersecciones es un factor importante que considerar al realizar una micro simulación de tránsito. Se recomienda realizar una micro simulación de dos intersecciones juntas si están a una distancia de menos de 100 metros. Sin embargo, hay algunos casos en los que puede ser necesario realizar una micro simulación de las dos intersecciones por separado, incluso si están a una distancia de menos de 100 metros (Fang, 2017).

La simulación conlleva varias limitaciones, usualmente las licencias de programas vienen con restricciones en el número de elementos, nodos o arcos, esto es un inconveniente importante puesto que imposibilita el uso de micro simuladores para todos los casos para la elaboración del presente trabajo se solicitó la licencia ilimitada a la Universidad de Calibria, UNICAL- Grupo TIS (Transport Innovation Software, 2016). La cual se nos fue otorgada por ser una entidad educativa. (Transport Innovation Software, 2016)

Finalmente se recomienda que, después de utilizar cualquier software para realizar la micro simulación, se analicen correctamente los resultados y se modelen según parámetros propios de la ciudad, ya que varían tanto por ciudad, como por país, podrían validarse resultados mediante macro simulación o métodos de flujo vs. capacidad.

## Referencias

- Acurio, H. (2017, Mayo 19). *SIG Y TRANSPORTE*. Retrieved from <https://sigytransporte.wordpress.com/2017/05/29/sistemas-de-microsimulacion-y-modelacion-de-traffic/>
- Autoridad Croata de Carreteras. (2014). *Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama (Directrices para el Diseño de Rotondas con Circulatorio Espiral Calzada en carreteras estatales)*. Zagreb.
- Autoridad Serbia de Carreteras. (2012). *Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, Dio 5.3 Kružne raskrisnice (Manual de diseño de carreteras en República de Serbia, Part 5.3 Rotondas)*. Beograd.
- Cal y Mayor & Cárdenas. (1972). *Ingeniería de tránsito*. México.
- CROW. (2008). *Turborotondes (Turbo Roundabouts)*. . Holanda: Publication No. 257.
- Cueva, J. B. (2012). *Síntesis de Intersecciones, Señalización y Semáforos; Análisis de medidas para reducir la congestión* . Cuenca, Ecuador: Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca.
- D'Ambrogio, A., Iazeolla, G., Pasini, L., & Pieroni, A. (2009). *Simulation Modelling and Theory*. Elsevier.
- Department for Transport. (2008). *Traffic Signs Manual*. London.
- Džambas, T., Ahac, S., & Dragčević, V. (2016). Design of Turbo Roundabouts based on the Rules of Vehicle Geometry. *Journal of Transportation Engineering*, 142. 05016004. 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000850.

- Džambas, T., Ahac, S., & Dragčević, V. (2017). *GEOMETRIC DESIGN OF TURBO ROUNDABOUTS*. Zagreb, Croatia: Faculty of Civil Engineering of University of Zagreb.
- EMOV. (2017). *Hacia una movilidad sostenible*. Cuenca.
- Fang, C. W. (2017). Impact of intersection spacing on traffic flow simulation results: A case study of Beijing, China. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 192-205.
- FGSV. (2001). *Richtlinien für die Anlage von Strassen Teil: Kontenpunkte, Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K1) (Manual Técnico directrices para la planificación y el diseño de redes viales urbanas)*. Köln.
- Fortuijn, L. (2009). *Design Principles and Safety Performance*. Netherlands.
- González, L., & Noé, L. (2001). *Estudios de Ingeniería de Tránsito*. Hermosillo, México: Universidad de Sonora, División de Ingeniería .
- Granà, A. (2014). *Designing-Turbo roundabouts*. Italia: Universidad de Palermo.
- HCM. (2000). *Highway Capacity Manual* . United States of America: Transportation Research Board.
- HCM. (2010). *Highway Capacity Manual*. United States of America: Transportation Research Boars.
- INEC. (2001, 2010). *Censo de poblacion y vivienda 2001 & 2010*. Cuenca.
- INEC. (2020). *Boletín técnico N° 01-2020-Transporte*. Quito.
- Instituto Mexicano de transporte. (1991). *Manual de capacidad vial* . Querétaro, México.
- Llactalab. (2018). *Crecimiento del parque automotor de la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca.



- Lopez, H. L. (2015). *ESTIMACION DE UNA MATRIZ ORIGEN-DESTINO A PARTIR DE AFOROS VEHICULARES*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. (n.d.). Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas. In SEDESOL. México: Secretaria de Desarrollo Social.
- Ministerio de Transporte de Eslovenia. (2011). *Krožna križišča s spiralnim potekom krožnega vozišča (Rotondas con un curso en espiral del circulatorio Calzada)*. Ljubljana: TSC 03.XXX version de borrador.
- Ministry of Transport, Public Works and Water Management. (2009). *Roundabouts - Application and design*. Netherlands: Partners for Roads.
- MTOP. (2003). *Normas de diseño geométrico de carreteras*. Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- Municipio Cuenca & Universidad de Cuenca. (2015). *Plan de Movilidad y Espacios Públicos de Cuenca (Aforos 2015)*. Cuenca.
- Municipio de Cuenca. (2015). *Plan de Movilidad y Espacios Públicos de Cuenca*. Cuenca.
- Nagel, & Schrekenberg. (1992). *A cellular automaton for freeway traffic*. Francia: Journal de Physique I.
- NEVI-12. (2013). Norma para estudios y diseños viales. In M. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, *Libro A* (p. 59). Quito, Ecuador.
- Robinson, B. W. (2000). *ROUNDABOUTS: An Informational Guide*. Portland: U.S. Department of Transportation.

SALWAN, A. (2016). *DESIGN GUIDELINES FOR TURBO ROUNDABOUT BASED ON INTERSECTION SIGHT DISTANCE TO CIRCULATING CONFLICTING VEHICLE*. Punjab-India.

Salwan, A., Easa, S. M., Raju, N., & Arkatkar, S. (2021). Intersection Sight Distance Characteristics of Turbo Roundabouts. *Designs*, 5, 16.

Transoft Solutions. (2019). *Turbo roundabouts*. Retrieved from <http://www.turboroundabout.com>

Transport Innovation Software. (2016, Mayo 25). *TIS*. Retrieved from <http://tis.unical.it/>

Ubillús, C. (2019). *Análisis de la Capacidad Vehicular en la Intersección Eloy Alfaro y Granados en la ciudad de Quito*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Valenzuela, J. (2017). *Diseño comparativo como alternativa entre turbo rotonda convencional, mediante la microsimulación de tránsito*. Lima, Perú: Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial.

Vasconcelos, S., & Santos. (2013). *Turbo-roundabout use and design*. Coimbra, Portugal: CITTA 6th Annual Conference on Planning Research.

Acurio, H. (19 de Mayo de 2017). *SIG Y TRANSPORTE*. Obtenido de <https://sigytransporte.wordpress.com/2017/05/29/sistemas-de-microsimulacion-y-modelacion-de-traffic/>

Autoridad Croata de Carreteras. (2014). *Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja sa spiralnim tokom kružnog kolnika na državnim cestama (Directrices para el*

*Diseño de Rotondas con Circulatorio Espiral Calzada en carreteras estatales*). Zagreb.

Autoridad Serbia de Carreteras. (2012). *Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, Dio 5.3 Kružne raskrsnice (Manual de diseño de carreteras en República de Serbia, Part 5.3 Rotondas)*. Beograd.

Cal y Mayor & Cárdenas. (1972). *Ingeniería de tránsito*. México.

CROW. (2008). *Turborotondes (Turbo Roundabouts)*. . Holanda: Publication No. 257.

Cueva, J. B. (2012). *Síntesis de Intersecciones, Señalización y Semáforos; Análisis de medidas para reducir la congestión* . Cuenca, Ecuador: Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca.

D'Ambrogio, A., Iazeolla, G., Pasini, L., & Pieroni, A. (2009). *Simulation Modelling and Theory*. Elsevier.

Department for Transport. (2008). *Traffic Signs Manual*. London.

Džambas, T., Ahac, S., & Dragčević, V. (2016). Design of Turbo Roundabouts based on the Rules of Vehicle Geometry. *Journal of Transportation Engineering*, 142. 05016004. 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000850.

Džambas, T., Ahac, S., & Dragčević, V. (2017). *GEOMETRIC DESIGN OF TURBO ROUNDABOUTS*. Zagreb, Croatia: Faculty of Civil Engineering of University of Zagreb.

EMOV. (2017). *Hacia una movilidad sostenible*. Cuenca.

Fang, C. W. (2017). Impact of intersection spacing on traffic flow simulation results: A case study of Beijing, China. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 192-205.

- FGSV. (2001). *Richtlinien für die Anlage von Strassen Teil: Knotenpunkte, Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte (RAS-K1) (Manual Técnico directrices para la planificación y el diseño de redes viales urbanas)*. Köln.
- Fortuijn, L. (2009). *Design Principles and Safety Performance*. Netherlands.
- González, L., & Noé, L. (2001). *Estudios de Ingeniería de Tránsito*. Hermosillo, México: Universidad de Sonora, División de Ingeniería .
- Granà, A. (2014). *Designing-Turbo roundabouts*. Italia: Universidad de Palermo.
- HCM. (2000). *Highway Capacity Manual* . United States of America: Transportation Research Board.
- HCM. (2010). *Highway Capacity Manual*. United States of America: Transportation Research Boars.
- INEC. (2001, 2010). *Censo de poblacion y vivienda 2001 & 2010*. Cuenca.
- INEC. (2020). *Boletín técnico N° 01-2020-Transporte*. Quito.
- Instituto Mexicano de transporte. (1991). *Manual de capacidad vial* . Querétaro, México.
- Llactalab. (2018). *Crecimiento del parque automotor de la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Lopez, H. L. (2015). *ESTIMACION DE UNA MATRIZ ORIGEN-DESTINO A PARTIR DE AFOROS VEHICULARES*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. (s.f.). Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas. En SEDESOL. México: Secretaria de Desarrollo Social.

