

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

---



**IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DE TURBO GLORIETA.  
PROPUESTA DE CAMBIO DE GLORIETA CONVENCIONAL A  
TURBO GLORIETA EN MÉRIDA, YUCATÁN.**

**POR:**

**ING. IRVING OSORIO SANTOS**

**TESIS PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA EN VÍAS TERRESTRES**

**CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO**

**AGOSTO, 2020**



“Implementación y simulación de turbo glorieta, propuesta de cambio de glorieta convencional a turbo glorieta en Mérida, Yucatán”. Tesis presentada por Ing. Irving Osorio Santos como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ingeniería en Vías Terrestres, ha sido aprobado y aceptado por:

**M.I. Javier González Cantú**  
Director de la Facultad de Ingeniería

**Dr. Alejandro Villalobos Aragón**  
Secretario de Investigación y Posgrado

**M.A. María de Lourdes Flores**  
Coordinadora Académica

**Dra. Daphne Espejel García**  
Directora de Tesis

**Agosto 2020**  
Fecha

Comité:

**Dra. Daphne Espejel García**  
**Dr. Alejandro Villalobos Aragón**  
**Dra. Vanessa Verónica Espejel García**  
**M.I. Fabricio Alán Madrigal Vásquez**

© Derechos Reservados

**Ing. Irving Osorio Santos**  
Circuito Universitario Campus II  
Chihuahua, Chih. México

Agosto 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
**CHIHUAHUA**

**ING. IRVING OSORIO SANTOS**  
**Presente**

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería en Vías Terrestres, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por el director Dra. Daphne Espejel García para que lo desarrolle como tesis, con el título: **“IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DE TURBO GLORIETA. PROPUESTA DE CAMBIO DE GLORIETA CONVENCIONAL A TURBO GLORIETA EN MÉRIDA, YUCATÁN”**.

### **Índice de Contenido**

Agradecimientos

Índice de Contenido

Índice de Tablas

Índice de Figuras

Capítulo 1: Introducción

Capítulo 2: Marco Teórico

- 2.1 Antecedentes
- 2.2 Glorietas convencionales
- 2.3 Turbo Glorieta
- 2.4 Capacidad y nivel de servicio
- 2.5 Programa Torus 5.0
- 2.6 Programa PTV VISSIM

Capítulo 3: Metodología

- 3.1 Lugar de estudio
- 3.2 Actividades



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
CHIHUAHUA

Capítulo 4: Discusión de Resultados

- 4.1. Análisis topográfico
- 4.2. Análisis de tránsito
- 4.3 Resultados de Elaboración del diseño geométrico de la turbo glorieta
- 4.4 Resultados de la micro simulación de glorieta convencional vs turbo glorieta

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

Referencias

Apéndice A

Curriculum Vitae

Solicitamos a Usted tomar nota de que el título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares de las tesis.

A T E N T A M E N T E

“Naturam subiecit aliis”

EL DIRECTOR

EL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN  
Y POSGRADO

M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ

FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
U.A.CH.



DIRECCIÓN

DR. ALEJANDRO VILLALOBOS ARAGÓN

## **Dedicatoria**

*El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a mis padres José Humberto y Francisca, quienes con su amor, esfuerzo, paciencia y sacrificios en estos años me han permitido llegar a cumplir hoy con un sueño más, gracias por inculcarme el ejemplo de esfuerzo y tenacidad, así como no permitirme caer en los momentos más difíciles.*

*A mis hermanos Janet y José por apoyarme cuando más los necesito, escucharme, darme consejos y ánimos en todo momento con su gran cariño.*

## **Agradecimientos**

A mi familia por acompañarme y motivarme en todo momento para estudiar la maestría en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante este tiempo con sus palabras haciéndome sentir orgulloso.

Agradezco a la doctora Daphne Espejel García, directora de mi trabajo de tesis de maestría, por su guía, paciencia, motivación, confianza y amistad brindada que me otorgo desde el primer día que la conocí.

Al Profesor M.I. Alejandro Martínez, por su disposición, apoyo y confianza en mí, así como sus enseñanzas durante la maestría y sobre todo su amistad ofrecida.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua por acogerme en el Programa de Maestría en Ingeniería en Vías Terrestres permitiéndome aprender de cada uno de los docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional.

Al Instituto de Infraestructura Carretera de Yucatán (INCAY) por su valiosa ayuda facilitándome los equipos necesarios y su tiempo, para poder alcanzar los objetivos trazados en esta tesis.

A Karla y a mis amigos de toda la vida (Edwin, Alfredo, Rubén y Cristian) por brindarme de su valiosa ayuda y tiempo para que pueda lograr mi objetivo, les agradezco de todo corazón de apoyarme cuando necesite de su ayuda para mis pruebas de campo.

## Índice de Contenido

Agradecimientos .....	vii
Índice de Contenido .....	viii
Índice de Tablas .....	ix
Índice de Figuras .....	x
<i>Capítulo 1: Introducción</i> .....	1
<i>Capítulo 2: Marco Teórico</i> .....	5
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 GLORIETAS CONVENCIONALES .....	13
2.3 TURBO GLORIETA.....	25
2.4 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.....	49
2.5 PROGRAMA TORUS 5.0 .....	51
2.6 PROGRAMA PTV VISSIM.....	52
<i>Capítulo 3: Metodología</i> .....	53
3.1 LUGAR DE ESTUDIO.....	55
3.2 ACTIVIDADES.....	58
<i>Capítulo 4: Discusión de Resultados</i> .....	69
4.1. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO.....	69
4.2. ANÁLISIS DE TRÁNSITO .....	74
4.3 RESULTADOS DE ELABORACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA TURBO GLORIETA .....	77
4.4 RESULTADOS DE LA MICRO SIMULACIÓN DE GLORIETA CONVENCIONAL VS TURBO GLORIETA.....	82
<i>Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones</i> .....	103
Referencias.....	107
Apéndice A .....	110
Curriculum Vitae .....	113

## Índice de Tablas

Tabla 2.1: Cálculo de radio de los carriles. ....	29
Tabla 2.2: Tamaño de radios en las Turbo Glorietas .....	30
Tabla 2.3. Radios y medidas para turbo glorietas de tipo Básico, Huevo, Rodilla y Espiral .....	32
Tabla 2. 4: Radios y medidas para turbo glorietas de tipo Rotor .....	33
Tabla 2. 5: Radios y medidas para turbo glorietas de tipo Estrella. ....	33
Tabla 4. 1: Movimiento de flujo direccional en la glorieta de Gran Plaza. ....	75
Tabla 4.2: Volumen de Transito Futuro de vehículos por hora en la glorieta de Gran Plaza. ....	76
Tabla 4.3: Anchos, radios y número de carriles en entradas y salidas en la turbo glorieta propuesta en la intersección a nivel. ....	77
Tabla 4.4: Verificación del modelo de calibración por medio de los valores obtenidos del indicador GEH para los modelos de la glorieta convencional y la turbo glorieta en el año 2019. ....	85
Tabla 4.5: Valores obtenidos GEH de la red vehicular global de los modelos. ....	86
Tabla 4.6: Nivel de servicio (LOS) en glorietas convencionales. ....	94
Tabla 4.7: Comparativa del Nivel de servicio (LOS) de la glorieta vs turbo glorieta tipo rotor en el año 2019. ....	94
Tabla 4. 8: Comparativa del Nivel de Servicio (LOS) de la glorieta vs turbo glorieta tipo rotor al año (2020), cinco años(2024), diez años (2029) y a los quince años (2034). ....	95

## Índice de Figuras

<i>Figura 2.1: Tipo de glorietas de acuerdo con el diámetro de la isleta central y demanda vehicular</i>	5
<i>Figura 2.2: Vista de la Plaza Charles de Gaulle <a href="http://www.vivelafrancefr.wordpress.com">www.vivelafrancefr.wordpress.com</a></i>	6
<i>Figura 2.3: Ejemplo de glorieta moderna. Glorieta de la X'tabay en Mérida, Yucatán</i>	7
<i>Figura 2.4: Comparación de capacidad determinada por micro simulación de una glorieta convencional y una turbo glorieta</i>	8
<i>Figura 2.5: Incorrecto Comportamiento de los conductores al tomar una glorieta</i>	9
<i>Figura 2.6: Turbo glorieta en la ciudad de Victoria, Columbia Británica, Canadá</i>	11
<i>Figura 2.7: Proyecto "Turbos Glorietas" en Chihuahua, Chihuahua</i>	13
<i>Figura 2.8: Primera turbo glorieta en funcionamiento del proyecto "Turbos glorietas" en el municipio de Chihuahua, Chihuahua</i>	13
<i>Figura 2.9: Glorieta de tipo normal según su geometría</i>	14
<i>Figura 2.10: Glorieta de tipo mini glorieta según su geometría</i>	15
<i>Figura 2.11: a) Glorieta de tipo doble contigua según su geometría b) Glorieta de tipo doble con tramo de unión según su geometría</i>	16
<i>Figura 2.12: Parámetros geométricos de una glorieta</i>	19
<i>Figura 2.13: Angulo de entrada de una glorieta grande</i>	20
<i>Figura 2.14: Angulo de entrada de una glorieta normal o compacta</i>	21
<i>Figura 2.15: Cálculo del caudal circulante Manual de Capacidad de Carreteras 2010</i>	22
<i>Figura 2.16: Cálculo de flujo de salida Manual de Capacidad de Carreteras 2010</i>	23
<i>Figura 2.17: Elementos necesarios para la fórmula de Wardrop y modificado por el Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido</i>	25
<i>Figura 2.18: Turbo glorieta en Holanda</i>	25
<i>Figura 2.19: Principales características de una turbo glorieta</i>	26
<i>Figura 2.20: Carriles separadores</i>	27
<i>Figura 2.21: Diseño Geométrico de la turbo glorieta con respecto al turbo bloque y a los radios de la espiral</i>	28
<i>Figura 2.22: Ejemplo de Sección transversal de una turbo glorieta</i>	29
<i>Figura 2.23: Espiral de Arquímedes</i>	31
<i>Figura 2.24: Vista del separador de carriles</i>	34
<i>Figura 2.25: Inicio del separador de carril en la espiral, nombrado rana</i>	34
<i>Figura 2.26: Tipos de turbo glorietas para intersecciones de tres o cuatro ramales o brazos</i>	36
<i>Figura 2.27: Definición de flujo de tráfico y puntos de conflicto en una turbo glorieta</i>	37
<i>Figura 2.28: Brecha Critica <math>tC</math></i>	40
<i>Figura 2.29: Intervalo de seguimiento <math>t_f</math></i>	40
<i>Figura 2.30: Intervalo de tiempo mínimo <math>t_h</math></i>	41
<i>Figura 2.31: Comparación de Puntos de conflicto de una glorieta convencional vs turbo glorieta de tipo básica</i>	45
<i>Figura 2.32: Flechas utilizadas en carriles de entrada, delante de la turbo glorieta o glorieta Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009</i>	46
<i>Figura 2.33: Ejemplo de marca de pavimento tipo flecha cura en una turbo glorieta Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009</i>	47
<i>Figura 2.34: Ejemplo de Señalización vertical para turbo glorietas en Holanda. Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009</i>	47
<i>Figura 2.35: Señalamiento SID-15 Puente</i>	48
<i>Figura 2.36: Señalamiento SID-12 Diagramática</i>	48