- Ministerio de Transporte de Eslovenia. (2011). *Krožna križišča s spiralnim potekom krožnega vozišča (Rotondas con un curso en espiral del circulatorio Calzada)*. Ljubljana: TSC 03.XXX version de borrador.
- Ministry of Transport, Public Works and Water Management. (2009). *Roundabouts - Application and design*. Netherlands: Partners for Roads.
- MTOP. (2003). *Normas de diseño geométrico de carreteras*. Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- Municipio Cuenca & Universidad de Cuenca. (2015). *Plan de Movilidad y Espacios Públicos de Cuenca (Aforos 2015)*. Cuenca.
- Municipio de Cuenca. (2015). *Plan de Movilidad y Espacios Públicos de Cuenca*. Cuenca.
- Nagel, & Schrekenberg. (1992). *A cellular automaton for freeway traffic*. Francia: Journal de Physique I.
- NEVI-12. (2013). Norma para estudios y diseños viales. En M. Ministerio de Transporte y Obras Públicas, *Libro A* (pág. 59). Quito, Ecuador.
- Robinson, B. W. (2000). *ROUNDABOUTS: An Informational Guide*. Portland: U.S. Department of Transportation.
- SALWAN, A. (2016). *DESIGN GUIDELINES FOR TURBO ROUNDABOUT BASED ON INTERSECTION SIGHT DISTANCE TO CIRCULATING CONFLICTING VEHICLE*. Punjab-India.
- Salwan, A., Easa, S. M., Raju, N., & Arkatkar, S. (2021). Intersection Sight Distance Characteristics of Turbo Roundabouts. *Designs*, 5, 16.
- Transoft Solutions. (2019). *Turbo roundabouts*. Obtenido de <http://www.turboroundabout.com>

Transport Innovation Software. (25 de Mayo de 2016). *TIS*. Obtenido de <http://tis.unical.it/>

Ubillús, C. (2019). *Análisis de la Capacidad Vehicular en la Intersección Eloy Alfaro y Granados en la ciudad de Quito*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Valenzuela, J. (2017). *Diseño comparativo como alternativa entre turbo rotonda convencional, mediante la microsimulación de tránsito*. Lima, Perú: Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial.

Vasconcelos, S., & Santos. (2013). *Turbo-roundabout use and design*. Coimbra, Portugal: CITTA 6th Annual Conference on Planning Research.

## Anexos:

Anexo A: Tabla 2A. 106 – 02 Nacional de Pesos y Dimensiones: “Tipo de vehículos motorizados remolques y semirremolques” (NEVI-12, 2013)

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,30
3-A			27	12,20	2,60	4,30
4-C			31	12,20	2,60	4,30
4-0 otrovis			32	12,20	2,60	4,30
V2DB			18	12,20	2,60	4,30
V3A			27	12,20	2,60	4,30
VZS			27	12,20	2,60	4,30
T2			18	8,50	2,60	4,30
T3			27	8,50	2,60	4,30
S3			24	13,00	2,60	4,30
S2			20	13,00	2,60	4,30
S1			11	13,00	2,60	4,30
R2			22	10,00	2,60	4,30
R3			31	10,00	2,60	4,30
B1			11	10,00	2,60	4,30
B2			20	10,00	2,60	4,30
B3			24	10,00	2,60	4,30

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			40	20,50	2,60	4,30
2R3			48	20,50	2,60	4,30
3R2			48	20,50	2,60	4,30
3R3			48	20,50	2,60	4,30
2B1			29	20,50	2,60	4,30
2B2			38	20,50	2,60	4,30
2B3			42	20,50	2,60	4,30
3B1			38	20,50	2,60	4,30
3B2			47	20,50	2,60	4,30
3B3			48	20,50	2,60	4,30



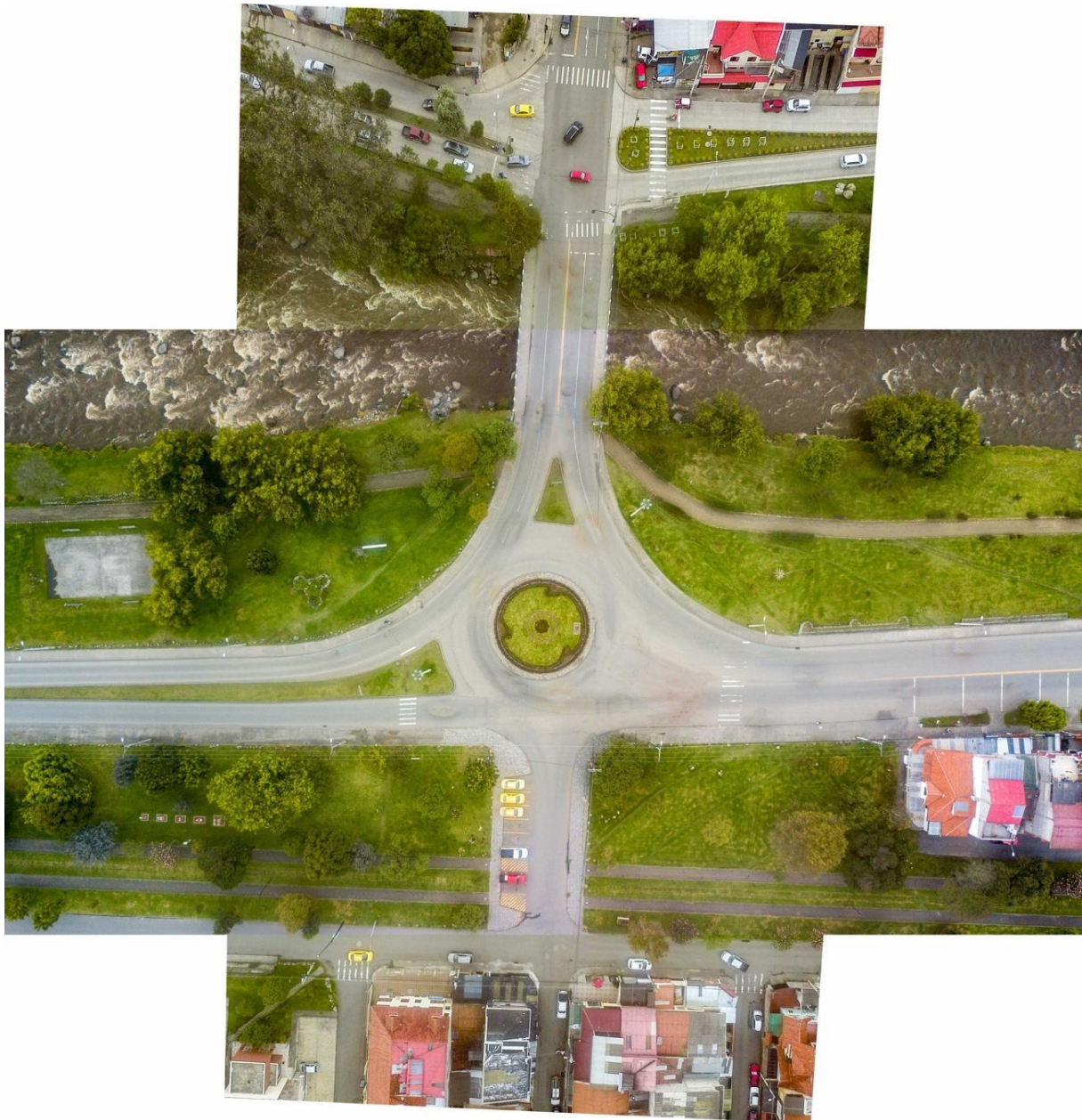
*Anexo B Fotografía aérea de la intersección Pumapungo y Max Uhle.*



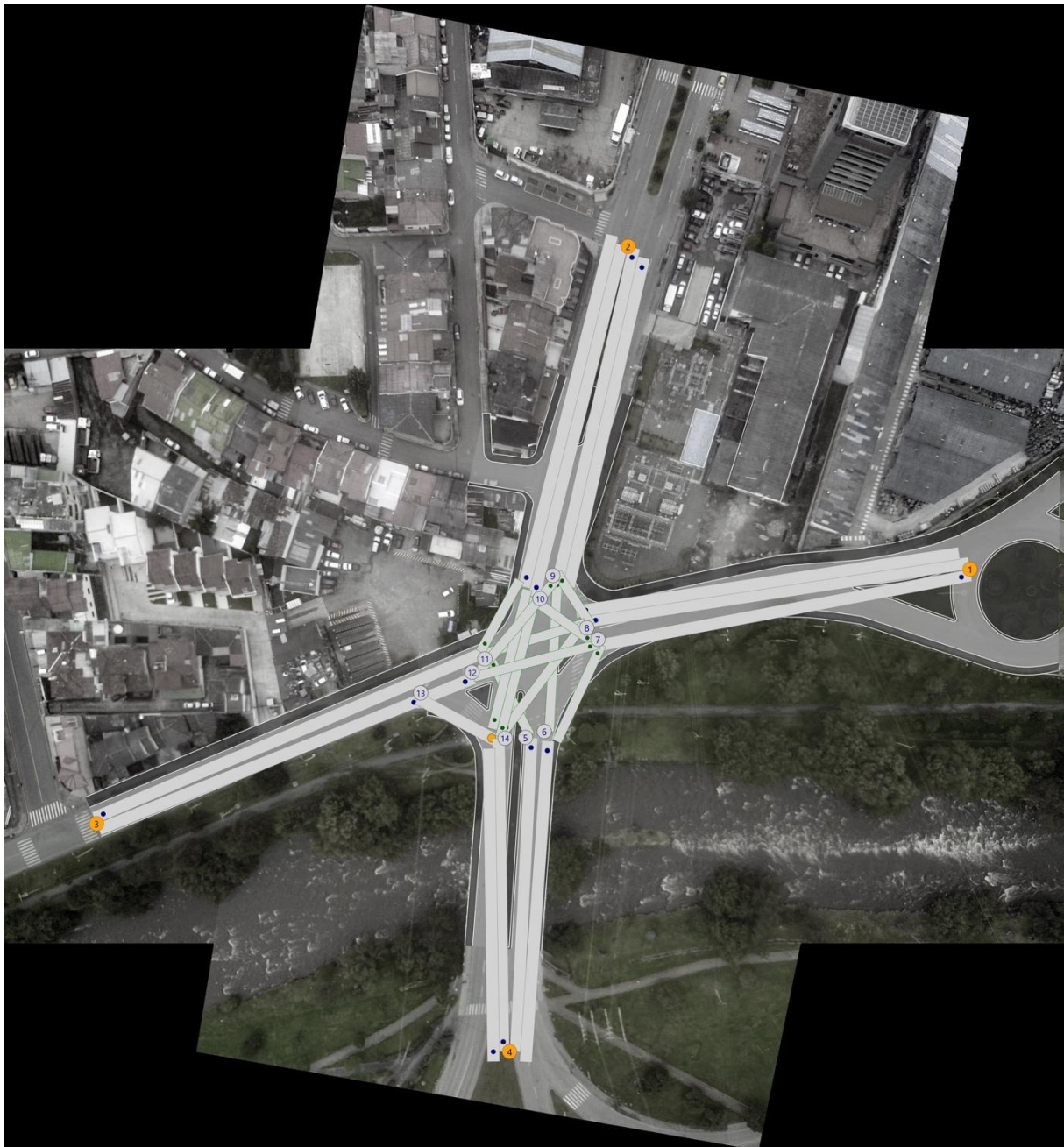
*Anexo C Fotografía aérea de la intersección Av. 24 De Mayo y Max Uhle.*



*Anexo D Fotografía aérea de la intersección Av. 24 De Mayo y Rayoloma.*



*Anexo E Distribución de nodos y enlaces para la intersección Pumapungo y Max Uhle para el estado actual.*



*Anexo F Distribución de nodos y enlaces para la intersección Pumapungo y Max Uhle para el estado con Proyecto.*



*Anexo G Distribución de nodos y enlaces para la intersección Av. 24 De Mayo y Max Uhle para el estado Actual. Elaborado por Machado & Zúñiga.*



*Anexo H Distribución de nodos y enlaces para la intersección Av. 24 De Mayo y Max Uhle para el estado con Proyecto.*

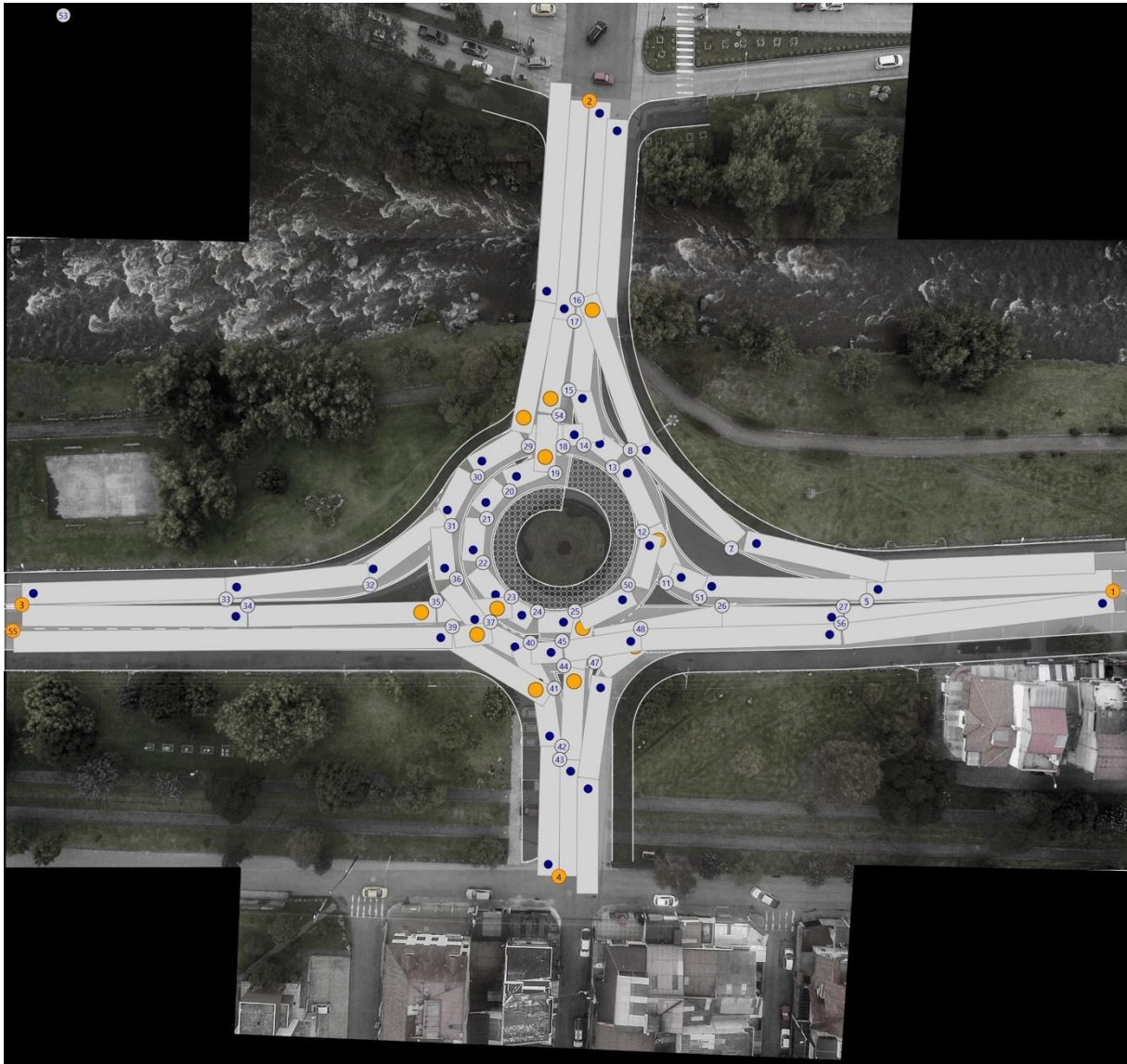


*Anexo I Distribución de nodos y enlaces para la intersección Av. 24 De Mayo y Rayoloma para el estado Actual.*





*Anexo J Distribución de nodos y enlaces para la intersección Av. 24 De Mayo y Rayoloma para el estado con Proyecto.*



Anexo K: Matriz Origen-Destino proyectada al año 2040.

2015-2020					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	37	437	167	641
2	13	0	70	542	625
3	319	65	0	234	618
4	146	687	264	0	1098
					2981
2020-2025					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	39	458	175	673
2	13	0	73	569	656
3	335	68	0	245	648
4	153	721	277	0	1152
					3129
2025-2030					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	41	478	183	702
2	14	0	76	594	684
3	350	71	0	256	676
4	160	753	290	0	1202
					3265
2030-2035					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	42	497	190	729
2	14	0	79	617	711
3	363	73	0	266	702
4	166	782	301	0	1248
					3390
2035-2040					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	44	514	197	754
2	15	0	82	638	735
3	376	76	0	275	726
4	172	808	311	0	1291
					3506

Anexo L Matriz Origen-Destino de la intersección Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle, proyectada al año 2040.

2015-2020					
Or/De	S1	S2	S3	S4	TOTAL
E1	0	598	498	379	1475
E2	260	0	161	216	636
E3	284	297	0	236	817
E4	171	323	159	0	653
					3582
2020-2025					
Or/De	S1	S2	S3	S4	TOTAL
E1	0	628	522	398	1548
E2	273	0	169	226	668
E3	298	312	0	247	857
E4	180	339	166	0	685
					3759
2025-2030					
Or/De	S1	S2	S3	S4	TOTAL
E1	0	655	545	415	1615
E2	285	0	176	236	697
E3	311	325	0	258	894
E4	187	354	174	0	715
					3921
2030-2035					
Or/De	S1	S2	S3	S4	TOTAL
E1	0	680	566	431	1677
E2	295	0	183	245	723
E3	323	337	0	268	928
E4	195	368	180	0	742
					4070
2035-2040					
Or/De	S1	S2	S3	S4	TOTAL
E1	0	703	585	446	1734
E2	306	0	189	253	748
E3	334	349	0	277	960
E4	201	380	186	0	768
					4210

Anexo M Matriz Origen-Destino de la intersección Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle en estado con proyecto, proyectada al año 2040.

2015-2020					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	598	498	379	1475
2	260	0	161	216	636
3	284	297	0	236	817
4	0	0	159	0	159
72	171	323	0	0	495
					3582
2020-2025					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	628	522	398	1548
2	273	0	169	226	668
3	298	312	0	247	857
4	0	0	166	0	166
72	180	339	0	0	519
					3759
2025-2030					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	655	545	415	1615
2	285	0	176	236	697
3	311	325	0	258	894
4	0	0	174	0	174
72	187	354	0	0	541
					3921
2030-2035					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	680	566	431	1677
2	295	0	183	245	723
3	323	337	0	268	928
4	0	0	180	0	180
72	195	368	0	0	562
					4070
2035-2040					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	703	585	446	1734
2	306	0	189	253	748
3	334	349	0	277	960
4	0	0	186	0	186
72	201	380	0	0	581
					4210

Anexo N Matriz Origen-Destino de la intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma en estado actual, proyectada al año 2040.

2015-2020					
Or/De	1	2	3	4	Total
1	0	669	398	408	1475
2	690	0	344	66	1100
3	197	267	0	43	507
4	77	188	143	0	408
					3490
2020-2025					
Or/De	1	2	3	4	Total
1	0	702	418	428	1548
2	724	0	361	69	1154
3	207	280	0	45	532
4	81	197	150	0	428
					3662
2025-2030					
Or/De	1	2	3	4	Total
1	0	732	436	446	1614
2	755	0	376	72	1203
3	216	292	0	47	555
4	84	206	157	0	447
					3819
2030-2035					
Or/De	1	2	3	4	Total
1	0	760	453	463	1676
2	784	0	391	75	1250
3	224	303	0	49	576
4	88	213	163	0	464
					3966
2035-2040					
Or/De	1	2	3	4	Total
1	0	786	468	479	1733
2	810	0	404	77	1291
3	232	313	0	51	596
4	91	221	168	0	480
					4100

Anexo O Matriz Origen-Destino de la intersección Av. 24 de Mayo y Rayoloma en estado con proyecto, proyectada al año 2040.

2015-2020					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	669	398	408	1475
2	690	0	344	66	1099
3	0	266	0	0	266
4	77	188	143	0	408
55	198	0	43	0	241
					3490
2020-2025					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	702	418	428	1548
2	724	0	360	69	1153
3	0	279	0	0	279
4	81	197	150	0	428
55	207	0	45	0	253
					3662
2025-2030					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	732	436	447	1615
2	755	0	376	72	1203
3	0	292	0	0	292
4	84	206	156	0	447
55	216	0	47	0	264
					3820
2030-2035					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	760	453	464	1676
2	784	0	390	74	1249
3	0	303	0	0	303
4	88	214	162	0	464
55	225	0	49	0	274
					3965
2035-2040					
Or/De	1	2	3	4	TOTAL
1	0	786	468	479	1734
2	811	0	404	77	1292
3	0	313	0	0	313
4	91	221	168	0	479
55	232	0	51	0	283
					4101

Anexo P Media de 1000 simulaciones en estado actual para la intersección de la Av. Pumapungo y Av. Max Uhle.