<i>Figura 2. 37: Señalamiento a la izquierda SID-13 Bandera y a la derecha SID-14 Bandera Doble</i>	48
<i>Figura 2.38: Canalizador con LED para la mejora de visibilidad de los divisores de carril. Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009.</i>	49
<i>Figura 2.39: Vista de la interface de trabajo del Software Torus</i>	51
<i>Figura 2.40: Ejemplo de una simulación en el programa PTV VISSIM, vista en 2D (izquierda) y en 3D (Derecha)</i>	52
<i>Figura 3.1: Metodología utilizada en la investigación.</i>	54
<i>Figura 3.2: Ubicación del sitio de la investigación en Mérida, Yucatán</i>	55
<i>Figura 3.3: Vista aérea de la zona de estudio, Glorieta de Gran Plaza.</i>	56
<i>Figura 3.4: Carta Síntesis de la zona de estudio</i>	56
<i>Figura 3.5: Trabajos de campo: a) Levantamiento Topográfico b) Ensamble de tubo neumático en equipo contador de tráfico MetroCount.</i>	58
<i>Figura 3.6: Levantamiento por medio de Estación Total Sokkia.</i>	60
<i>Figura 3.7: Ubicación de los puntos de control.</i>	60
<i>Figura 3.8: Marca en el camellón central como punto de control en la calle 5-B.</i>	61
<i>Figura 3.9: Plan de vuelo del dron por medio de la app DroneDeploy – Mapping for DJI.</i>	61
<i>Figura 3.10: Equipo Contador de Tráfico DELTA NT de la marca Time Mark Inc.</i>	62
<i>Figura 3.11: a) Arreglo 66 de los 4 equipos DELTA NT ubicados en la calle 60. b) Fotografía de equipo contador de tráfico instalado en la calle 60 sentido B antes de llegar a la glorieta.</i>	63
<i>Figura 3.12: a) Equipo Contador de Tráfico modelo 5600 Serie RSU de la marca MetroCount (MetroCount). b) Fotografía de la ubicación del equipo contador de tráfico en la calle 5-B.</i>	63
<i>Figura 3.13: Ubicación de los equipos aforadores y de las mangueras neumáticas de la zona de estudio.</i>	64
<i>Figura 3.14: Formato para el conteo manual de tránsito.</i>	65
<i>Figura 3.15: Distribución de los movimientos direccionales vehiculares en la glorieta de Gran Plaza.</i>	66
<i>Figura 4.1: Orto mosaico del área de estudio.</i>	69
<i>Figura 4.2: a) Sección Tipo de la calle 5-B (Google Earth 2019) b) Vista desde la glorieta a la calle 5-B.</i>	70
<i>Figura 4.3: a) Sección tipo de la calle 69 b) Vista desde la glorieta a la calle 69 (Google Earth 2019).</i>	71
<i>Figura 4.4: a) Sección Tipo de la calle 60 antes de cruzar la glorieta b) Vista desde la glorieta a la calle 60 antes de cruzar la glorieta (Google Earth 2019).</i>	72
<i>Figura 4.5: Sección Tipo de la calle 60 después de la glorieta. b) Vista desde la glorieta a la calle 60 después de la glorieta</i>	73
<i>Figura 4.6: Comportamiento vehicular por hora en la semana de estudio en la intersección a nivel de la glorieta de Gran Plaza.</i>	74
<i>Figura 4.7: Clasificación vehicular en la glorieta de Gran Plaza.</i>	74
<i>Figura 4.8: Capacidad circulante en la Glorieta de Gran Plaza.</i>	75
<i>Figura 4.9: Turbo bloque de 15 m de radio.</i>	78
<i>Figura 4.10: Vehículos de proyecto del MPGC 2018, a la izquierda DE-750 y a la derecha DE-1980 (TORUS 5.0).</i>	78
<i>Figura 4.11: Diseño Geométrico en planta de la turbo glorieta tipo Rotor en el cruzamiento de la calle 60 con calle 69 y calle 5-B.</i>	79
<i>Figura 4.12: Comparativa de calle actual de la calle 50 de Cordemex versus el diseño de proyecto.</i>	80
<i>Figura 4.13: Adecuaciones geométricas realizadas para el proyecto turbo glorietas, a) antes de la calzada giratoria b) después de la intersección giratoria.</i>	81

<i>Figura 4.14: Modelos representados en el software PTV VISSIM 8.0, en el lado izq. el modelo de la glorieta convencional actual y en el lado der. el modelo de la turbo glorieta tipo rotor.</i>	84
<i>Figura 4.15: Localización de los nodos de entrada y salida del modelo de la glorieta convencional.</i>	87
<i>Figura 4.16: Localización de los nodos de entrada y salida del modelo de la turbo glorieta tipo rotor.</i>	87
<i>Figura 4.17: Puntos de conflicto en la turbo glorieta, siendo 19 puntos de conflicto para los accesos y 0 salidas.</i>	88
<i>Figura 4.18: Puntos de conflicto en la glorieta actual, siendo 19 puntos de conflicto para los accesos y 0 salidas.</i>	88
<i>Figura 4.19: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta del año 2019.</i>	89
<i>Figura 4.20: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta al año (2020).</i>	89
<i>Figura 4.21: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los cinco años (2024).</i>	90
<i>Figura 4.22: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los diez años (2029).</i>	90
<i>Figura 4.23: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los quince años (2034).</i>	90
<i>Figura 4.24: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta del año 2019.</i>	92
<i>Figura 4.25: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta al año (2020).</i>	92
<i>Figura 4.26: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los cinco años (2024).</i>	92
<i>Figura 4.27: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los diez años (2029).</i>	93
<i>Figura 4.28: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los quince años (2034).</i>	93
<i>Figura 4.29: Gráfica comparativa de las emisiones CO2 en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta en el año 2019.</i>	96
<i>Figura 4.30: Gráfica comparativa de las emisiones CO2 en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta al año (2020).</i>	97
<i>Figura 4.31: Gráfica comparativa de las emisiones CO2 en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los cinco años (2024).</i>	97
<i>Figura 4.32: Gráfica comparativa de las emisiones CO2 en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los diez años (2029).</i>	97
<i>Figura 4.33: Gráfica comparativa de las emisiones CO2 en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los diez años (2029).</i>	98
<i>Figura 4.34: Gráfica comparativa de las emisiones NOx en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta en el año 2019.</i>	98
<i>Figura 4.35: Gráfica comparativa de las emisiones NOx en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta al año (2020).</i>	99
<i>Figura 4.36: Gráfica comparativa de las emisiones NOx en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los cinco años (2024).</i>	99
<i>Figura 4.37: Gráfica comparativa de las emisiones NOx en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los diez años (2029).</i>	99
<i>Figura 4.38: Gráfica comparativa de las emisiones NOx en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los quince años (2034).</i>	100

<i>Figura 4.39: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta en el año 2019.....</i>	100
<i>Figura 4.40: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta al año (2020). ....</i>	101
<i>Figura 4.41: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta a los cinco años (2024).....</i>	101
<i>Figura 4.42: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta a los diez años (2029). ....</i>	101
<i>Figura 4.43: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta a los quince años (2034).....</i>	102



## ***Capítulo 1: Introducción***

En Mérida, Yucatán, como en otros lugares del mundo, el diseño urbano ha favorecido al automóvil desde hace mucho tiempo, imponiéndose al peatón y a otros componentes urbanos. Debido al amplio catálogo de vehículos y a las altas velocidades que alcanzan actualmente, los ingenieros de tránsito deben buscar las soluciones para mejorar la fluidez vehicular en las vías de comunicación de las ciudades.

La operación de las glorietas convencionales en el mundo, presenta múltiples conflictos debido a dos razones en especial: 1) desde los proyectos se crea un mal diseño geométrico de las glorietas, debido a que actualmente en México no se cuenta con un manual para el diseño de las mismas, por lo que en muchas ocasiones la escasa información para un apropiado diseño geométrico de la glorieta, produce que las dimensiones y parámetros para una glorieta no cumplan con la capacidad vial; y 2) el mal comportamiento de los usuarios al tomar este tipo de intersecciones, debido a que muchos de ellos desconocen las reglas viales de operación. Debido a estos dos motivos se provoca una lenta fluidez en la zona y se tenga una alta tasa de accidentabilidad en este tipo de intersecciones, causando un mayor requerimiento de policías en la zona para el control del tráfico.

Una de las soluciones que actualmente manejan los proyectistas urbanos en algunos países del continente europeo como Holanda, España, Eslovenia, Italia, entre otros; con el fin de tener una mejor fluidez en sus vías de comunicación son las turbo glorietas que desde el punto de vista técnico-operativo han sido aceptada por expertos en el área de vialidad, gobierno y usuarios que transitan en las vías urbanas (Bulla Cruz, 2010).

Las turbo glorietas son un tipo de glorietas en la que sus carriles se encuentran delimitados por un obstáculo instalado entre los carriles desde la entrada hasta la salida de circulación, en este tipo de glorieta se detallan con antelación los movimientos de flujo correspondientes al carril, por medio señales verticales y horizontales (Valenzuela Ñañez, 2017).



En las turbo glorietas se cuenta con varios tipos de configuraciones de acuerdo con el número de brazos o tramos, capacidad vial y la dirección del flujo. En comparación con la glorietta, que puede presentar más de cuatro brazos o tramos, en la turbo glorietta solo se puede usar en intersecciones con tres o cuatro tramos (Ministry of Transport, Public Works and Water Management of Holland, 2009).

Desde su creación en 1996 por el profesor Lambertus G. H. Fortuijn, y la colocación de la primera turbo glorietta en Holanda en 2000, se han efectuado varias investigaciones al respecto, desarrolladas en mayoría en países europeos y en países como Sudáfrica, Canadá, Colombia y Perú, entre otros. Entre muchas de las conclusiones a las que han llegado los investigadores, es del aumento en la capacidad en las intersecciones, incrementando de un 12% hasta un 20% la capacidad vial en cruces que cuentan con una turbo glorietta en comparación a una glorietta convencional (Yperman & Immers, 2003). Otra conclusión a la que llegan los investigadores es la reducción de los niveles de accidentabilidad en intersecciones donde fueron construidas las turbo glorietas de hasta un 80% en comparación con una glorietta convencional o algún mecanismo de control de tráfico (Bulla Cruz, 2010). Ejemplos de estas investigaciones de índice de accidentabilidad se puede encontrar en el artículo de (Fortuijn, 2009) donde comparan los accidentes en una glorietta convencional versus turbo glorietta; (Carretero, 2015) menciona que en una turbo glorietta en Asturias, España solo se ha producido dos accidentes en seis años; (Murphy, 2015) comparó el desempeño de seguridad de la turbo glorietta que se construyó y abrió al público en el 2010 en Columbia Británica con otras glorietas de multicarriles; en su artículo (Chodur & Bak, 2016) presentaron una investigación de los resultados preliminares sobre el comportamiento de los conductores y la velocidad en las turbo glorietas donde reduce de un 10% hasta un 17%.

Las glorietas convencionales poseen grandes ventajas en comparación con varios tipos de intersecciones. Este estudio se centrará en la glorietta ubicada al Norte de la ciudad de Mérida, Yucatán, nombrada glorietta de Gran Plaza, ya que en horas picos se evidencian



grandes problemas generados por altos volúmenes vehiculares y la falta de educación vial de los conductores. Este último problema se manifiesta con movimientos peligrosos en las entradas y salidas de las glorietas, provocando demoras, un nivel de servicio inferior al deseado, largas longitudes de colas y un constante uso de la policía para regular el tráfico. Algunas veces estos problemas en muchos otros lugares de Mérida han conllevado a la eliminación de este tipo de intersecciones para posteriormente la instalación de semáforos.

Este cruce de la calle 60 (carretera: Mérida – Progreso), Calle 5-B y Calle 69 presenta problemas viales en las mañanas en un horario de 8:00 a.m. a 9:00 a.m., en las tardes de 1:00 p.m. a 2:00 p.m. y en las noches de 5:00 p.m. a 6:00 p.m. generando un caos vehicular en la zona debido a que se encuentran cuatro plazas comerciales a su alrededor, tres supermercados, oficinas, casas residenciales, así como también es salida a la carretera Mérida – Progreso y al Periférico de Mérida “Lic. Manuel Berzunza y Berzunza”.

El propósito de esta investigación es proyectar una alternativa para solucionar el problema de la congestión vehicular, reduciendo el tiempo de espera en la intersección, disminuyendo el índice de accidentes fronto-laterales y laterales, por ende, reduciendo de los costos económicos anuales en choques. Otros beneficios incluyen la mejora del nivel de servicio en la intersección comparándolo con respecto a la glorieta convencional, esto mediante la selección y diseño adecuado de una turbo glorieta, de acuerdo con los patrones de demanda y capacidad vehicular. Se busca que esta intersección funcione apropiadamente cuando el conductor acceda al carril correcto, donde la geometría de la calzada giratoria y los separadores de carriles, guiarán de forma fluida y segura al destino final considerado, eso conllevando a una optimización vial, mejorando significativamente el flujo y la capacidad en comparación al de la glorieta convencional. Además, este tipo de construcciones en las ciudades permitiría a los conductores mejorar su educación vial indirectamente, ya que las turbo glorietas les instruirían sobre cómo manejar en las glorietas y así evitar los puntos de conflicto en las salidas. Ambientalmente las turbo glorietas, debido a la eliminación de los puntos de conflicto en la salida y entrecruzamiento, provocan una reducción de gases de



efecto invernadero (GEI), como son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido de nitrógeno (NO) y compuestos orgánicos volátiles (VOC) (Sanchez Osorio & Gil Angel, 2016).