instant	Speed Average	Speed Cumulative	Time Average	Time Cumulated	density Average	density Max	QAverage	QMax	Minimum distance	Stop Vehides	DRAC	TTC	CO2	Consumption	Queue Length	Time spent	Delay	Tiempo total	Conflicts	Travel Time	
[s]	[km/h]	[km/h]	[s]	[s]	[v/km]	[v/km]	[v/h]	[v/h]	[m]	[sec]	[m/s <sup>2</sup> ]	[sec]	[g/km]	[l/km]	[m]	[s]	[s]	[s]	[ ]	[s/km]	
0	30	30	157,5972	157,5972	13,8904781	19,1729241	0	5,75,318823	85,9	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	120
120	1,43791881	14,9536921	31,7427014	317,427014	47,9214846	151,813981	795,156269	2658,98352	3,57932199	2029,228	0,80516578	11,9985227	359,756468	0,17104668	42,4054282	0,921844072	0,4791686	1,40101267	5	241,69999	
240	0,7610312	13,0610634	394,49682	363,1628165	59,7006203	1,75,794898	874,583816	3995,70471	2,39713547	2605,39	0,75708903	12,4836487	407,085217	0,17984629	58,3636887	2,666501577	1,4718216	4,13882318	10	276,524825	
360	0,75503419	12,3640017	41,7,132106	383,5677168	61,7337405	1,72,660425	794,662701	3562,30312	2,55027127	2912,544	0,74491955	12,5641768	417,753762	0,16302109	64,4636228	4,427497253	2,5210474	6,94854465	15	292,061825	
480	0,7186753	11,9993323	431,385395	397,2056257	63,6845197	1,75,885317	804,250136	3645,22192	2,35671249	3072,344	0,73297877	12,6880668	364,07414L	0,22829746	70,512181	6,281803886	3,6784538	9,96025769	19	302,446203	
600	0,69105402	11,5949563	447,105296	408,9058349	64,7454212	1,74,756411	782,370983	3585,76312	2,41382654	3119,286	0,72597937	12,7558735	333,222765	0,27183279	70,3093517	8,205123537	4,8999238	13,1050473	23	311,35515	
720	0,65445377	11,4444417	436,7249	414,2488996	65,3449782	1,80,125853	845,810394	4007,98969	2,12260242	3031,89	0,71411944	12,8671942	319,677756	0,25924157	68,5966229	10,23581237	6,1621502	16,3979626	27	315,423547	
840	0,67048159	11,2731936	449,802428	420,5098611	64,9164265	1,77,614262	864,15124	3667,85664	2,28042677	3139,356	0,7057068	12,9368738	320,423015	0,26512286	70,8151473	12,21396022	7,3811172	19,5906774	30	320,190861	
960	0,69526805	11,180675	444,493358	423,969522	65,4728067	1,77,1816	842,895447	3642,42641	2,29547244	3224,974	0,70281795	12,9549391	328,487976	0,26706141	73,5122657	14,12710086	8,5872842	22,7143851	34	322,825172	
1080	0,69636741	11,091331	452,686035	427,3685469	65,7882743	1,73,969048	775,690119	3612,46727	2,45772285	3251,52	0,69917372	12,966621	335,688064	0,27325974	75,4289971	16,04089202	9,8001694	25,8410614	38	325,413304	
1200	0,63583855	10,9932331	458,939042	431,1114564	66,3450893	1,77,053528	792,622789	3661,93602	2,28494631	3148,75	0,69586284	13,0128883	332,355709	0,27349918	70,7634848	18,12793067	11,1459916	29,2733423	41	328,263286	
1320	0,65238928	10,9426584	453,148497	433,0650651	65,5870881	1,80,531921	896,773839	3910,89436	2,11445463	3111,95	0,69014859	13,0880244	318,62071	0,26297839	71,3959069	20,16272914	12,3930036	32,5557327	45	329,750881	
1440	0,69621121	10,9073216	447,760562	434,4421463	65,483632	1,76,179176	844,352268	3610,32328	2,35448335	3227,084	0,68888848	13,0859047	318,656033	0,26126518	72,7621112	22,06796365	13,5764766	35,6444403	49	330,799391	
1560	0,67179845	10,8626953	452,976131	436,1933695	65,7545278	1,75,527248	793,56566	3598,68791	2,38092453	3250,204	0,68581399	13,096817	339,259342	0,27799147	75,8613337	24,05483698	14,852388	38,907225	52	332,13283	
1680	0,65382777	10,8030988	451,213812	438,5590206	66,839753	1,76,725489	792,343723	3612,1702	2,30084246	3264,966	0,68431288	13,1088504	338,371462	0,27654485	73,7122568	26,08688571	16,1667964	42,2538821	56	333,994122	
1800	0,63596985	10,783118	448,079818	439,3475789	66,8273392	1,81,447427	867,064514	4004,26879	2,05350777	3147,574	0,68064274	13,1349073	317,975383	0,2596483	71,7781869	28,17589067	17,4700038	45,6458945	59	334,534558	
1920	0,65259465	10,7383551	450,851429	441,1557109	66,2180578	1,77,903008	856,092423	3636,82329	2,25387638	3262,168	0,67899751	13,1488355	325,841674	0,27070388	73,4511731	30,20731305	18,742204	48,9485171	63	335,911333	
2040	0,67869751	10,712964	452,046866	441,9870568	66,6164991	1,77,794353	862,605902	3623,19077	2,25344437	3339,582	0,67733493	13,1672442	331,488899	0,27172955	76,1464254	32,16918714	19,995389	52,1645761	66	336,544346	
2160	0,67510173	10,6862072	450,588593	443,2454121	66,7589294	1,77,256006	780,112129	3609,9097	2,28638029	3329,298	0,67603894	13,1874538	338,648497	0,27639528	76,6257986	34,1467315	21,2657688	55,4125003	69	337,502053	
2280	0,62612135	10,6540224	452,797837	444,5491186	67,3779405	1,78,246846	803,921747	3706,68957	2,22412033	3241,916	0,67471142	13,1913688	333,905984	0,27310111	72,8392942	36,26565797	22,6389618	58,9046198	73	338,495189	
2400	0,6422512	10,6356705	457,992195	445,2927676	66,6889893	1,80,936981	896,724658	3856,99532	2,07100951	3205,988	0,67251804	13,2202087	321,920442	0,26289939	73,1260695	38,33198467	23,913382	62,2453667	76	339,061481	
2520	0,68988704	10,6272787	452,097931	445,6273961	66,514115	1,78,078572	845,516252	3590,56593	2,23844923	3323,992	0,67194879	13,227289	322,296621	0,26427093	75,0284887	40,25453878	25,1174798	65,3720736	80	339,316231	
2640	0,65806441	10,608138	458,447788	446,4021847	66,5307418	1,76,934342	785,094612	3626,91287	2,28753928	3307,494	0,67065044	13,235679	349,249717	0,28023508	77,367346	42,28411393	26,4314082	68,7155221	83	339,906178	
2760	0,64227041	10,5774833	458,177478	447,672749	67,5341464	1,76,914636	791,95779	3599,08417	2,29462541	3311,496	0,67012299	13,2311814	338,721638	0,27869249	74,3992375	44,35271056	27,7813828	72,1340934	87	340,873631	
2880	0,63168976	10,5696552	454,756677	447,988621	67,548169	1,81,498367	898,466151	3973,35409	2,04357867	3196,25	0,66781715	13,2557257	318,731538	0,25915506	72,9889431	46,45623201	29,0932618	75,5484938	90	341,114148	
3000	0,65294871	10,542907	458,803487	449,1114442	66,1710599	1,76,806583	809,757092	3589,45165	2,24956911	3309,006	0,66710134	13,2608862	330,138426	0,27493677	74,9915537	48,48549193	30,3779718	78,8634637	93	341,969104	
3120	0,67627123	10,5341937	454,376135	449,466322	66,7191571	1,77,795186	881,532437	3628,24806	2,2361018	3314,456	0,66631846	13,2700932	334,733755	0,27480768	76,2877029	50,45647719	31,648991	82,1004682	97	342,299321	
3240	0,671542	10,5167248	454,269317	450,1924802	67,0442504	1,77,716444	787,21371	3681,53181	2,2513811	3321,948	0,66586036	13,2774844	340,731758	0,27737421	76,8205627	52,44284017	32,9263974	85,3692376	100	342,792244	
3360	0,63469401	10,5036316	451,650694	450,7460252	66,5359094	1,77,447401	804,5678	3837,91193	2,26600752	3151,274	0,66504699	13,2864927	330,912344	0,27146861	71,549817	54,5393959	34,271542	88,8051379	104	343,21373	
3480	0,67809718	10,4940784	455,20655	451,1485143	65,3413813	1,80,862599	889,852081	3792,53594	2,08500418	3056,844	0,66391484	13,3049336	320,697494	0,26454041	69,6436966	56,49473631	35,4771202	91,9718565	107	343,520201	
3600	0,74547408	10,4904206	440,715866	451,2980338	63,575534	1,71,29105	840,040476	3481,37124	2,59064825	2946,168	0,66341435	13,3059484	324,736326	0,26547283	143,728644	58,28848722	36,9265162	95,2153534	110	343,63405	
											Max	0,80516578	Max	417,753762	Max	143,728644					
											Mn	0,66341435	Mn	317,975383							

*Anexo Q Media de 1000 simulaciones en estado con proyecto para la intersección de la Av. Pumapungo y Av. Max Uhle.*



Instant	Speed Average	Speed Cumulative	Time Average	Time Cumulated	density Average	density Max	QAverage	QMax	Minimum distance	Stop Vehicles	DRAC	TTC	CO2	Consumption	Queue Length	Time spent	Delay	Tiempo total	Conflicts	Travel Time	
[s]	[km/h]	[km/h]	[s]	[s]	[v/km]	[v/km]	[v/h]	[v/h]	[m]	[sec]	[m/sq]	[sec]	[g/km]	[l/km]	[m]	[s]	[s]		[ ]	[s/km]	
0	30,3612555	30,3612555	160,48032	160,48032	56,1049827	90,2934537	0	2708,80361	13,15	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	118,5722
120	1,55232644	24,08448474	202,848813	202,8488129	79,8882516	399,851765	1984,65453	7508,12339	0,16612	184,958	0,40877467	15,0728835	438,037908	0,189824105	5,25495339	0,88429870	0,1559338	1,0402325	1	149,876473	
240	1,46489577	23,7477844	205,165101	205,4745991	79,8912401	407,158609	1842,8204	7361,29108	0,16373	195,728	0,40204848	15,1799739	471,176581	0,159669748	5,58713898	1,82259922	0,3254672	2,14806642	2	151,816555	
360	1,44584607	23,59950038	205,670994	206,6533392	80,2728688	410,138081	1844,7439	7365,51511	0,1639333	199,79	0,39963262	15,1882224	439,603345	0,167480652	5,76538955	2,77112408	0,49827	3,26939408	2	152,687478	
480	1,4575159	23,52105589	205,765886	207,3122757	80,1178442	404,202869	1847,49949	7297,88845	0,16857	195,028	0,39850471	15,2119419	351,436047	0,232228521	5,68804055	3,71351571	0,668833	4,38234871	3	153,174339	
600	1,46752726	23,49078107	205,210651	207,5501488	79,8682624	402,148141	1842,97451	7313,58282	0,15747333	194,684	0,39746963	15,2248619	348,026864	0,232914656	5,57162433	4,64999482	0,8371298	5,48706462	4	153,950091	
720	1,43919417	23,46344848	205,610469	207,7649709	80,1864848	405,816123	1855,06816	7427,89116	0,15733333	203,944	0,39792989	15,2122482	349,44289	0,232452659	5,7655339	5,60319255	1,0119842	6,61517675	4	153,508815	
840	1,44908789	23,43642835	206,047481	207,9948575	80,1663868	406,357015	1841,42458	7280,65877	0,16349	201,418	0,39683534	15,2679445	347,078295	0,234224269	5,71433296	6,55195284	1,1857464	7,73769874	5	153,678671	
960	1,44876955	23,41445422	206,158711	208,1824941	80,1085956	411,600153	1843,60987	7344,00899	0,16158	197,802	0,39569156	15,2899106	348,080583	0,235222971	5,70851534	7,499522	1,3563084	8,8563304	6	153,817306	
1080	1,44751653	23,40063813	206,354622	208,2957381	79,9548903	403,607052	1833,65252	7244,79428	0,16191	197,194	0,39554955	15,2977705	348,87514	0,235098213	5,65279474	8,44816213	1,5290996	9,97726173	7	153,900977	
1200	1,45840691	23,38531973	205,933105	208,4276873	79,9984581	407,144666	1841,35113	7314,88481	0,16028	198,088	0,39600143	15,2813854	348,806802	0,234072899	5,65265699	9,3896477	1,7001522	11,0897999	7	153,998469	
1320	1,46790943	23,38475962	206,416353	208,425312	79,7271575	401,938983	1844,96568	7319,47592	0,16826	193,23	0,39571862	15,2863194	346,339177	0,232045049	5,50764915	10,325533	1,8687086	12,1942416	8	153,996715	
1440	1,45832303	23,38236148	205,119359	208,4399458	80,0640241	407,138862	1852,20569	7380,90072	0,16271333	199,392	0,39534548	15,2898475	346,107826	0,231815243	5,66107941	11,2692879	2,0409148	13,3102027	9	154,007525	
1560	1,44841099	23,37352053	205,579574	208,5139948	80,0626009	402,844829	1840,96372	7351,96093	0,14885	202,086	0,3952269	15,2839009	349,562896	0,235490252	5,73976481	12,2218792	2,215107	14,4869862	10	154,062237	
1680	1,45439483	23,37230133	205,739285	208,5202415	80,0554498	402,811274	1843,03489	7323,74421	0,15901333	198,838	0,39495267	15,2910726	350,855824	0,234113915	5,65704142	13,1666409	2,3869866	15,5535775	10	154,066653	
1800	1,45945734	23,37007156	205,179227	208,5364204	79,9044287	410,102364	1845,35859	7217,81839	0,15645	194,28	0,39451148	15,2908185	347,753972	0,233909501	5,61956406	14,1078243	2,555407	16,6632313	11	154,078806	
1920	1,45156607	23,36241547	205,90692	208,6003736	79,9864701	402,758866	1838,29028	7330,30484	0,15944	197,162	0,39483758	15,2950857	348,454788	0,235176533	5,65082668	15,0530188	2,7258158	17,788346	12	154,126056	
2040	1,46222194	23,36184097	205,642485	208,6033799	79,9190616	405,577197	1846,29664	7289,35037	0,15507	193,6	0,39453745	15,2855799	346,262405	0,235262855	5,55464469	15,992951	2,894814	18,887765	12	154,128281	
2160	1,46058349	23,36015581	205,611523	208,6164491	79,9982435	406,696458	1840,61509	7300,11966	0,16706	197,096	0,39421809	15,2931593	350,664336	0,234940865	5,66068823	16,9330904	3,0647184	19,9978088	13	154,137935	
2280	1,45374056	23,35854414	205,458539	208,6284043	79,9852368	402,519339	1842,63582	7350,98665	0,1542	194,62	0,39408145	15,2999873	348,044249	0,233956776	5,57183333	17,8763772	3,234897	21,1112742	14	154,146773	
2400	1,46112244	23,3554415	205,753127	208,6547668	79,9661718	405,10569	1835,95526	7263,58212	0,16109333	194,674	0,39378006	15,3036378	346,667997	0,23457032	5,60814841	18,8169749	3,4042966	22,2212715	15	154,166249	
2520	1,45606594	23,3541377	205,553943	208,6652625	80,0416493	401,671439	1840,9749	7256,61739	0,15643333	196,688	0,39373355	15,2993877	349,162596	0,23329992	5,68120126	19,7604451	3,5741368	23,3345819	15	154,174003	
2640	1,45071212	23,3537216	205,305255	208,6677793	80,2013429	410,689564	1851,32104	7304,56092	0,16717933	199,174	0,39344006	15,3047303	348,288721	0,234175301	5,72809884	20,7059575	3,7446228	24,4058003	16	154,17861	
2760	1,4615261	23,35185036	205,527173	208,6829696	79,8332854	410,409132	1841,8508	7303,20411	0,1686	198,092	0,39359996	15,3014829	349,155205	0,232552678	5,55990289	21,6448335	3,9127696	25,5576031	17	154,187086	
2880	1,46902059	23,35092899	205,046875	208,6902416	79,8705437	402,622733	1838,7574	7268,8498	0,16294667	195,468	0,39346553	15,2999211	348,356044	0,233301658	5,59189233	22,5797335	4,0815614	26,6612949	17	154,192459	
3000	1,47037803	23,35137197	204,534354	208,6847135	79,9202956	402,791519	1846,89782	7316,09611	0,16185333	192,988	0,39331302	15,3039725	348,236375	0,231792451	5,51228783	23,5145817	4,2484892	27,7640709	18	154,188377	
3120	1,4768358	23,35241629	204,01161	208,6747216	79,9484802	406,944674	1845,17679	7281,71381	0,17963333	192	0,39328325	15,3067265	347,930169	0,231361174	5,47988899	24,449561	4,4164854	28,8599964	19	154,180992	
3240	1,49647329	23,35428468	203,447475	208,6576888	79,8894457	405,113078	1851,33693	7380,78504	0,16544833	185,72	0,39303202	15,3131904	346,636013	0,2313549	5,33629201	25,361185	4,5800428	29,9412278	20	154,168408	
3360	1,55252512	23,35710653	202,213513	208,6320038	79,2433113	392,515267	1844,15618	7208,18198	0,16757	173,752	0,39276578	15,3172407	341,945354	0,230396706	5,0189292	26,2469386	4,7345462	30,9814848	20	154,14943	
3480	1,6409429	23,36204521	201,109516	208,5867544	78,8574432	394,241496	1832,9248	7222,09993	0,18413333	160,562	0,39249229	15,3233281	338,710879	0,226108263	4,62270501	27,0866482	4,8791136	31,9657568	21	154,115996	
3600	1,90099537	23,37305411	196,205185	208,488294	77,257667	378,631512	1824,53572	7113,56198	0,23261	125,326	0,39189742	15,3320766	328,433215	0,216264911	6,9046666	27,81955	5,0161882	32,8357382	21	154,048246	
										Max	0,40877467	Max	471,176581	Max	6,905						
										Min	0,39189742	Min	328,433215								

Anexo R Media de 1000 simulaciones en estado actual para la intersección de la Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle.