El objetivo general de la investigación fue evaluar y comparar la eficiencia de la capacidad de tráfico y seguridad entre una turbo glorieta y una glorieta convencional, desde un punto de vista técnico-operativo como una opción de regularización de tráfico en una intersección donde se considere construirse o se pretenda remplazar las glorietas convencionales por una turbo glorieta, a partir de un estudio de caso de una intersección en la ciudad de Mérida, Yucatán

Esta investigación contó con tres objetivos específicos, el primero consistió en la elaboración del diseño geométrico de la turbo glorieta por medio del software TORUS 5.0 de la empresa Transoft Solutions, utilizando los datos topográficos y del aforo vial para la selección del tipo de turbo glorieta de acuerdo con el Manual Práctico de Glorietas – Aplicación y diseño, elaborado por el Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Gestión del Agua en el 2009. El segundo objetivo radicó en llevar a cabo la modelación y calibración tanto de la glorieta convencional existente, como de la turbo glorieta diseñada para la intersección por medio del software PTV VISSIM de la empresa PTV-Planung Transport Verkehr AG. El tercer objetivo fue la evaluación de las simulaciones tanto de la turbo glorieta como la glorieta convencional actual, de acuerdo con el desempeño, nivel de servicio, longitud de cola y tiempo de viaje.



## Capítulo 2: Marco Teórico

Brillon (2005) distingue diferentes tipos de glorietas, de acuerdo a su función, al tamaño de la isleta central (diámetro inscrito) y la demanda vehicular por día (veh/día) en las zonas donde se pretende aplicar en estos tipos de intersección (Brillon, 2005), (ver Figura 2.1).

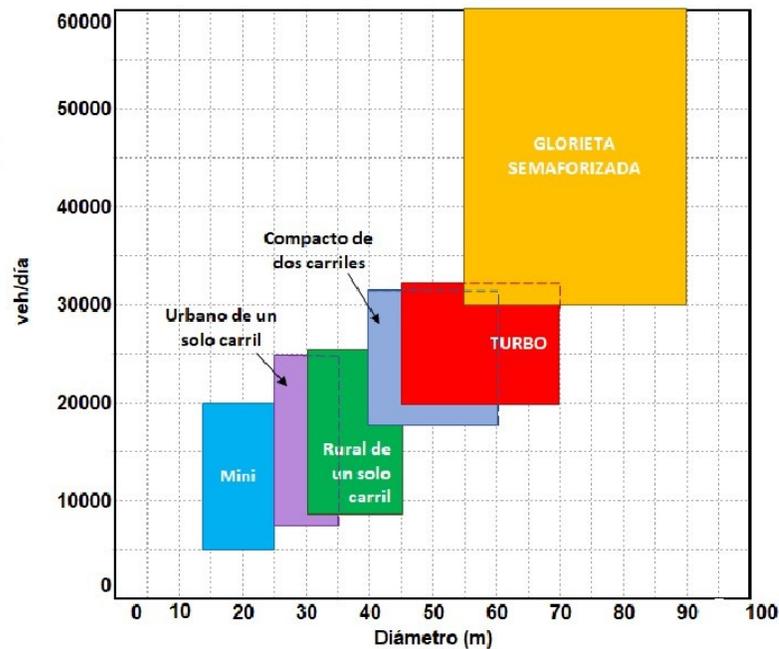


Figura 2.1: Tipo de glorietas de acuerdo con el diámetro de la isleta central y demanda vehicular (Brillon, 2005).

### 2.1 ANTECEDENTES

En el desarrollo de esta investigación, se recopiló información de los avances ingenieriles que han tenido las glorietas desde los inicios, hasta llegar a las investigaciones y resultados obtenidos en simulaciones de las turbo glorietas.

Las glorietas surgen a comienzos del siglo XX, específicamente en 1907 en Francia, el proyectista de este tipo de intersecciones fue el arquitecto Eugène Hénard (1849-1923), el diseñó los primeros cruces de tipo circular, entre los proyectos más reconocidos es la Place de l'Étoile o "Plaza Charles de Gaulle" (ver Figura 2.2). Sin embargo, el funcionamiento y las características de entrada de este tipo de intersecciones difieren a cómo funcionan hoy en



día las glorietas modernas. Su idea se basó en obligar a los vehículos a rodear un obstáculo, los coches sólo podían realizar maniobras de entrada y salida de la fila (movimientos tangenciales), siempre que todos giren en el mismo sentido (Darder Gallardo, 2005).



*Figura 2.2: Vista de la Plaza Charles de Gaulle [www.vivelafrancefr.wordpress.com](http://www.vivelafrancefr.wordpress.com).*

En 1960, se modificaron las hoy glorietas modernas (ver Figura 2.3), atribuyendo dichos cambios al ingeniero de tráfico británico Frank Blackmore. Se buscaba un método para obligar a los vehículos a controlar la velocidad en los cruces sin necesidad de usar señales. Con su método Blackmore logró, además, evitar la necesidad de usar semáforos en muchos cruces (The Times, 2008).



Figura 2.3: Ejemplo de glorieta moderna. Glorieta de la X'tabay en Mérida, Yucatán (Diario de Yucatán).

En 1966, Gran Bretaña adoptó una regla que expresa: *“Todo vehículo que quiera entrar a la glorieta deberá ceder el paso a los que ya se encuentran en ella”*. Esta regla evitó que se bloquearan este tipo de intersecciones, pues no permitía que los vehículos entrarán a la glorieta hasta que hubiera suficiente espacio en el tráfico circulante. Uno de los cambios que se hicieron fue hacer el diseño de las intersecciones circulares más pequeñas a modo de desacelerar la entrada y velocidad de los vehículos, con el fin de mejorar la seguridad de las glorietas al reducir el número y la gravedad de los accidentes (Indiana Department of Transportation, 2019).

Las Turbo glorietas nacen de una investigación realizada por Lambertus G.H. Fortuijn en el año 1996, en la Facultad de Ingeniería y Geociencias en la Universidad de Tecnología de Delft (Delft, Holanda), y fue hasta el año 2000, que se instaló en Holanda la primera turbo glorieta.

En Holanda, desde el año 2000 se han construido al menos 190 turbo glorietas. Después, países como Finlandia, Eslovenia, Noruega, Alemania, Polonia y España han adoptado este nuevo tipo de intersección.

Yperman & Immers (2003), consideran que una turbo glorieta tiene una mayor capacidad vial en comparación con una glorieta convencional de múltiples carriles.



Primeramente determinaron la capacidad de la glorieta convencional por medio del método de Bovy, y después calcularon su capacidad por micro simulación, así como de la turbo glorieta. La conclusión a la que llegaron estos investigadores fue de que una turbo glorieta de dos carriles aumenta entre un 12% a un 20% la capacidad vial en comparación a una glorieta convencional de tres carriles (Yperman & Immers, 2003), como se aprecia en la Figura 2.4.

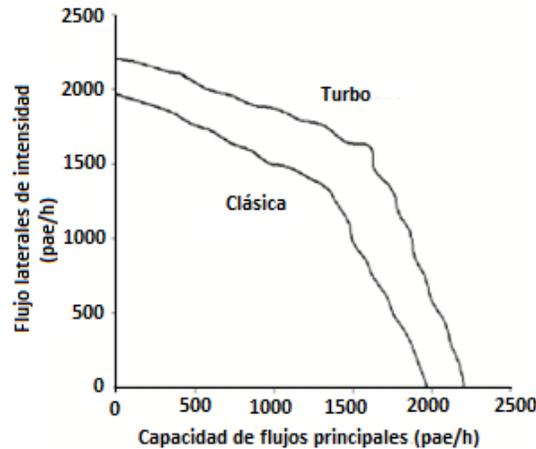


Figura 2.4: Comparación de capacidad determinada por micro simulación de una glorieta convencional y una turbo glorieta (Yperman & Immers, 2003).

Engelsman & Uken (2007), plantearon el impacto que tendría este tipo de intersecciones en las áreas urbanas de Sudáfrica, en lo que se refiere a la seguridad vial, debido a que se podría disminuir un 70% el índice de accidentes con lesiones graves (Engelsman & Uken, 2007).

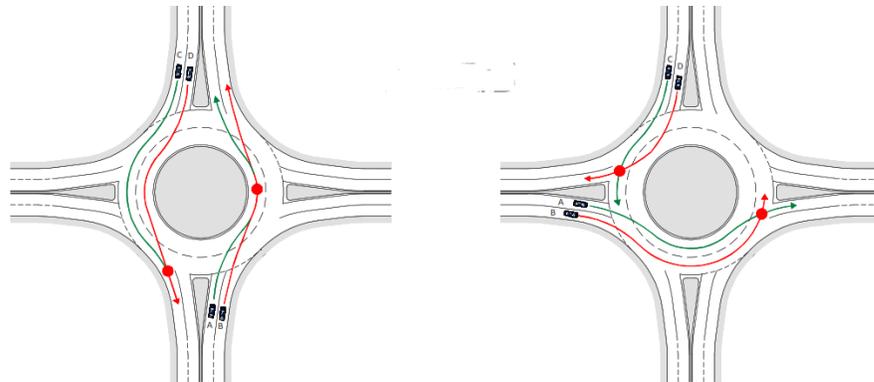
En el 2009 en Holanda se elaboró el Manual Práctico de Glorietas – Aplicación y Diseño (Murphy, 2015), siendo en el capítulo 5 donde se aborda sobre las turbo glorietas por primera vez, mencionando sus características geométricas y operativas.

Posteriormente Bastos Silva, Santos y Gaspar (2013), proporcionan ciertos criterios en cuanto al diseño geométrico basado en los manuales de Holanda y Eslovenia, así como también de experiencias prácticas. Además, compararon el rendimiento de la turbo glorieta versus una glorieta de dos carriles, apoyando su estudio en un caso real en la ciudad de Lisboa, Portugal; teniendo en cuenta los indicadores de seguridad y capacidad vial,



evaluando los niveles de capacidad real. Concluyen que las turbo glorietas ofrecen niveles más altos de seguridad, mejorando la deflexión y la reducción de puntos de conflictos, así como una reducción del 3% de la capacidad general aproximado, así como una disminución del espacio de ocupación con el diseño de la turbo glorietta, mejorando espacios para otras actividades como ciclo vías o caminos peatonales (Bastos-Silva et al., 2013).

Bastos Silva, Vasconcelos y Santos (2014), exponen que el incorrecto comportamiento de los conductores aumenta la probabilidad de accidentes y conflictos en las glorietas convencionales. En este artículo se menciona como en Portugal, alrededor del 40% de los conductores que se acercan a una glorietta en el carril derecho tienden a invadir el carril izquierdo de circulación, siguiendo una trayectoria rectilínea y un 20% de los conductores que circulan en el carril izquierdo, al llegar a la glorietta toman el carril de salida de la derecha (ver figura 2.5). Proponen a las turbo glorietas como una manera de resolver los problemas de seguridad en las glorietas de varios carriles (Bastos Silva, Vasconcelos, & Santos, 2014).



*Figura 2.5: Incorrecto Comportamiento de los conductores al tomar una glorietta (Bastos Silva, Vasconcelos, & Santos, 2014).*

En un análisis de caso de estudio en el 2016, Gallelli, Iuele y Vaiana (2016) en la ciudad de Consenza, Italia plantearon convertir una glorietta de dos carriles con cuatro entradas y un diámetro inscrito de 37.90 m a una turbo glorietta, centrando su evaluación en longitudes de cola y capacidad de entrada. Para obtener la información del volumen, los flujos de tráfico, las longitudes de cola, el tiempo de servicio y retardo utilizaron tres cámaras



en días diferentes. Una vez obtenida la información, utilizaron las ecuaciones de Bovy y Haring para el cálculo de la capacidad hipotética de la turbo glorieta que diseñaron para dicha intersección. Para confirmar el cálculo de capacidad, se usó el software Vissim 7.0, como herramienta de micro simulación. Concluyeron que el rendimiento en términos de capacidad aumenta desde un 15% hasta un 84%, dependiendo del enfoque en una turbo glorieta en comparación con una glorieta de dos carriles. Mostraron una reducción de la longitud de cola desde un 64% hasta un 90% en las entradas, por lo que una turbo glorieta puede aumentar la seguridad y el rendimiento operativo en comparación a una glorieta existente (Gallelli, Iuele, & Vaiana, 2016).

En el 2017, Pitlova y Kocianova presentaron un caso de estudio en Zilina, Eslovaquia, demostrando que dos modelos diferentes de turbo glorietas (huevo y básico) con los mismos datos de entrada, tienden a reducir el tiempo de espera para acceder a la isleta central entre un 70% y 90% en comparación a una glorieta convencional. En este caso de estudio también se menciona mejores resultados con la turbo glorieta de tipo básico que los de tipo huevo, debido a los carriles adicionales de la derecha en sus entradas (Pitlova & Kocianova, 2017).

En América Latina, Colombia fue el primer país en desarrollar e investigar este tipo de intersecciones; Bulla Cruz (2010), buscaba establecer una sistemática para diseñar y evaluar las turbos glorietas desde un punto de vista técnico-operativo como una alternativa de intersección en las calles de Bogotá, Colombia, estimando la capacidad de las glorietas involucrando su geometría, el número de carriles por ramal de entrada y de salida, el número de carriles en el anillo, etc. En la turbo glorieta que seleccionó, de acuerdo con su metodología, logró un aumento de la capacidad del 7% de la turbo glorieta respecto a la glorieta y una disminución del 22% en la valoración global del riesgo de acuerdo con la micro simulación que hizo por medio del software Vissim (Bulla Cruz, 2010).

En el 2010, se diseñó y construyó la primera turbo glorieta en Canadá (Murphy, 2015). La turbo glorieta se dio debido a la ampliación del estacionamiento del Aeropuerto



Internacional de Victoria y a la reubicación de la carretera principal a dicho aeropuerto, donde se incluía una nueva intersección que planteaba tener una glorieta (ver Figura 2.6).



Figura 2.6: Turbo glorieta en la ciudad de Victoria, Columbia Británica, Canadá (Google Earth 2019).

Alayón Barbosa y Olivos Turarrosa (2015) citaron a Werner Brilon, quien realizó una investigación en una turbo glorieta en operación en la ciudad de Banden, donde concluía que las turbo glorietas son capaces de manejar altos volúmenes en la vía principal y que no se debe permitir la circulación de ciclistas y la inclusión de cruces con peatones (Alayón Barbosa & Olivos Turarrosa, 2015). También estos autores plantean un escenario de trabajo en una intersección que tiene una alta demanda vehicular en la localidad de Usme, Colombia; concluyendo que se minimizaron la congestión vehicular en horas picos.

Posteriormente, Sanchez Osorio y Gil Angel (2016), modelaron una turbo glorieta tipo estrella en una intersección en la ciudad de Bogotá, Colombia. Las conclusiones a las que llegaron, donde la intersección elegida era catalogada como conflictiva, fue que permitía que el nivel de servicio sea A, significando que garantiza que el diseño soportaría el volumen vehicular hasta el año 2030. En lo que refiere ambientalmente, la estimación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) disminuyó un 89.15%, compuestos orgánicos volátiles (VOC) un 89.13% y por último el volumen de óxido de nitrógeno un 89.14% (Sanchez Osorio & Gil Angel, 2016).



Otro país en Latinoamérica donde se han realizado micro simulaciones de tránsito usando las turbos glorietas como una alternativa vial es Perú, donde en el año 2017 se comparó como alternativa vial una turbo glorieta y una glorieta convencional en una intersección en Lima, Perú concluyendo que puede ser una solución sostenible, con una mejora significativa de sus funcionalidad ya que presenta mejores características funcionales, tales como un mejor ordenamiento y canalización del flujo vehicular (Valenzuela Ñañez, 2017).

En México, los estados de Guerrero y Chihuahua han implementado este tipo de intersección en sus vialidades. La primera ciudad en implementarlo en su zona urbana fue Acapulco, Guerrero, fue muy criticada por profesionistas y ciudadanos debido a que los conductores mostraban confusión a la hora de entrar a esta nueva y novedosa intersección.

En la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, desde el 21 de noviembre de 2018 se comenzó la construcción del proyecto “Turbo Glorietas” en distintas intersecciones de la avenida Prolongación Pacheco, constando de 3 turbo glorietas. El titular de Obras Públicas del municipio de Chihuahua informó que serán turbo glorietas perfectamente señalizadas, por lo que el conductor deberá saber con anticipación el carril donde se incorporará. Estas glorietas tendrán circulación ordenada por lo que los conductores no podrán cambiar de carril al circular por ella, igual señaló que armonizará con el peatón ya que se incluirá semáforos peatonales (Figura 2.7) (Coordinación de Comunicación Social del Municipio de Chihuahua, 2018). A la fecha de la redacción de esta investigación se ha puesto en funcionamiento solo una turbo glorieta ubicada en el Boulevard Fuentes Mares y Prolongación Pacheco (ver Figura 2.8).



Figura 2.7: Proyecto "Turbo Glorietas" en Chihuahua, Chihuahua (Municipio de Chihuahua 2017).



Figura 2.8: Primera turbo glorietta en funcionamiento del proyecto "Turbo glorietas" en el municipio de Chihuahua, Chihuahua ([www.tiempo.com.mx](http://www.tiempo.com.mx)).

## 2.2 GLORIETAS CONVENCIONALES

Las glorietas son un tipo de intersección compuesta por una calzada generalmente circular y en algunas ocasiones elíptica, en la que todas las vías confluyen al centro de ella, el sentido de circulación es en el sentido antihorario de las agujas del reloj. Para los proyectistas este tipo de intersección minimizan los riesgos de accidentes ya que reducen la velocidad por su propio radio de curvatura. Hay tres tipos principales de glorietas: normal, mini glorietas y dobles. Las demás son variantes de estos tipos básicos: intersección anular, glorietta a distinto nivel y glorietta con semáforos (Construmática, 2009).



En una glorieta, las trayectorias de los vehículos no se cruzan, sino que convergen y divergen: por ello el número de puntos de conflicto es más reducido que en otros tipos de nudo, especialmente al aumentar el número de tramos que confluyen en la intersección (por lo que resultan especialmente adecuadas en este caso) (Luque Rodríguez & Álvarez Mántaras, 2007).

A continuación, se describirá los tipos de glorietas según su geometría para un mejor entendimiento de ellas:

- a) *Glorieta normal*. Tiene una isleta central (dotada de bordillos) de 4 m o más de diámetro, y generalmente entradas “ensanchadas” que permiten una entrada múltiple de vehículos (Luque Rodríguez & Álvarez Mántaras, 2007), ver Figura 2.9.

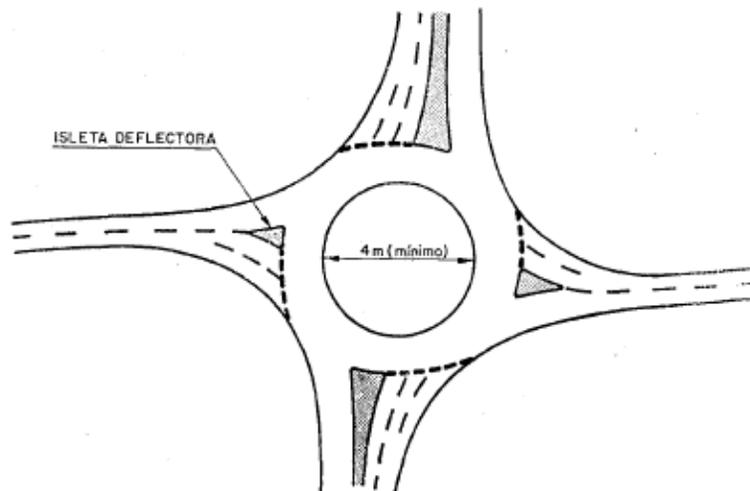


Figura 2.9: Glorieta de tipo normal según su geometría (Construmática, 2009).

El número recomendado de entradas o tramos para este tipo de glorietas es de tres o cuatro, funcionando perfectamente con diseños que tengan tres entradas, siempre y cuando la circulación se encuentre equitativa en los tramos. Cuando el número de accesos supera las 4 entradas, el conductor se ve perjudicado para su entendimiento y a su vez la glorieta tiende a ser mayor el diámetro, por lo que se desarrolla mayores velocidades.



- b) *Mini glorieta*. Al igual que en la glorieta normal, la mini glorieta cuenta con una isleta circular ya sea a nivel o levemente abultada hasta una altura máxima de 15 centímetros en su centro con un diámetro menor a 4 m, en la cual la entrada o entradas pueden estar ensanchadas o no (Luque Rodríguez & Álvarez Mántaras, 2007), ver figura 2.10.

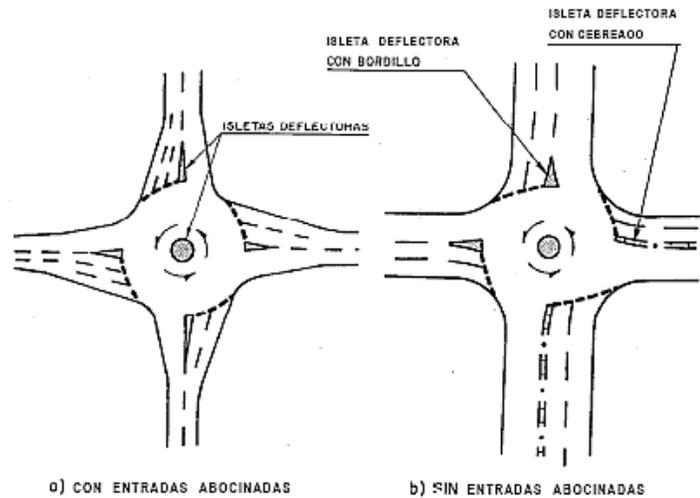


Figura 2.10: Glorieta de tipo mini glorieta según su geometría (Construmática, 2009).

Pueden ser muy efectivas para mejorar intersecciones urbanas existentes con problemas de capacidad y seguridad. Sólo deben usarse si todos los accesos tienen su velocidad limitada a 50 Km/h (Construmática, 2009).

- c) *Glorieta doble*. Es una intersección compuesta por dos glorietas normales o mini glorietas, contiguas o conectadas por un tramo de unión o por una isleta alargada materializada por un bordillo, ver figura 2.11.

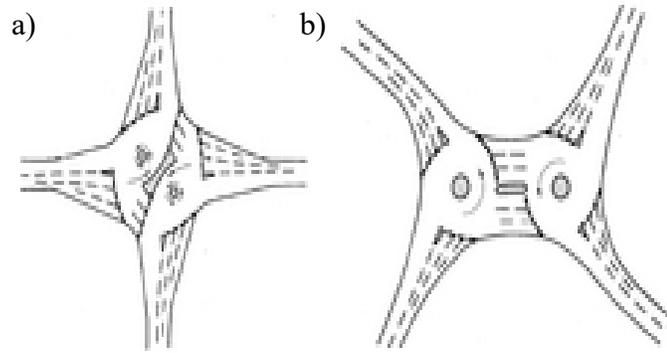


Figura 2. 11: a) Glorieta de tipo doble contigua según su geometría b) Glorieta de tipo doble con tramo de unión según su geometría (Construmática, 2009).

Este tipo de glorietas consiguen ser útiles para (Construmática, 2009):

- Unir dos carreteras paralelas separadas por un obstáculo lineal tal como un río, un ferrocarril o una autopista.
- Acondicionar intersecciones existentes separando giros a la izquierda opuestos con una ordenación de "giro a la indonesia", en donde los cambios de dirección a la izquierda tienen a realizarse transitando al frente de los vehículos que simultáneamente giran a su izquierda, sin rodearlos.
- En intersecciones asimétricas o de planta muy desviada, en las que una intersección convencional requeriría un amplio desvío de los accesos, y una glorieta normal una excesiva ocupación.
- En glorietas normales congestionadas, porque se incrementa su capacidad al reducir la intensidad más allá de las entradas críticas.
- En intersecciones con más de cuatro tramos, una glorieta doble consigue una mayor capacidad con una seguridad aceptable y un uso más eficiente del espacio, mientras que las glorietas normales son grandes y producen elevadas velocidades, con la consiguiente pérdida de capacidad y seguridad.

Las glorietas que se diseñan y construyen en México, se basan mayormente en el manual de la Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos que a su vez se fundamenta principalmente de la guía británica.



El Departamento de Transporte de Indiana, EE.UU., menciona que en las estadísticas de la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras de Estados Unidos (NHTSA, por sus siglas en inglés), se ha demostrado que las glorietas ofrecen una seguridad sustancial y beneficios operacionales en comparación con la mayoría de las otras formas y controles de intersección, con reducciones especialmente significativas en choques fatales y de número de lesionados. Se estima que un tercio de las muertes ocurren en las intersecciones de cuatro puntos, lo que para la NHTSA se calcula que 2,300 personas mueren cada año por este tipo de intersección y, alrededor de 700 personas mueren anualmente en colisiones con luz roja (Indiana Department of Transportation, 2019). Para el Departamento de Transporte de Estados Unidos las glorietas han minimizado los choques fatales, ya que el único movimiento admitido entrar y salir de una glorieta es tomando una vuelta a la derecha, por lo que, al hacer este tipo de movimiento, el tipo de colisión es menos severa en comparación a los ejemplos de las colisiones mencionadas anteriormente en este párrafo.

Las glorietas de dos carriles tienen varios puntos de conflicto en las entradas y salidas. En la mayoría de las situaciones, implica dar paso al tráfico en ambos carriles de glorieta, o que, al salir de este tipo de intersección, se complica la salida desde un carril interior, obstruyendo el paso. Al no poder salir directamente desde el carril interno sin cruzarse con el carril exterior y posteriormente salir de la glorieta, se origina un conflicto de entrelazamiento (Engelsman & Uken, 2007).