Instante	Velocidad Promedio	Velocidad Acumulada	Tiempo Promedio	Tiempo Acumulado	Densidad media	Densidad Max	Q, V Medium	Q, Max	Distancia mínima	Detener vehículos	DRAC	TTC	CO2	Consumo	Longitud de la cola	Tiempo gastado	Retraso	Tiempo total	Conflictos	Travel Time
[s]	[km/h]	[km/h]	[s]	[s]	[v/km]	[v/km]	[v/h]	[v/h]	[m]	[sec]	[m/sq]	[sec]	[g/km]	[l/km]	[m]	[h]	[h]	[s]	[ ]	[s/km]
0	30	30	148,092	148,092	19,0872384	27,8629145	0	835,887484	45,14	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	120
120	1,072343685	22,5630268	197,356103	197,356103	49,9982001	228,974027	1170,02346	5634,71217	0,8374	150,962	0,35657843	17,0666641	357,399879	0,13964295	3,59163083	1,16303662	0,2490932	1,41212982	1	159,919052
240	0,880256746	21,9809525	205,427732	202,368869	51,6679272	228,2295	1125,27571	5482,03461	0,74687722	197,046	0,36010475	16,84444976	334,515289	0,16388336	4,83118369	2,58224759	0,5801608	3,16240839	2	163,980934
360	0,870658655	21,7870598	206,149801	204,093631	51,9066744	230,779666	1128,44564	5571,06053	0,750945	199,804	0,36237182	16,7114113	287,90065	0,20174394	4,69824029	4,0129244	0,915943	4,9288674	3	165,37852
480	0,873911273	21,6314402	206,110569	204,951646	51,8683478	229,764202	1125,76058	5500,91224	0,74389452	197,864	0,36302866	16,6977378	288,31397	0,20287234	4,8492924	5,43900991	1,2513724	6,69038231	4	166,073775
600	0,864969798	21,6164191	206,956495	205,643473	52,1427184	230,698853	1128,41223	5503,65567	0,751198	206,862	0,36374641	16,6517999	291,318526	0,20374673	5,09382233	6,88154666	1,595259	8,47680566	5	166,634867
720	0,870642219	21,5721262	206,618807	206,049139	51,9981998	230,494614	1127,49497	5563,10651	0,707948	203,058	0,36323751	16,6633753	290,01806	0,20315552	5,04720624	8,31377944	1,995363	10,2491364	6	166,963081
840	0,866122132	21,5400031	206,727653	206,347106	52,1847265	229,288957	1130,59946	5465,26556	0,68574944	201,732	0,36383397	16,6421569	291,228075	0,20403291	4,96316657	9,75438136	2,2784212	12,0328026	7	167,204527
960	0,867139165	21,5162932	206,72864	206,565864	52,0450098	229,218649	1127,32118	5517,73342	0,721775	202,848	0,36375982	16,6386928	289,988378	0,20391851	5,03035433	11,1925118	2,621577	13,8140888	8	167,381788
1080	0,867480386	21,4977373	206,703867	206,737355	52,149208	230,232539	1128,93419	5505,45024	0,74085278	206,366	0,36428739	16,6313106	291,259736	0,2046097	5,11096429	12,6303194	2,9655094	15,5988288	9	167,52075
1200	0,869799389	21,4844515	206,563498	206,856178	52,0223609	229,390781	1127,08869	5502,52496	0,69849	202,244	0,36420749	16,6260649	289,468885	0,20478408	5,05664298	14,0623704	3,3072612	17,3696316	10	167,61703
1320	0,864284759	21,4746171	206,674636	206,94661	52,0826341	229,28886	1130,65494	5528,48462	0,75979389	200,244	0,36398518	16,6263197	289,845637	0,20313546	4,96006623	15,5044252	3,6500134	19,1544386	11	167,690808
1440	0,864192246	21,4634359	206,804879	207,046647	52,1421716	231,230521	1125,35912	5552,73058	0,74607389	200,488	0,36365382	16,6238482	288,93806	0,20405007	4,96736088	16,9448895	3,9922486	20,9369381	12	167,771367
1560	0,868251149	21,4565107	206,514446	207,107649	52,0069312	229,440307	1127,95662	5543,1873	0,767235	201,504	0,36374536	16,6251009	288,560997	0,20457978	5,01116405	18,3799724	4,356796	22,715652	13	167,8208
1680	0,864407582	21,4468752	206,977955	207,196557	52,2132601	229,487584	1131,70616	5509,46607	0,77116167	206,17	0,36397572	16,6142065	292,676341	0,20408932	5,14536497	19,822691	4,68255	24,505241	14	167,892843
1800	0,865716465	21,4384363	207,016795	207,274926	52,2147141	229,710988	1129,52405	5532,7093	0,74478952	205,854	0,36427315	16,6071335	290,400016	0,20498427	5,10660496	21,2632144	5,0279982	26,2912126	15	167,956346
1920	0,860547934	21,4287747	207,246712	207,365291	52,4062138	228,997343	1132,47197	5523,41592	0,73863167	207,49	0,36447273	16,6062543	291,216863	0,20484388	5,1420329	22,7119197	5,3778028	28,0897225	16	168,029667
2040	0,860531242	21,4226652	207,006462	207,42272	52,188384	229,738945	1131,41349	5488,26235	0,74005389	204,344	0,36463392	16,6016711	289,296322	0,20418445	5,06360861	24,160099	5,724616	29,884715	17	168,076106
2160	0,865796136	21,4201384	206,491035	207,44567	52,112334	229,204841	1131,90558	5505,16521	0,75589675	200,846	0,36467192	16,6006892	290,275281	0,20369148	5,00518153	25,6014761	6,0682082	31,6696848	18	168,0947
2280	0,857215408	21,4108524	207,892962	207,535023	52,4756975	229,761711	1131,1897	5477,47523	0,678956	211,596	0,36464527	16,5943212	293,099185	0,20591062	5,23545675	27,0551704	6,4185748	33,4737452	19	168,167105
2400	0,858855329	21,4046364	207,34982	207,593772	52,3484627	230,25027	1130,47743	5503,23177	0,79324722	204,402	0,3645072	16,5983879	289,748988	0,20383765	5,0272343	28,5047581	6,7649536	35,2697117	21	168,214711
2520	0,865680083	21,4000739	207,066614	207,636454	52,1619011	230,040193	1130,05402	5507,46787	0,70726889	202,752	0,36451939	16,6010514	290,597412	0,20331226	5,05096078	29,9452936	7,1087064	37,054	22	168,249804
2640	0,866415818	21,3985195	206,648879	207,650123	52,1630402	230,388118	1129,45952	5467,28907	0,77364222	203,324	0,36448669	16,6066126	290,129595	0,20388782	5,0616109	31,3845937	7,4515064	38,8361001	23	168,260371
2760	0,851812751	21,3917844	207,707563	207,714107	52,6124737	230,597048	1134,46427	5525,49765	0,76805556	207,112	0,36447897	16,6069497	293,272696	0,20682742	5,09898516	32,8460059	7,8042696	40,6502755	24	168,312215
2880	0,862768543	21,3886594	207,076541	207,743847	52,2904472	229,083002	1131,19698	5471,69232	0,75854338	204,422	0,36444807	16,6114885	292,086461	0,20549098	5,08198959	34,2906929	8,1520484	42,4427413	25	168,336316
3000	0,865012679	21,3859484	206,994208	207,769365	52,1239137	229,466971	1126,36239	5530,49122	0,71776389	202,458	0,36441822	16,6167159	291,477933	0,20407609	5,03365098	35,7310318	8,497119	44,2281508	26	168,356993
3120	0,865398131	21,3839645	206,851786	207,787834	52,1210637	228,616807	1129,98144	5519,42582	0,76672278	203,74	0,36456794	16,6105888	290,794534	0,20492355	5,04873874	37,1720753	8,8414358	46,0135111	27	168,371962
3240	0,875596964	21,3825301	206,699264	207,800221	51,9259892	229,33449	1126,54666	5531,75291	0,760575	201,464	0,36454931	16,6114133	290,150252	0,20350813	5,02793153	38,597165	9,1821218	47,7792868	28	168,381994
3360	0,908220237	21,3814479	205,892313	207,809242	51,3074663	228,159949	1120,10788	5536,52885	0,85391278	190,91	0,36423722	16,6148235	285,783999	0,20047016	4,80091111	39,9751377	9,5097752	49,4849129	29	168,389904
3480	1,013486185	21,3890024	201,567953	207,732212	49,4779607	226,918989	1103,09084	5536,66253	0,93784333	156,812	0,36371583	16,6329248	275,369542	0,19245847	3,91229713	41,214636	9,7943482	51,0089842	29	168,326889
3600	1,247855365	21,4003203	195,64975	207,625002	46,552148	221,071734	1064,70505	5423,73324	1,15291333	114,67	0,36288166	16,6581913	260,724105	0,17755165	5,54834411	42,2465629	10,0561444	52,3027073	30	168,240015
										Max	0,36467192	Max	357,399879	Max	5,54834411					
										Mn	0,35657843	Mn	260,724105							

## Anexo S Media de 1000 simulaciones en estado con proyecto para la intersección de la Av. 24 de Mayo y Av. Max Uhle.

instante	Velocidad Promedio	Velocidad Acumulada	Tiempo Promedio	Tiempo Acumulado	Densidad. media	Densidad Max	QMedio	QMax	Distancia mínima	Detener vehículos	DRAC	TTC	CO2	Consumo	Longitud de la cola	Tiempo gastado	Retraso	Tiempo total	Conflictos	Travel Time
[s]	[km/h]	[km/h]	[s]	[s]	[v/km]	[v/km]	[v/h]	[v/h]	[m]	[sec]	[m/sq]	[sec]	[g/km]	[l/km]	[m]	[s]	[s]	[s]	[ ]	[s/km]
0	30	30	224,3544	224,3544	21,5342087	49,7636228	0	1492,90868	31,19	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	120
120	1,64501941	23,0970378	292,002207	292,002207	72,6005228	323,500096	1681,33068	7574,37573	0,14197	154,59	0,35243665	15,4190588	474,730708	0,19795508	5,09206155	1,14489008	0,2320338	1,37692388	0	156,18265
240	1,38354631	22,4615575	304,666859	299,963999	74,0034153	332,596907	1571,44195	7508,65253	0,14113	202,952	0,36073018	15,2609422	539,819434	0,18665118	6,70501641	2,50884851	0,5352636	3,04411211	1	160,444368
360	1,372898	22,2702732	304,709018	302,467243	74,2196962	333,002807	1577,75863	7524,94178	0,14159	206,606	0,36171136	15,2303203	504,995657	0,18080851	6,82939593	3,88406441	0,8414652	4,72552961	2	161,780066
480	1,35690768	22,1477092	306,101577	304,081349	74,4418969	334,606398	1577,25032	7558,82361	0,1379	211,792	0,36330774	15,1792501	402,298161	0,26589404	7,00266698	5,27495622	1,1552818	6,48023802	2	162,648398
600	1,36443931	22,0831937	305,637983	304,950074	74,2829368	330,415087	1571,45766	7609,95519	0,13278	210,478	0,36329177	15,1558661	398,056648	0,26805419	6,95795087	6,65701416	1,4656922	8,12270636	3	163,108053
720	1,37354149	22,0500226	304,96277	305,381574	74,0502411	332,561912	1569,65689	7496,48189	0,13474	205,172	0,36396243	15,1598264	397,131939	0,2654087	6,78473175	8,02974106	1,7720616	9,80180266	3	163,388949
840	1,37676205	22,0213176	305,495117	305,756916	74,128031	331,411522	1575,73644	7458,08388	0,13448	205,414	0,36387924	15,1677645	392,952486	0,26502638	6,79222985	9,40017249	2,0775716	11,4777441	4	163,539603
960	1,37202905	21,9956802	305,856096	306,105531	74,146812	334,177273	1567,68622	7593,67615	0,13822	208,278	0,36405573	15,1675232	396,804072	0,26771407	6,88685482	10,7751212	2,3847232	13,1598444	4	163,726068
1080	1,36015109	21,977971	305,318687	306,341172	74,2471826	335,378981	1577,25694	7530,20561	0,13475	211,14	0,36447003	15,1416721	397,63453	0,26699575	6,96982987	12,1634354	2,696131	14,8595664	5	163,852104
1200	1,36036519	21,9595393	305,853646	306,588881	74,3720135	338,911632	1575,78254	7538,95299	0,13499	210,96	0,36501068	15,1346761	399,653318	0,26956049	6,97005698	13,5494871	3,0085014	16,5579885	6	163,984596
1320	1,36542598	21,9480349	305,273137	306,739442	74,2268614	332,189229	1571,91542	7552,38546	0,13355	210,666	0,36540217	15,1129294	398,834403	0,26873775	6,96019861	14,9307722	3,3178344	18,2486066	6	164,065126
1440	1,36551396	21,9403344	305,390671	306,840452	74,2066294	330,813084	1572,05173	7592,42853	0,13574	207,726	0,3655604	15,1042747	396,520851	0,26643842	6,86396664	16,3112187	3,6250518	19,9362705	7	164,119156
1560	1,37194407	21,9334478	305,016525	306,931225	74,1645986	335,344716	1572,92713	7534,866	0,13994	209,314	0,36569074	15,0995605	395,504174	0,26766273	6,90878814	17,6875633	3,9315904	21,6191537	7	164,167705
1680	1,36141323	21,9236891	305,838749	307,062997	74,2797306	336,763233	1569,57981	7509,71363	0,13232	210,756	0,36590135	15,092776	400,93138	0,26821735	6,97605859	19,073959	4,2494436	23,3174026	8	164,238187
1800	1,37107041	21,9184148	305,272878	307,130638	74,1709412	334,959277	1569,9757	7507,15639	0,13885	206,614	0,36602309	15,0932782	395,009144	0,2668881	6,8217827	20,4499973	4,5516944	25,0016917	9	164,274364
1920	1,36516718	21,9163535	304,869195	307,155187	74,1747784	335,795964	1575,91026	7541,3166	0,1372	207,696	0,36607079	15,0975822	394,602674	0,26583948	6,86625759	21,8303976	4,8595766	26,6899742	9	164,287495
2040	1,38120053	21,915378	304,497185	307,165786	74,0112531	330,767481	1573,61264	7535,30794	0,13693	205,134	0,3660578	15,1011162	396,226712	0,26604869	6,76862425	23,1961534	5,1631158	28,3592692	10	164,293167
2160	1,36612511	21,9129639	304,908406	307,198054	74,3141936	333,666713	1574,78747	7543,19849	0,13548	212,158	0,36630264	15,0965144	400,236027	0,26679886	7,0097882	24,5770332	5,4722546	30,0492878	10	164,310423
2280	1,37035966	21,910168	305,200484	307,234829	74,3008665	335,335157	1577,9208	7541,09894	0,14196	209,432	0,36646143	15,0902414	400,321891	0,26695112	6,91594128	25,9595445	5,781538	31,7350825	11	164,330093
2400	1,36821144	21,9063687	305,24496	307,285837	74,2672127	337,524032	1572,3684	7554,76392	0,13867	210,046	0,36646591	15,0894983	396,30189	0,26752103	6,92736053	27,3382751	6,0909798	33,4242549	12	164,353777
2520	1,3702261	21,9064712	304,491374	307,283155	74,3096017	335,331164	1577,089	7629,49556	0,13553	210,226	0,36656294	15,0806852	399,111166	0,26809603	6,9423263	28,7102062	6,3999746	35,1101808	12	164,35945
2640	1,36215662	21,9000229	306,10899	307,371966	74,318344	334,550678	1573,7679	7522,87807	0,13378	213,018	0,36661765	15,0707483	398,785858	0,27018584	7,03271271	30,0947858	6,7112574	36,8060482	13	164,403441
2760	1,3639462	21,8990896	304,890372	307,383841	74,2330601	330,982852	1574,75903	7490,55019	0,13566	207,686	0,36684069	15,0652242	397,705413	0,26749677	6,85617747	31,4768404	7,0202572	38,4970976	13	164,409796
2880	1,36511578	21,8989452	304,629473	307,385593	74,1237985	332,336544	1577,61939	7545,24957	0,13869	209,496	0,36688859	15,0584943	397,365827	0,26502471	6,91136966	32,858664	7,328292	40,186956	14	164,410733
3000	1,36169804	21,8958044	305,757955	307,428756	74,3731908	335,950746	1571,54642	7493,76794	0,13594	211,796	0,36686684	15,0576993	397,957999	0,26843855	6,98837569	34,2427277	7,6408626	41,8835903	15	164,43382
3120	1,36951694	21,8950062	304,436149	307,438582	74,2702466	329,19962	1575,54822	7571,38703	0,12991	207,636	0,36679018	15,0536953	396,642985	0,26801792	6,86297861	35,619791	7,9496616	43,5694526	15	164,439074
3240	1,38965708	21,8951479	304,061622	307,435321	74,0809879	336,284402	1571,61065	7498,16277	0,1363	204,588	0,36672799	15,061248	394,378809	0,26651365	6,76699893	36,9785	8,2521124	45,2306124	16	164,48733
3360	1,48948538	21,8970979	302,447178	307,406925	74,090639	333,139301	1577,89554	7558,06794	0,13567	195,286	0,36661091	15,0631895	395,983787	0,26588281	6,4467787	38,2929884	8,5422764	46,8352648	16	164,422141
3480	1,60445047	21,9016019	297,778833	307,343269	73,3820732	328,569966	1581,86228	7519,89466	0,13931338	172,86	0,36620171	15,0821142	394,725933	0,2603299	5,71208135	39,480823	8,7955446	48,2763676	17	164,388095
3600	1,96106545	21,9097116	288,442871	307,228829	71,9040645	316,857164	1577,82081	7409,68724	0,15971	128,406	0,36552543	15,1074676	383,973489	0,24806616	7,22251949	40,461724	9,0203148	49,4820388	17	164,326885
										Max	0,36688859	Max	539,819434	Max	7,22251949					
										Min	0,35243665	Min	383,973489							