### **2.1.1 Parámetros geométricos**

Los parámetros geométricos requeridos para el funcionamiento de una glorieta convencional, se describen de la siguiente manera (ver figura 2.12) (Rubio Martín, 2004):

- a) *Isleta central.* Es el área que se ubica en el centro de la glorieta, donde en torno a esta circulan los vehículos motorizados y no motorizados. La forma de esta sección no necesariamente tiene que ser de forma circular. Este elemento generalmente, está por encima del pavimento y al interior de ella se prohíbe la



circulación; muchas veces en esta sección se instalan objetos como adornos como: estatuas y/o ornamentos.

- b) *Calzada circulatoria.* Camino en torno a la isleta central por la cual circulan los automóviles, de acuerdo con el sentido contrario a las manecillas del reloj. La anchura de la calzada debe encontrarse entre 1.0 y 1.2 veces la anchura de entrada máxima (The Department for Transport and Highways England, 2007). No debe exceder de 15 m de ancho la calzada circulatoria.
- c) *Isleta partidora.* Es el área que se sitúa entre la calzada de entrada y de la salida de cada acceso, estas definen los bordes interiores de las entradas y salidas. (Rubio Martín, 2004) Suelen encontrarse de forma elevada (guarnición) o simplemente pintadas en los pavimentos. Las funciones principales de la isleta deflectora es: separar el tránsito entrante y saliente, desviar y lentificar el tránsito entrante y provee protección a los peatones.
- d) *Diámetro del círculo inscrito.* Es el diámetro del borde exterior, es decir es el círculo más grande, se instala en el contorno de la unión de los tramos. Este diámetro no puede ser menor de 28 m ni mayor de 100 m. Para una glorieta multicarril el diámetro suele oscilar entre 46 hasta 76 m.
- e) *Calzada giratoria.* Ancho de la calzada alrededor de la isleta central, donde los automóviles circulan de acuerdo con el sentido antihorario.
- f) *Ancho de entrada.* Dimensión de la calzada en el acceso, para los vehículos que acceden. Se mide perpendicularmente a través de una línea que va desde el punto de intersección del borde interior con el diámetro del círculo inscrito hasta el borde exterior.
- g) *Ancho de salida.* Dimensión de la calzada en el acceso para los vehículos que salen. Se mide perpendicularmente a través de una línea que va desde el punto de intersección del borde interior con el diámetro del círculo inscrito hasta el borde exterior.



- h) *Ancho de aproximación*. Es el ancho original de la calzada en el acceso sin tener en cuenta las modificaciones que impone el diseño de la glorieta.
- i) *Curvatura de aproximación (Radio de entrada)*. Limite exterior e interior de la calzada del acceso en la entrada.
- j) *Curvatura de salida (radio de salida)*. Limite exterior e interior de la calzada del acceso en la salida.

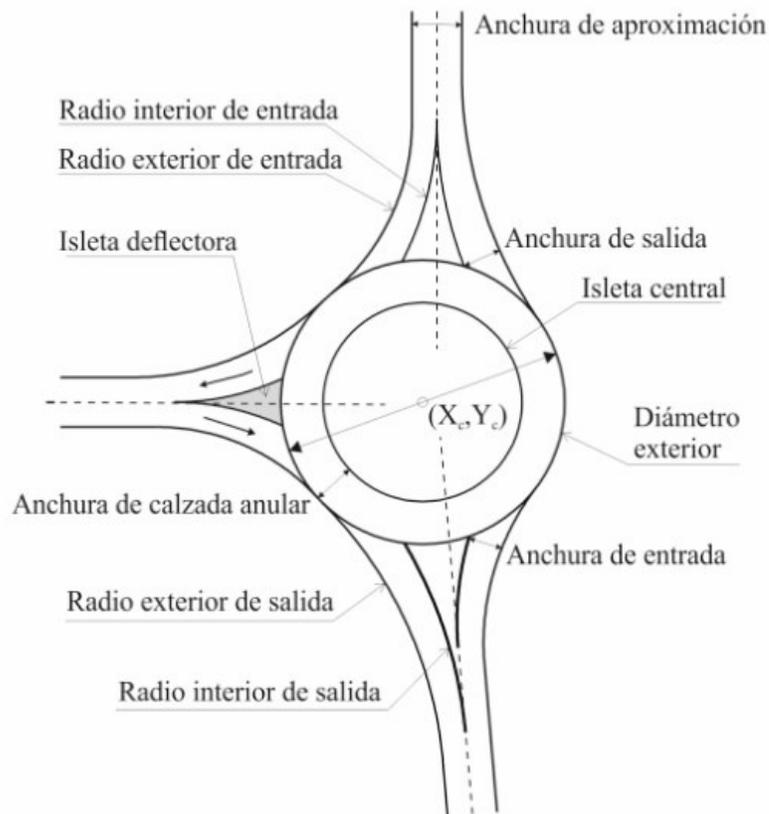
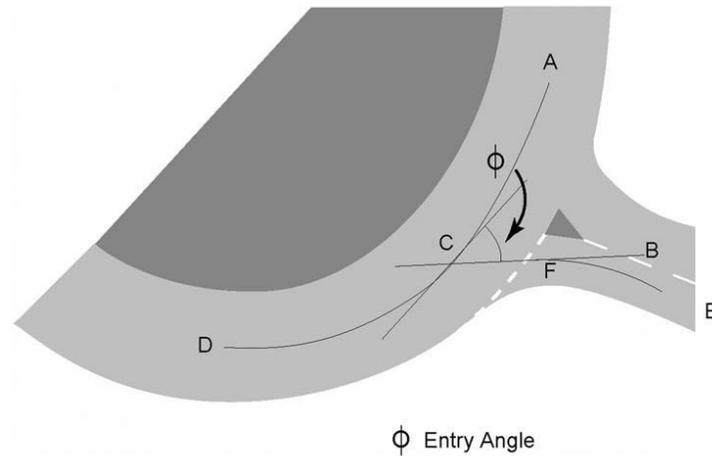


Figura 2.12: Parámetros geométricos de una glorieta ([www.glorietas.com](http://www.glorietas.com)).

- k) *Angulo de entrada*. Sirve como un proxy geométrico para el ángulo de conflicto entre una entrada y el flujo circulante de tráfico (The Department for Transport and Highways England, 2007). Dependiendo del tamaño de la glorieta se usa un método para la medición del ángulo:



Para una glorieta grande, donde los brazos están bien separados, el ángulo es medido, entre la trayectoria proyectada de un vehículo que entra y la trayectoria de un vehículo que circula. El ángulo de entrada ( $\phi$ ), es el ángulo entre BC y la tangente AD (The Department for Transport and Highways England, 2007), ver figura 2.13.



*Figura 2.13: Angulo de entrada de una glorieta grande (Departamento de transporte y carreteras de Inglaterra 2007).*

Para una glorieta normal o compacta, el ángulo de entrada se mide entre los caminos de entrada y salida proyectadas, reduciéndolo a la mitad para encontrar el valor, ver figura 2.14.

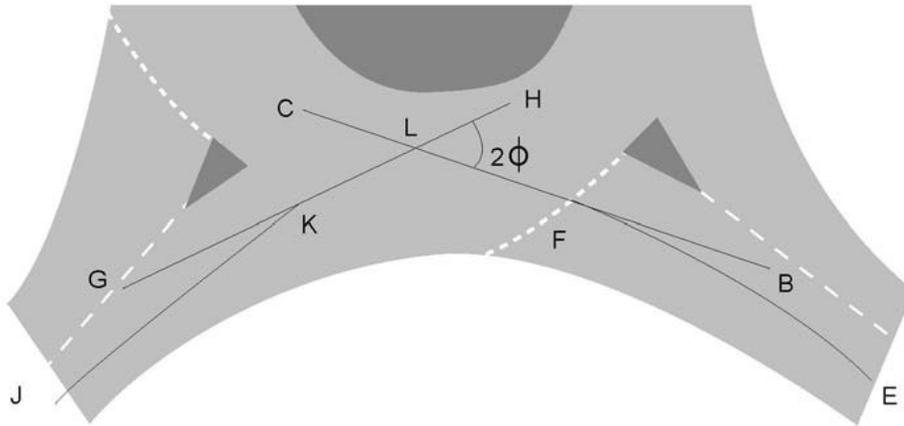


Figura 2.14: Angulo de entrada de una glorieta normal o compacta (Departamento de transporte y carreteras de Inglaterra 2007).

### 2.2.2 Determinación de índice de flujo

En las glorietas se debe determinar el índice de flujo de entrada, circulación y salida para cada brazo o ramal de la glorieta.

En Fortuijn (2009) se menciona que la capacidad de una glorieta en su conjunto se define como el flujo de circulación en el momento en el que carril de entrada más activo ha alcanzado la saturación.

*Índice de flujo de entrada.* Para obtener el flujo de conflicto de las entradas, se determina por medio del volumen de flujo que circula en oposición, en la ecuación 2.1 se muestra el cálculo para el flujo de entrada para glorietas de un solo carril, para lo que es el tramo sur (entrada hacia el Norte). Para glorietas de múltiples carriles se requieren cálculos adicionales de uso de carril (Transportation Research Board of the National Academies, 2010).

$$v_{e,NB,pce} = v_{NBU,pce} + v_{NBL,pce} + v_{NBT,pce} + v_{NBR,e,pce} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

$V_{e,NB,pce}$  = Volumen del flujo de entrada

$V_{NBU,pce}$  = Volumen del flujo vuelta en U, opuesto al de entrada en oposición.

$V_{NBL,pce}$  = Volumen del flujo que gira a la derecha, opuesto al de entrada en oposición.



$V_{NBT,pce}$  = Volumen del flujo derecho, opuesto al de entrada en oposición.

$V_{NBR,pce}$  = Volumen del flujo que gira a la izquierda, opuesto al de entrada en oposición.

*Índice de flujo circulante.* En la figura 2.15, se puede apreciar los movimientos que contribuyen a que el flujo circule hacia el norte ( $v_{c,NB}$ ), donde los movimientos que contribuyen al flujo de conflictos, son los que circulan opuesto a la entrada norte, estos movimientos de dirección son: Este directo (EBT), Este giro a la izquierda (EBL), Este giro en U (UER), Sur giro a la izquierda (SBL), Sur giro en U (SBU) y Oeste giros en U (UMC) (National Cooperative Highway Research Program , 2010).

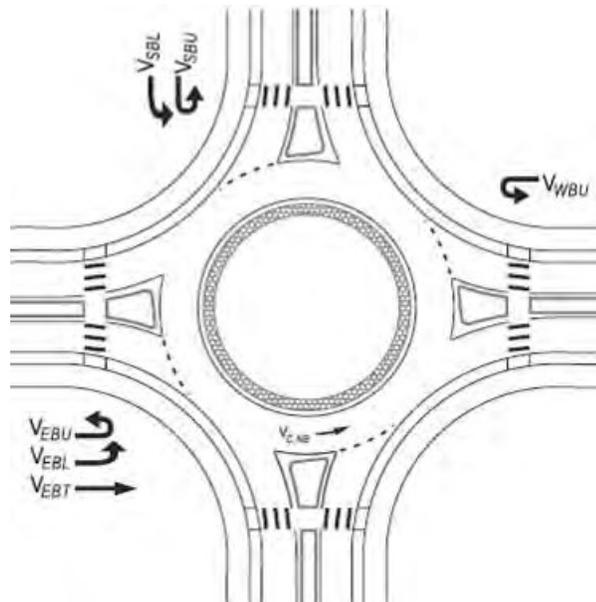


Figura 2.15: Cálculo del caudal circulante Manual de Capacidad de Carreteras 2010 (por sus siglas en inglés HCM 2010).

La ecuación 2.2, se utiliza para el cálculo del flujo circulante para una glorieta de un solo carril.

$$v_{c,NB,pce} = v_{WBU,pce} + v_{SBL,pce} + v_{SBU,pce} + v_{EBT,pce} + v_{EBL,pce} + v_{EBU,pce} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

*Índice del flujo de salida.* Es el flujo que se utiliza para el cálculo de flujo de los carriles de desvío con giro a la derecha y en la determinación de las colas en los cruces



peatonales laterales de salida (The Department for Transport and Highways England, 2007). En la figura 2.16 se muestra los movimientos que se atribuyen para el cálculo de flujo de salida en dirección sur.

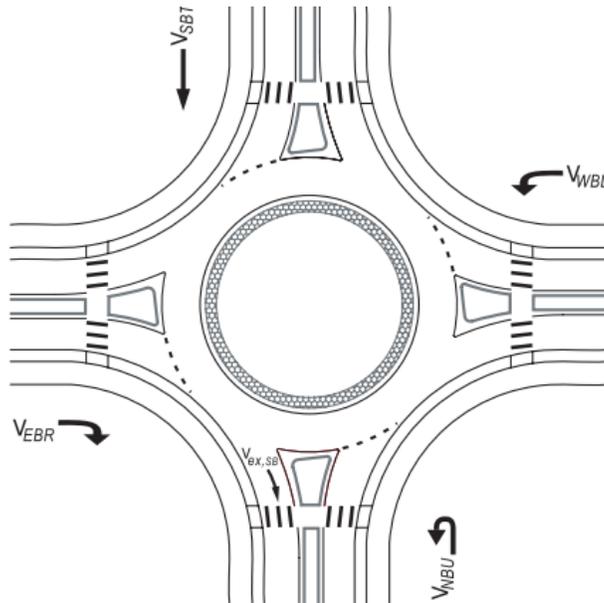


Figura 2.16: Cálculo de flujo de salida Manual de Capacidad de Carreteras 2010 (por sus siglas en inglés HCM 2010).

Se calcula este flujo sumando el flujo que saldrá en una pierna particular de la glorieta, en el caso de la ecuación 2.3 se emplea para el cálculo del flujo de salida para una glorieta de un solo carril para el tramo sur y ocurre de la misma manera dependiendo del sentido de circulación, calculándose de la siguiente manera:

$$v_{ex,NB,pce} = v_{NBU,pce} + v_{WBL,pce} + v_{SBT,pce} + v_{EBR,e,pce} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

*Capacidad de la sección de entrecruzamiento.* Esta teoría del entrecruzamiento considera la capacidad máxima en las secciones del cruce por métodos indirectos para verificar y evaluar los diseños si cumplen con la capacidad que se requiere en las intersecciones, ver Figura 2.17. Wardrop propuso la ecuación 2.4, para emplearla, el diámetro de la isleta central (D) debe ser mayor a 40 m y el ancho de la sección de los



entrecruzamientos ( $W$ ) debe estar entre 6.1 m y 18 m (Shrayteh, 2015). El Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido mejoró la ecuación de Wardrop, como se aprecia en la ecuación 2.5. El ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento ( $e$ ) se adquiere de la ecuación 2.6.

$$Q_p = \frac{280 \left(1 + \frac{e}{W}\right)}{1 + \frac{W}{L}} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$Q_p = \frac{160 / (w + e)}{W + L} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$e = \frac{e_1 + e_2}{2} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

$Q_p$  : Capacidad de la sección de entrecruzamiento, en veh/h

$W$  : Ancho de la sección de entrecruzamiento, en m

$e$  : Ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento, en m

$e_1$  : Ancho de cada entrada a la sección de entrecruzamiento, en m

$e_2$  : Ancho de entrada a la sección de entrecruzamiento, en m

$L$  : Longitud de la sección de entrecruzamiento, en m.

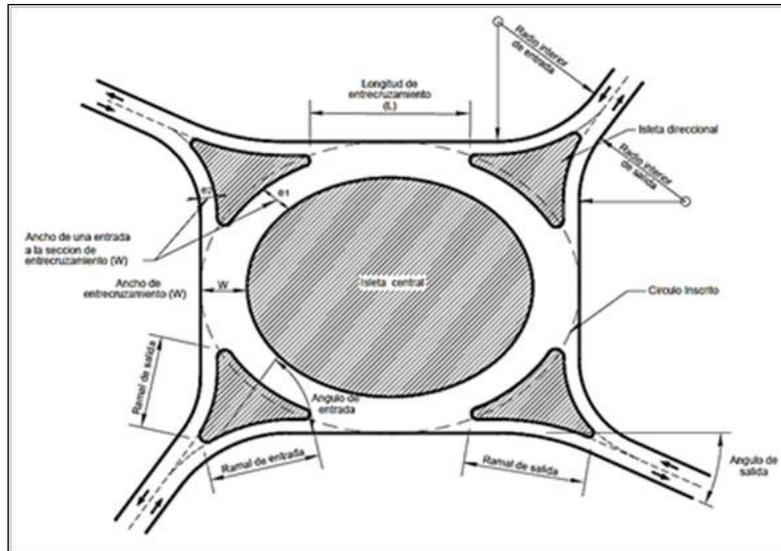


Figura 2.17: Elementos necesarios para la fórmula de Wardrop y modificado por el Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido (Valenzuela Ñañez, 2017).

### 2.3 TURBO GLORIETA

Una turbo glorieta es una glorieta de uno a tres carriles por cada calle de entrada con marcas viales en espiral y carriles separados, con el fin de que el conductor no invada el carril contiguo, el usuario que use la intersección deberá elegir el carril correcto antes de entrar en la glorieta, con el fin de que la misma geometría del carril lo lleve a la dirección deseada (Ministry of Transport, Public Works and Water Management of Holland, 2009), ver figura 2.18.



Figura 2.18: Turbo glorieta en Holanda ([www.swow.nl](http://www.swow.nl)).



Las principales características que se mencionan en el capítulo de turbo glorietas en el “Manual Glorietas – Aplicación y diseño” del Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Administración del Agua de Holanda publicado en el 2009, ver Figura 2.19:

1. Tiene más de un carril.
2. El conductor debe elegir el carril correcto antes de acceder a la turbo glorieta.
3. Para poder acceder a la turbo glorieta se debe dar paso a los vehículos que están dentro de ella, que se limita a un máximo de dos carriles por circulación.
4. Dentro de la propia glorieta no es posible cambiar de carril.
5. Sólo puede ser dejada a través de la vía elegida al entrar a la turbo glorieta.

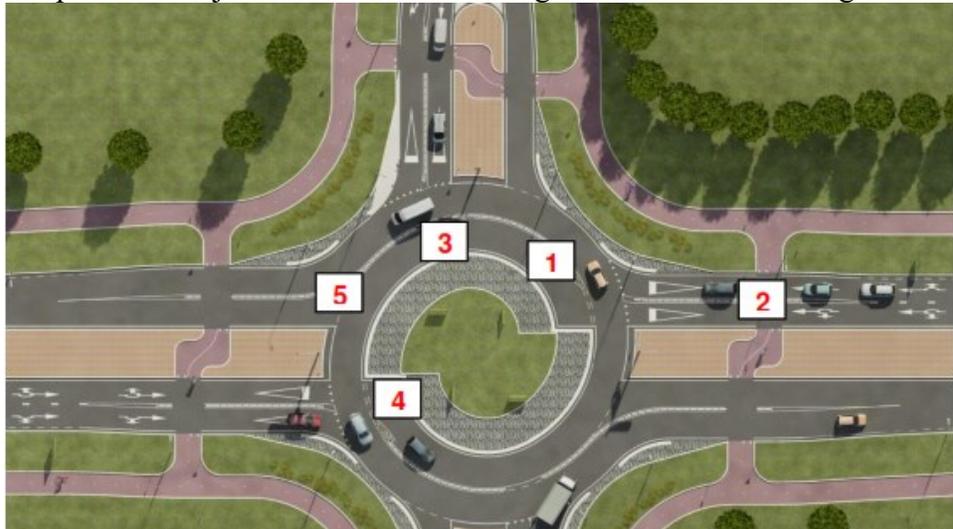


Figura 2.19: Principales características de una turbo glorieta (Ministry of Transport, Public Works and Water Management of Holland, 2009).

El comportamiento del usuario en este tipo de glorietas son resultado de los elementos físicos con los que cuenta las turbo glorietas, ya que los obstáculos que se encuentran entre los carriles definen la espiral, sirviendo para separar desde las zonas de entradas, durante la trayectoria y en las zonas de salida los carriles y así impedir los cruces habituales de las glorietas convencionales (Figura 2.20) (Valenzuela Ñañez, 2017).



*Figura 2.20: Carriles separadores (Ministry of Transport, Public Works and Water Management of Holland, 2009).*

Se ha manifestado que el diseño de una turbo glorieta puede ser de distintas maneras, y se elige de acuerdo a la función de la distribución de la demanda de tráfico y que la isleta central con frecuencia no es circular (Crow, 2008; Bastos-Silva et al., 2013)

Fortuijn (2009), menciona que las turbo glorietas se calculan con la formula modificada de Bovy, que se mencionará en el subtema de capacidad de turbo glorietas más adelante.

### **2.3.1 Parámetros geométrico**

Trabajos previos explican la forma geométrica en la calzada circulatoria está conformada por dos espirales anidados, cada uno con tres segmentos de arcos circulares con radios consecutivos más grandes, y los puntos centrales, respectivamente, en el lado izquierdo y derecho de la geométrica central circulación (Bastos-Silva et al., 2013). El radio debe ser semejante en su centro por una línea llamada eje de traslación a una distancia que asegure que la espiral se mantenga continua. El diagrama que reúne las espirales sobre el segmento del eje de traslación se le nombra “Turbo bloque”, está siendo una herramienta esencial en el diseño de las turbo glorietas, ya que representa los límites de los carriles de circulación (Bastos-Silva et al., 2013).



El turbo bloque se calcula asegurándose que la velocidad no sea superior a 40 km/h y que a su vez el desplazamiento del barrido del vehículo de diseño sea el adecuado en radio y anchuras de carril. Esto se consigue por medio de herramientas que proyectan la trayectoria del vehículo tipo (diseño) a través de la calle circulatoria, sin cruzar la parte de la isleta central o del distribuidor de líneas físicas (Bulla Cruz, 2010)

La anchura de los carriles en una turbo glorieta son amplios, cuando el radio de giro es forzoso, se introduce una holgura extra en el interior del carril que se va reduciendo a lo largo de la espiral. Para obtener el ancho adicional se deben tener cuatro puntos centrales: dos puntos a la derecha y dos puntos a la izquierda, donde la distancia de los dos puntos externos se les conoce como  $\Delta v$  mientras que a los dos puntos internos como  $\Delta u$  (Guerrieri, Marco; Ticali, Dario; Corriere, Ferdinando, 2012).

Los puntos externos se emplean para trazar los arcos internos circulares ( $R_1$ ), que constituyen el límite exterior de la isleta central; mientras, los arcos  $R_2$ ,  $R_3$  y  $R_4$  se forman a través de los puntos internos (ver Figura 2.21) (Bastos-Silva et al., 2013).

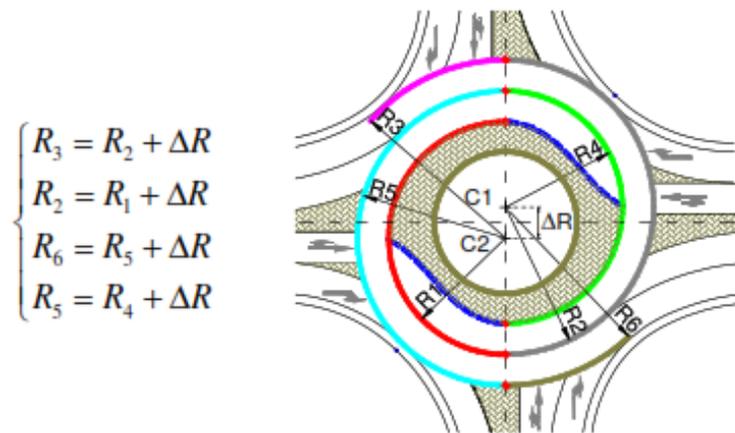


Figura 2.21: Diseño Geométrico de la turbo glorieta con respecto al turbo bloque y a los radios de la espiral (Guerrieri, Corriere, & Ticali, Turbo-Roundabouts: a Model to Evaluate Capacity, Delays, Queues and Level of Service, 2012).

Para el proceso de diseño de los arcos se comienza con las dimensiones básicas, tales como el radio interior del carril ( $R_1$ ), la anchura de los carriles de tráfico ( $L_i$  y  $L_e$ ) y la anchura del carril divisor ( $L_s$ ) (Bastos-Silva et al., 2013) (ver figura 2.22).

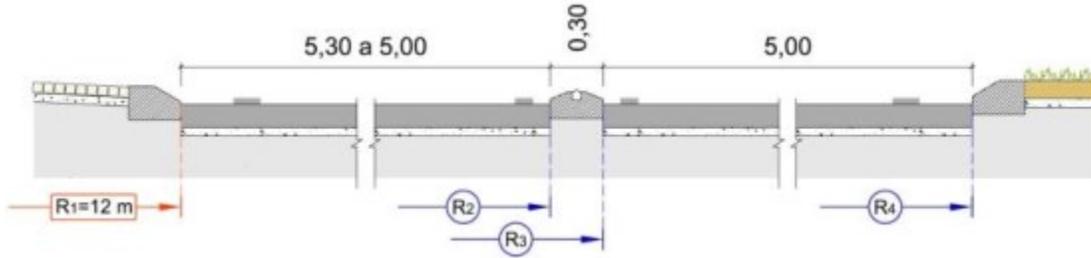


Figura 2.22: Ejemplo de Sección transversal de una turbo glorieta (Bastos-Silva et al., 2013).