## Anexo S Media de 1000 simulaciones en estado actual para la intersección de la Av. 24 de Mayo y Rayoloma.

instante	Velocidad Promedio [s]	Velocidad Acumulada [km/h]	Tiempo Promedio [s]	Tiempo Acumulado [s]	Densidad media [v/km]	Densidad Max [v/km]	Q,Medium [v/h]	Q,Max [v/h]	Distancia mínima [m]	Detener vehiculos [sec]	DRAC [m/sq]	TTC [sec]	CO2 [g/km]	Consumo [l/km]	Longitud de la cola [m]	Tiempo gastado [h]	Retraso [h]	Tiempo total [h]	Conflictos []	Travel Time [s/km]
0	30	30	88,7052	88,7052	19,1127288	34,4234079	0	1032,70224	24,55	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	120
120	0,81677676	21,2344117	125,664414	125,664414	72,545287	315,708943	1629,01516	8029,87123	0,92343267	101,388	0,33970394	14,9363538	459,400853	0,17472797	2,86434437	0,91417044	0,2366102	1,150780643	0	169,998259
240	0,70345529	20,7679738	130,327771	128,383952	74,5340399	320,08426	1583,54831	7907,48575	0,90298933	128,728	0,33762017	15,0833734	407,294421	0,20668122	3,64737089	1,97808573	0,527077	2,505162728	1	173,677236
360	0,69582671	20,5935945	130,69453	129,41697	74,8352461	321,127145	1588,32418	7893,32735	0,90193333	130,516	0,33494454	15,1793809	362,122143	0,24492011	3,71227613	3,05356842	0,8238354	3,877403819	1	175,074701
480	0,68864712	20,4760807	131,493469	130,120185	75,229558	318,539836	1594,86454	7958,24754	0,91094933	134,466	0,33233598	15,2261634	361,881816	0,24434669	3,83613278	4,13926451	1,1273384	5,266602912	1	176,026006
600	0,6836738	20,3899468	132,008953	130,645923	75,4108309	319,508842	1593,80126	7860,5215	0,89901333	137,914	0,33191234	15,2430261	367,051415	0,24815956	3,92085002	5,23221063	1,4869994	6,669210034	2	176,737224
720	0,68458417	20,3401345	131,719778	130,949112	75,398267	320,149292	1597,53913	7960,46199	0,91038733	136,968	0,33131434	15,2686579	364,073406	0,24638905	3,91953831	6,32405014	1,7460116	8,070061743	2	177,147379
840	0,68964971	20,3028233	131,805968	131,177188	75,0995976	318,534896	1589,3479	7832,85384	0,907306	136,978	0,33070722	15,2914361	363,153152	0,24671663	3,91880187	7,40884498	2,0515848	9,460429782	2	177,453915
960	0,68656448	20,2742024	131,817586	131,351723	75,3467493	320,247059	1590,76409	7884,67856	0,918891	137,166	0,33024492	15,3203788	365,674299	0,24679035	3,92012904	8,49675314	2,358719	10,85547214	3	177,692027
1080	0,68605008	20,2559937	131,572164	131,48009	75,3397285	321,401779	1596,90815	7896,06198	0,90799733	136,862	0,3296397	15,3411561	365,487907	0,24658582	3,91495753	9,58592677	2,666758	12,25268477	3	177,838624
1200	0,67958325	20,2245812	132,810226	131,659759	75,753025	318,978467	1601,23458	7879,6618	0,90019867	145,914	0,32920223	15,3441446	368,337494	0,24950458	4,19707294	10,6848599	2,9830974	13,66795733	3	178,108736
1320	0,67598004	20,2028333	132,394459	131,797294	75,9353626	320,542326	1605,59489	7866,70948	0,91457533	143,206	0,32927801	15,3361778	368,654849	0,25013106	4,09009022	11,7901525	3,3010458	15,09119827	4	178,294794
1440	0,67933505	20,1799803	132,751903	131,941717	75,7311272	319,927818	1591,34168	7797,59985	0,88725233	146,278	0,32926713	15,341685	369,221019	0,24846587	4,17702819	12,8913501	3,6177538	16,5091039	4	178,490169
1560	0,678882	20,1653765	132,338592	132,032343	75,749828	319,828028	1598,87182	7922,49375	0,90317033	142,02	0,32899474	15,3461825	366,869995	0,24831289	4,07422436	13,993236	3,9335388	17,92677482	4	178,612767
1680	0,68053138	20,1598015	131,861364	132,068042	75,6842516	319,881342	1605,23822	7919,93366	0,873286	140,222	0,3289836	15,3443095	367,08815	0,24848097	4,00620254	15,0902747	4,2468292	19,3371039	4	178,658356
1800	0,67458955	20,1450889	132,790586	132,159619	75,9389072	323,52938	1599,96144	7873,66289	0,88850933	145,084	0,32898431	15,3389317	368,297728	0,24959586	4,15084577	16,1972636	4,5651298	20,76239341	5	178,784944
1920	0,6807381	20,1343541	132,488948	132,226785	75,6105208	320,259813	1595,50355	7880,67912	0,903461	143,994	0,32892497	15,3416404	367,426418	0,24761137	4,12687015	17,2966526	4,8809384	22,17759102	5	178,873906
2040	0,67479529	20,1219609	132,807428	132,30512	75,896222	323,056439	1597,32302	7928,36749	0,882427	144,23	0,32878155	15,3401429	363,10631	0,24845177	4,13314122	18,4038084	5,2012296	23,60503804	5	178,981778
2160	0,6761201	20,1139497	132,482309	132,354877	75,7094052	321,605769	1598,6378	7926,62056	0,904655	142,748	0,32865331	15,345021	366,114821	0,24847964	4,09245239	19,5080557	5,517678	25,02573373	6	179,049086
2280	0,67892455	20,1074817	132,33888	132,39457	75,6846714	315,289428	1598,91172	7898,01109	0,86399933	140,64	0,32848437	15,3528923	365,681182	0,24792262	4,03144481	20,6079834	5,831923	26,43990642	6	179,102786
2400	0,67890296	20,1001215	132,581757	132,441765	75,7090289	323,54042	1594,34806	7933,41651	0,883509	142,268	0,32852229	15,3559362	368,708453	0,24913364	4,07665019	21,708295	6,1492242	27,85751917	6	179,16663
2520	0,67425856	20,0911417	132,941114	132,49859	75,8091526	321,076308	1596,97867	7852,40651	0,90970933	144,394	0,32835864	15,3589749	366,625705	0,24876437	4,14639984	22,8151237	6,4676524	29,28277614	7	179,243503
2640	0,67679052	20,0843255	132,790224	132,541622	75,6388941	318,417649	1597,22609	7919,62203	0,859601	143,51	0,32820477	15,367857	367,075995	0,24925092	4,12621894	23,9199162	6,785818	30,70573423	7	179,301718
2760	0,68312641	20,0811078	132,30416	132,562036	75,5595183	316,146683	1592,20722	7898,15427	0,88539767	143,41	0,3281053	15,3666167	367,319523	0,24752528	4,1080717	25,0139849	7,1001366	32,11412152	7	179,329334
2880	0,67882891	20,0759492	132,619299	132,593579	75,727527	318,249273	1598,15852	7881,61499	0,898574	142,23	0,32797902	15,3645608	367,205683	0,2491205	4,08429965	26,1138378	7,4162536	33,53009143	8	179,372005
3000	0,67722229	20,0732377	132,310054	132,610575	75,7217488	320,565898	1603,15482	7874,1425	0,88852767	138,614	0,32800969	15,3682334	365,488169	0,24815677	3,96187263	27,2170056	7,7314778	34,9484834	8	179,394996
3120	0,6838974	20,0692347	132,498869	132,635585	75,5737841	320,546672	1598,60202	7914,53462	0,88830833	138,77	0,32794842	15,3700243	365,812202	0,24674831	3,97096835	28,3101296	8,044741	36,35487058	8	179,428829
3240	0,69269523	20,0698206	131,711832	132,630629	75,2416536	318,629264	1594,28251	7931,04622	0,90411533	131,922	0,3276817	15,3728518	362,484812	0,24299751	3,77318017	29,3896299	8,3507994	37,74042995	9	179,422127
3360	0,72382222	20,075225	130,371725	132,593552	74,1099883	315,489391	1586,1345	7868,63638	0,94022133	124,704	0,32730619	15,3862361	356,057253	0,23834411	3,5756512	30,4255756	8,6410996	39,06667515	9	179,371966
3480	0,77938697	20,0869589	128,376205	132,514235	72,4975365	309,371182	1564,25183	7872,60844	0,96527467	103,25	0,32670151	15,3973884	340,948884	0,22952277	2,95061948	31,3965217	8,9070346	40,3055627	9	179,264668
3600	0,88922458	20,1084999	124,271119	132,37056	69,6153935	309,632056	1530,4084	7901,09997	1,03225667	80,684	0,32596643	15,4189985	321,948728	0,2157899	4,53874648	32,2556457	9,1824294	41,43807507	9	179,070306
										Max	0,33970394	Max	459,400853	Max	4,53874648					
										Mn	0,32596643	Mn	321,948728							