En la Tabla 2.1 se presenta un ejemplo de cómo obtener las dimensiones de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  y  $R_4$  de acuerdo con las medidas de la figura 2.21:

Tabla 2.1: Cálculo de radio de los carriles (Guerrieri, Marco; Ticali, Dario; Corriere, Ferdinando, 2012).

Arco	Ancho (m)	Fórmula matemática
$R_1$	12.00	
$R_2$	$12.00 + 5.15 = 17.15$	$R_2 = R_1 + L_i$
$R_3$	$17.15 + 0.30 = 17.45$	$R_3 = R_2 + L_s$
$R_4$	$17.45 + 5.00 = 22.45$	$R_4 = R_3 + L_e$

Para seleccionar el radio óptimo para la calzada giratoria y el ancho del carril circulatorio se selecciona el que consiga que el conductor no pueda exceder los 40 km/h. (Guerrieri, Marco; Ticali, Dario; Corriere, Ferdinando, 2012). En la Tabla 2.2, se señalan los tamaños de radio ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $R_6$ ) para las turbo glorietas de tipo mini, estándar, medianos y grandes.



Tabla 2.2: Tamaño de radios en las Turbo Glorietas (Guerrieri, Marco; Ticali, Dario; Corriere, Ferdinando, 2012)

$\Delta_R = 4.20$ (Ancho de carril = 3.50 m)				
Elemento	Mini (m)	Estándar (m)	Mediano (m)	Grande (m)
R <sub>1</sub>	10.50	12.00	15.00	20.00
R <sub>2</sub>	14.70	16.20	19.20	24.20
R <sub>3</sub>	18.90	20.40	23.40	28.40
R <sub>4</sub>	10.50	12.00	15.00	20.00
R <sub>5</sub>	14.70	16.20	19.20	24.20
R <sub>6</sub>	18.90	20.40	23.40	28.40
$\Delta_R = 4.45$ (Ancho de carril = 3.75 m)				
R <sub>1</sub>	10.50	12.00	15.00	20.00
R <sub>2</sub>	14.95	16.45	19.45	24.45
R <sub>3</sub>	19.40	20.90	23.90	28.90
R <sub>4</sub>	10.50	12.00	15.00	20.00
R <sub>5</sub>	14.95	16.45	19.45	24.45
R <sub>6</sub>	19.40	20.90	23.90	28.90
$\Delta_R = 4.70$ (Ancho de carril = 4.00 m)				
R <sub>1</sub>	10.50	12.00	15.00	20.00
R <sub>2</sub>	15.20	16.70	19.70	24.70
R <sub>3</sub>	19.90	21.40	24.40	29.40
R <sub>4</sub>	10.50	12.00	15.00	20.00
R <sub>5</sub>	15.20	16.70	19.70	24.70
R <sub>6</sub>	19.90	21.40	24.40	29.40



Debido a que el ancho de los carriles es constante, la curva tiene que estar definida por un movimiento constante y tiene que estar a la par con la separación transversal de los carriles (Guerrieri, Marco; Ticali, Dario; Corriere, Ferdinando, 2012).

Los arcos de la turbo glorieta se desarrollan a partir de la espiral de Arquímedes (ver Figura 2.23), que se define como el lugar geométrico de los puntos del plano cuya distancia a un punto fijo (polo) es proporcional a su ángulo polar (Escuela Técnica Superior de Edificación, 2016).

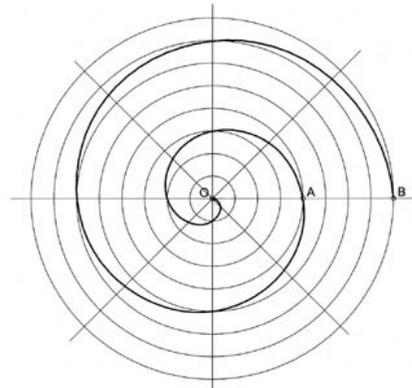


Figura 2.23: Espiral de Arquímedes (upm.es.).

La ecuación matemática de la espiral de Arquímedes es:

$$R = a * \theta \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde:

R = Distancia Radial desde el origen

a = Medida de la curva

$\theta$  = Angulo polar

Como se mencionó anteriormente, los parámetros importantes que determinan el rendimiento de una turbo glorieta son los radios de los diferentes arcos circulares y los anchos de carril (Ministry of Transport, Public Works and Water Management of Holland, 2009). Las observaciones de los investigadores desde la construcción de la primera turbo glorieta en Holanda, han concluido que la velocidad en la glorita es más baja cuando el radio de la curva



interior del carril interior es de aproximadamente 12 m (Ministry of Transport, Public Works and Water Management of Holland, 2009). En la Tabla 2.3 se exponen los parámetros de los elementos claves para una turbo glorieta de tipo Básica, Huevo (*Egg*), Rodilla (*Knee*) y Espiral (*Spiral*).

*Tabla 2.3. Radios y medidas para turbo glorietas de tipo Básico, Huevo, Rodilla y Espiral (Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009).*

Características	Radios y Medidas			
R <sub>Interno</sub> del carril interno (Todos los diseños) R <sub>1</sub> (m)	10.50	12.00	15.00	20.00
R <sub>Externo</sub> de la parte interna de la calzada (Todos los diseños) R <sub>2</sub> (m)	15.85	17.15	20.00	24.90
R <sub>Interno</sub> de la parte externa de la calzada (Básica, Huevo y Espiral) R <sub>3</sub> (m)	16.15	17.45	20.30	25.20
R <sub>Externo</sub> de la parte externa de la calzada (Básica, Huevo y Espiral) R <sub>4</sub> (m)	21.15	22.45	25.20	29.90
Ancho interno de la calzada (m)	5.35	5.15	5.00	4.90
Ancho externo de la calzada (m)	5.00	5.00	4.90	4.70
Ancho carril interno (m)	4.70	4.50	4.35	4.25
Ancho carril externo (m)	4.35	4.35	4.25	4.05
Separador de carriles entre los carriles de conducción (m)	0.30	0.30	0.30	0.30
Desplazamiento de los arcos centrales internos a lo largo del eje de traslación (m)	5.75	5.35	5.15	5.15
Desplazamiento de los arcos centrales externos a lo largo del eje de traslación (m)	5.05	5.05	4.95	4.75
Mayor diámetro (m)	47.35	49.95	55.35	64.55
Menor diámetro (m)	42.60	45.18	50.64	59.99
R, entrada y salida de la curva (m)	10.00	10.00	10.00	10.00
R, entrada del divisor del carril en la curva (m)	12.00	12.00	12.00	12.00
R, Salida del divisor del carril en la curva	15.00	15.00	15.00	15.00
Ancho, zona de rebasamiento para vehículos con una longitud de 22 m a 27 m	5.00	5.00	5.00	5.00
Velocidad (Km/h)	37 – 41	37 – 39	38 – 39	40

Para turbo glorietas de tipo Rotor y Estrella, se cuentan con los siguientes parámetros de elementos, ver tablas 2.4 y 2.5 respectivamente.



Tabla 2. 4: Radios y medidas para turbo glorietas de tipo Rotor (Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009).

Características	Radios y Medidas		
R <sub>Interno</sub> del carril interno <b>R<sub>1</sub></b> (m)	12.00	15.00	20.00
R <sub>Externo</sub> del carril interno <b>R<sub>2</sub></b> (m)	17.25	20.15	24.95
R <sub>Interno</sub> del carril central <b>R<sub>3</sub></b> (m)	17.55	20.45	25.25
R <sub>Externo</sub> del carril central <b>R<sub>4</sub></b> (m)	22.55	25.35	29.95
R <sub>Interno</sub> del carril externo <b>R<sub>5</sub></b> (m)	22.85	25.65	30.25
R <sub>Externo</sub> del carril externo <b>R<sub>6</sub></b> (m)	27.80	30.50	34.90
Separador de carriles entre los carriles de conducción (m)	0.30	0.30	0.30
Distancia entre los puntos medios externos del eje de traslación (m)	5 * 5	4.9 * 4.9	4.7 * 4.7
Distancia entre los puntos medios internos del eje de traslación (m)	5.6 * 5.6	5.5 * 5.5	5.3 * 5.3
R, entrada y salida de la curva (m)	10.00	10.00	10.00
R, entrada del divisor del carril en la curva (m)	12.00	12.00	12.00
R, Salida del divisor del carril en la curva (m)	15.00	15.00	15.00
Área de desbordamiento de ancho de vehículos con una longitud de 22 m a 27 m	5.00	5.00	Máx. 5.00
Velocidad (Km/h)	37 - 39	38 - 39	40

Tabla 2. 5: Radios y medidas para turbo glorietas de tipo Estrella (Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009).

Características	Radios y Medidas
R <sub>Interno</sub> del carril interno <b>R<sub>1</sub></b> (m)	12.00
R <sub>Externo</sub> del carril interno <b>R<sub>2</sub></b> (m)	17.10
R <sub>Interno</sub> del carril central <b>R<sub>3</sub></b> (m)	17.40
R <sub>Externo</sub> del carril central <b>R<sub>4</sub></b> (m)	22.30
R <sub>Interno</sub> del carril externo <b>R<sub>5</sub></b> (m)	22.60
R <sub>Externo</sub> del carril externo <b>R<sub>6</sub></b> (m)	27.30
Separador de carriles entre los carriles de conducción (m)	0.30
Distancia entre los puntos medios externos del eje de traslación (m)	5 * 5
Distancia entre los puntos medios internos del eje de traslación. (m)	5.6 * 5.6 * 5.6
R, entrada y salida de la curva (m)	10.00
R, entrada del divisor del carril en la curva (m)	12.00
R, Salida del divisor del carril en la curva (m)	15.00
Área de desbordamiento de ancho de vehículos con una longitud de 22 m a 27 m	5.00



Los separadores de carriles (ver Figura 2.24), se utilizan para mantener dentro de su carril definitivo a los automóviles, los carriles en la espiral y los carriles de entrada de cada brazo de la intersección están separadas por un pequeño obstáculo de 0.30 m de ancho y 0.07 m de alto. Otras de sus funciones es que el vehículo se encauce en las curvas durante los periodos de poco tráfico (Ministry of Transport, Public Works and Water Management of Holland, 2009).



*Figura 2.24: Vista del separador de carriles (Murphy, 2015).*

El separador se hace evidente desde el carril de entrada, ya en la glorieta, el separador de carril cuenta con una isla divisoria. Esta isla es una pequeña isla triangular nombrada “rana” (ver Figura 2.25), esta no solo ayuda a guiar al automovilista mientras circula por la glorieta, sino que también guía el tráfico en el carril derecho de la calle de aproximación al descartar visualmente, abriéndose al carril más interno de la rotonda (Fortuijn, 2003).



*Figura 2.25: Inicio del separador de carril en la espiral, nombrado rana (Murphy, 2015).*



Estos canalizadores son esenciales para asegurar la operación esperada, estas pueden ser conformados por canalizadores montables, permitiendo el sobrepaso a los vehículos en un acontecimiento de emergencia. En ocasiones solamente se encuentran señalados por medio de pintura de tráfico color blanco en el pavimento (Bulla Cruz, 2010). En México se cuenta con empresas con experiencia en suministrar canalizadores montables de diferentes tipos.

### **2.3.2 Tipos de Turbo glorietas**

Las turbo glorietas cuentan con cinco diferentes formas para aquellas de cuatro brazos o tramos, y para las de tres brazos solo cuenta con dos tipos. Esto se obtiene a partir del número de carriles de entradas y salidas de los brazos. La turbo glorietta principal en el cual surgen las diferentes variantes es la turbo glorietta básica. Para la elección óptima del tipo de turbo glorietta a emplearse en las intersecciones donde se pretende proyectar y edificar, se precisa conocer la capacidad, demora promedio, requerimientos de espacio y los movimientos de flujo del tráfico de la intersección (Fortuijn, 2009).

En la Figura 2.26 se aprecia los tipos de turbo glorietas que se usan para intersecciones con tres y cuatro brazos o ramales.