Anexo T Media de 1000 simulaciones en estado con proyecto para la intersección de la Av. 24 de Mayo y Rayoloma.

instante	Velocidad. Promedio	Velocidad. Acumulada	Tiempo. Promedio	Tiempo. Acumulado	Densidad. media	Densidad. Max	Q.Medium	Q.Max	Distancia mínima	Detener vehiculos	DRAC	TTC	CO2	Consumo	Longitud de la cola	Tiempo gastado	Retraso	Tiempo tota	Conflictos	Travel Time
[s]	[km/h]	[km/h]	[s]	[s]	[v/km]	[v/km]	[v/h]	[v/h]	[m]	[sec]	[m/sq]	[sec]	[g/km]	[l/km]	[m]	[s]	[s]	[s]	[l]	[s/km]
0	30	30	115,4136	115,4136	57,25645	141,043724	0	4231,31171	5,18	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	120
120	1,14207784	20,3662075	170,645502	170,645502	85,908361	329,476743	1900,40653	8964,05411	0,12848	315,854	0,58074075	11,3398899	437,113694	0,22762793	8,73310816	0,85589558	0,249513	1,10540858	1	177,426751
240	1,02625265	19,8330048	177,520821	175,067371	87,5451903	330,510209	1807,03753	8873,94734	0,12234333	388,74	0,58147666	11,2478582	402,248787	0,27396831	10,4130788	1,81417469	0,5573074	2,37148209	3	182,024342
360	1,01961883	19,647443	177,441401	176,636854	87,467434	338,00582	1804,98435	9108,16147	0,12951333	386,098	0,57825416	11,2786051	401,570275	0,27437637	10,3335312	2,77989954	0,869962	3,64986154	4	183,65193
480	1,01817289	19,5420144	177,627715	177,506176	87,6394067	340,478111	1810,6884	9083,31232	0,12885667	391,566	0,57788753	11,2726449	402,535192	0,27392135	10,5230208	3,74667126	1,1830098	4,92968106	6	184,560062
600	1,02803802	19,5058539	176,690448	177,786939	87,3800099	342,987134	1818,75432	9199,59716	0,13159	378,05	0,57599859	11,2725979	398,138592	0,27080059	10,1531953	4,70436157	1,4890644	6,19342597	7	184,851983
720	1,02230473	19,4657508	177,363954	178,107361	87,5624352	339,697029	1807,49932	9078,76966	0,12932	386,784	0,57647234	11,2588034	400,608144	0,27129209	10,3405377	5,6664961	1,7980426	7,4645387	8	185,185139
840	1,03150594	19,4488258	176,636464	178,238759	87,2045392	334,595703	1811,40836	9027,96019	0,13255333	370,084	0,57601961	11,2626015	398,578506	0,27037135	9,9763717	6,62113689	2,1014848	8,72262169	10	185,321757
960	1,03100647	19,4384753	176,329058	178,316528	87,3712417	340,308199	1812,17229	9101,54927	0,13358333	379,016	0,57506123	11,2743704	396,680323	0,26996262	10,1349805	7,57782188	2,4078272	9,98564908	11	185,402616
1080	1,03173652	19,4247749	176,778101	178,424928	87,3135323	338,719422	1809,74754	9080,08204	0,13884667	381,382	0,57414687	11,2833258	398,432594	0,26936984	10,1471315	8,53437592	2,7143312	11,2487071	12	185,515324
1200	1,02500064	19,4093703	177,114766	178,55444	87,6119066	341,879394	1806,55722	9093,3772	0,13286333	385,604	0,57399934	11,2830737	400,466784	0,27126181	10,288103	9,49622432	3,0243666	12,5205909	14	185,649941
1320	1,02230934	19,3930146	177,65524	178,697648	87,4680379	341,849501	1808,84393	9169,63042	0,13299667	390,144	0,57376878	11,2877692	400,78463	0,27226527	10,4135726	10,4598559	3,3348802	13,7947361	15	185,79888
1440	1,01685527	19,3799647	177,825401	178,810981	87,6792933	342,936564	1810,09659	9107,92137	0,12862667	392,258	0,57374874	11,2848391	403,398347	0,27129324	10,4977042	11,4291459	3,6489702	15,0781161	16	185,916718
1560	1,02802912	19,377116	176,604269	178,825348	87,5162462	333,412081	1809,34114	8978,72761	0,12616667	381,108	0,57388672	11,2811798	398,088566	0,27169874	10,1948969	12,3857314	3,9551728	16,3409042	18	185,931656
1680	1,02356241	19,3690987	177,401986	178,892445	87,7545481	340,147376	1809,87831	9051,52339	0,12687667	392,554	0,57394266	11,2762643	402,764664	0,27328626	10,4800759	13,3465612	4,2658052	17,6123664	19	186,001418
1800	1,00590046	19,3507608	178,921655	179,050797	88,0135275	337,651575	1797,77904	9070,78211	0,12564333	413,446	0,57430155	11,2730055	407,826963	0,27535005	10,9830041	14,3245108	4,5881568	18,9126676	20	186,166062
1920	1,01243222	19,3381675	178,334036	179,160148	88,0104257	339,335342	1805,18037	9059,9078	0,12475	406,586	0,57424084	11,2690911	405,833224	0,27537251	10,768904	15,2979248	4,9086494	20,2065742	22	186,27976
2040	1,00985088	19,3309466	177,865027	179,220717	88,0320091	337,051815	1812,36664	8999,03209	0,12064	403,498	0,57392806	11,2685453	403,149928	0,27399838	10,6636835	16,274541	5,2284634	21,5030044	23	186,342735
2160	1,01747164	19,3255618	177,583025	179,262571	87,746358	340,525343	1810,21942	9113,44506	0,13283	392,984	0,57395851	11,2635804	403,977772	0,27293233	10,4609864	17,2424763	5,528662	22,7853425	24	186,386254
2280	1,02182489	19,3226174	177,166754	179,286238	87,7209642	336,779198	1808,04094	9073,42745	0,12975667	390,778	0,57410533	11,2596136	399,47177	0,27413281	10,4394112	18,2052575	5,8546086	24,0598661	26	186,41086
2400	1,02136801	19,3195774	177,35417	179,309552	87,6226029	335,324821	1813,716	9025,54086	0,13104667	392,82	0,57402452	11,2623246	400,150189	0,27341906	10,4358651	19,1687077	6,1665688	25,3352765	27	186,43519
2520	1,02731113	19,3197623	176,831573	179,304188	87,5693078	346,132874	1809,69181	9147,27919	0,13884667	390,394	0,57395848	11,2613558	401,251822	0,27197902	10,3816713	20,1279521	6,4750726	26,6030247	29	186,429523
2640	1,01820371	19,312512	178,257978	179,369112	87,8814788	348,031012	1800,7012	9239,2919	0,13412667	401,204	0,57402737	11,2606942	402,889253	0,27308527	10,6528694	21,0960739	6,7919034	27,8879773	30	186,49703
2760	1,03354931	19,314269	176,31004	179,350518	87,5771635	331,327011	1808,71659	8915,49702	0,11738	385,452	0,57404905	11,2632361	401,992358	0,27079449	10,2531884	22,0510851	7,1003768	29,1514619	31	186,477696
2880	1,02325038	19,3122201	177,153392	179,365326	87,6277564	338,737867	1806,2939	9029,09122	0,12538	391,904	0,57436497	11,2629747	400,919045	0,27182863	10,4831051	23,0101082	7,4096978	30,419806	33	186,493091
3000	1,01954519	19,3096838	177,225291	179,386637	87,7940028	335,253949	1810,06537	9073,8159	0,13540333	400,154	0,57410832	11,2686861	402,098779	0,27279122	10,6412188	23,9757354	7,7238008	31,6995362	34	186,515249
3120	1,03168493	19,3084424	176,891601	179,396539	87,7954844	343,278418	1814,33383	9164,30169	0,12905	389,846	0,57396747	11,2688311	402,19488	0,27144427	10,2523239	24,9313071	8,0340436	32,9653507	35	186,525544
3240	1,04203398	19,3074718	176,468182	179,401929	87,4646005	334,102547	1807,07159	8861,73619	0,12779333	372,136	0,57389295	11,2688731	398,847207	0,27148127	9,95809302	25,8771961	8,3373732	34,2145693	37	186,531149
3360	1,08481944	19,3145223	173,288338	179,331893	87,0297617	337,131634	1827,59249	9026,63109	0,13057333	341,154	0,57367221	11,2722519	394,560885	0,26624408	9,17481502	26,7887138	8,6222088	35,4109226	38	186,458332
3480	1,22117768	19,3367717	167,102212	179,122059	84,8511301	320,928781	1828,81961	8727,30054	0,12746333	252,81	0,57252882	11,2832733	369,971109	0,24710813	6,88474572	27,6047456	8,8583226	36,4630682	39	186,240158
3600	1,45150883	19,3689193	159,26756	178,821522	81,7408603	317,603529	1813,90176	8710,03829	0,13512	163,374	0,57072987	11,2994247	336,627198	0,22299073	8,61488167	28,2973394	9,0683112	37,3656056	40	185,927678
										Max	0,58147666	Max	437,113694	Max	10,9830041					
										Min	0,57252882	Min	336,627198							