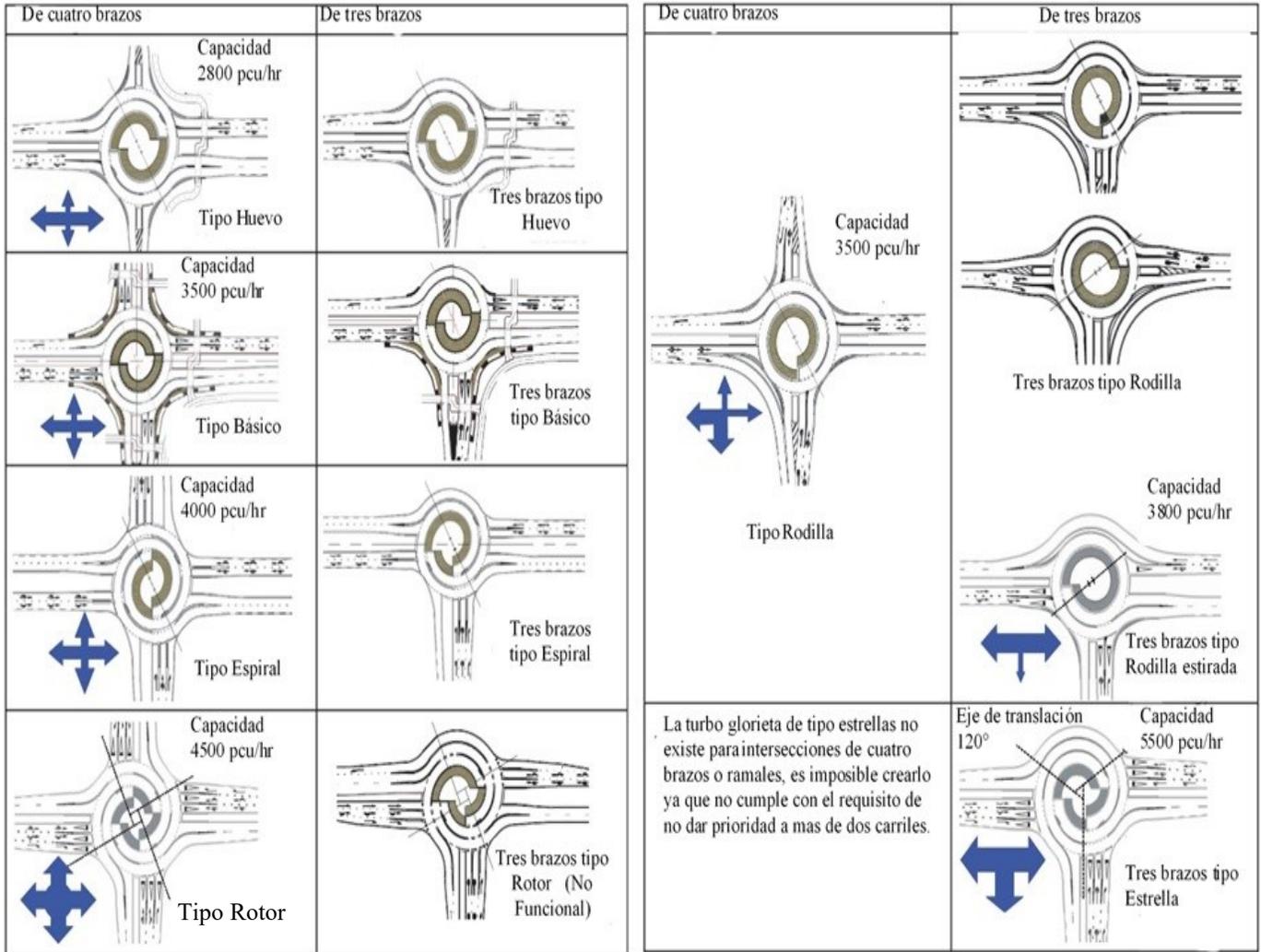


Figura 2.26: Tipos de turbo glorietas para intersecciones de tres o cuatro ramales o brazos (Fortuijn, 2009).

### 2.3.3 Cálculo de capacidad de la Turbo glorieta

(Fortuijn, 2009) presentan atributos fundamentales según los parámetros, para calcular la capacidad de la turbo glorietas. El cálculo de la capacidad de la turbo glorieta fue desarrollado y modificado por Fortuijn en 1997 (Valenzuela Ñañez, 2017).

En ocasiones se puede presentar un pseudoconflicto debido a que el diseño está basado en el modelo de Bovy, que considera carriles separados (Valenzuela Ñañez, 2017). Debido a la estructura lineal del modelo de turbo glorieta, no se toma en cuenta las propiedades multicarril de la misma en el buen sentido, por lo que el enfoque de aceptación



de brecha para calibrar parámetros no es suficiente debido a que el pseudoconflicto no se toma en cuenta (Valenzuela Ñañez, 2017).

El modelo de Bovy modificado de 1997, contempla la separación del tráfico que se manifiesta en la calzada giratoria de las turbo glorietas (Ecuación 2.8 para el carril izquierdo y Ecuación 2.9 para el carril derecho) por medio de canalizaciones. Este modelo se formuló para poder obtener la capacidad de los dos carriles de entrada conectados a un fragmento de la turbo glorietta que cuenta con dos carriles, ver Figura 2.27.

$$Q_{RSU} = Q_{RU} + d_{11} * Q_{S1} (+d_{12} * Q_{S2}) \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$Q_{RSU} = Q_{RU} - d_{21} * Q_{S1} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

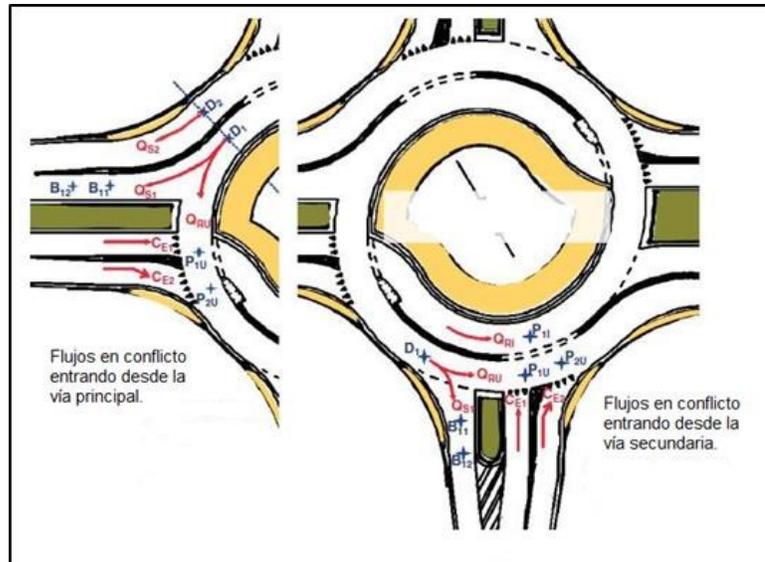


Figura 2.27: Definición de flujo de tráfico y puntos de conflicto en una turbo glorietta (Fortuijn, 2009).

Donde:

$Q_{RSU}$ : Volumen del tráfico en el carril circulatorio exterior de la calzada circulatoria.

$d$ : Factor de pseudoconflicto

$C_{E1}$ : Capacidad del carril de entrada izquierdo

$C_{E2}$ : Capacidad del carril de entrada derecho

$Q_{RI}$ : Volumen vehicular en el carril interno de la calzada giratoria



$Q_{RU}$ : Volumen vehicular en el carril externo de la calzada giratoria

$Q_{S1}$ : Volumen vehicular en el carril de salida izquierdo

$Q_{S2}$ : Volumen vehicular en el carril de salida derecho

$P_{1u}$ : Punto de ingreso del carril izquierdo de entrada en el carril externo del aro circulatorio

$P_{2u}$ : Punto de convergencia del carril derecho de entrada en el carril externo del aro circulatorio

$D_1$ : Punto de salida desde el carril izquierdo

$D_2$ : Punto de salida desde el carril derecho

$B_{11}$ : Punto del carril izquierdo de salida a la misma distancia desde  $D_1$  a  $P_{1u}$

$B_{12}$ : Punto del carril izquierdo de salida a la misma distancia desde  $D_1$  a  $P_{2u}$

#### **2.3.4. Modelos determinísticos para la capacidad de la turbo glorietta**

Existen actualmente tres modelos para determinar la capacidad de las turbo glorietas, esos son:

- Modelos basados en flujos en conflicto,
- Modelos de aceptación de brechas; y
- Modelos de simulación

##### **2.3.4.1. Modelos basados en flujos en conflicto**

Estos modelos son conocidos como modelos empíricos. La relación (lineal o exponencial) entre la capacidad de la entrada y la tasa de flujo en la calzada de giro se determina por observaciones de capacidad (Fortuijn, 2009).

Las ventajas de estos modelos son:

- Las mediciones realizadas en condiciones de flujo saturado pueden utilizarse directamente.
- La influencia de los pseudoconflicto puede ser tenida en cuenta.



Las desventajas son:

- La relación entre el volumen de entrada y el volumen en la calzada giratoria puede estimarse sólo bajo condiciones de flujo saturado.
- Sólo se pueden calibrar relaciones simples entre la capacidad y el volumen vehicular en la glorieta, debido al gran número de variables implicadas.

#### **2.3.4.2. Modelo de aceptación de brecha.**

Estos modelos también tienen una estructura macroscópica. Sin embargo, la teoría subyacente se basa en el análisis del comportamiento de los conductores que entran en un flujo de tráfico importante (Fortuijn, 2009).

Los conductores necesitan buscar por brechas entre vehículos los que están dispuestos a aceptar y también tendrán que considerar otros conductores que tienen alta prioridad, este procedimiento es definido como aceptación de brecha. Una brecha entre dos vehículos es la distancia entre el parachoque posterior del primer vehículo y parachoque frontal del segundo vehículo y es usualmente medido en segundos (Irvine & Randahl, 2010); (Valenzuela Ñañez, 2017)).

Las variables primordiales incluyen (Irvine & Randahl, 2010); (Valenzuela Ñañez, 2017)):

- A. Brecha crítica  $t_c$  (En inglés *Critical Gap*). Es la brecha más corta que un conductor puede aceptar cuando cruza o confluya dentro de un flujo de tráfico en conflicto. Todas las brechas menores a la brecha crítica serían rechazadas y todas las brechas mayores que o igual a la brecha crítica serían aceptadas, ver Figura 2.28.

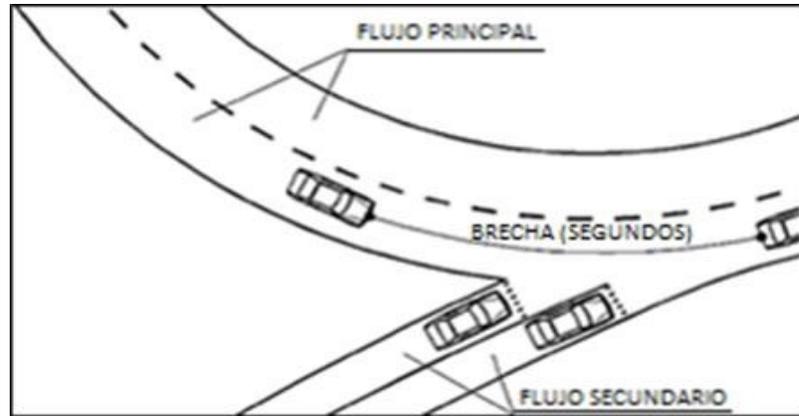


Figura 2.28: Brecha Crítica  $t_C$  (Valenzuela Ñañez, 2017).

B. Intervalo de seguimiento  $t_f$  (en inglés *Follow-up*). Es el avance entre los vehículos entrantes. El tiempo de seguimiento puede solamente ser medido cuando hay una situación de cola. Si más de un vehículo de un flujo secundario utiliza una brecha, entonces los vehículos subsiguientes son conocidos como seguimiento, ver Figura 2.29.

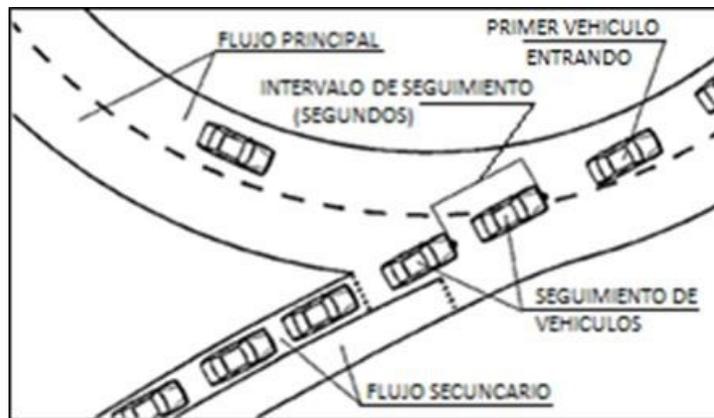


Figura 2.29: Intervalo de seguimiento  $t_f$  (Valenzuela Ñañez, 2017).

C. Intervalo de tiempo mínimo  $t_h$  (en inglés *distribution Headway*). Es el tiempo entre dos vehículos sucesivos y es medido del parachoque del primer vehículo al parachoque frontal del siguiente vehículo, ver Figura 2.30. La distribución de intervalo mínimo se usa para describir el flujo en los diferentes flujos de tráfico. Esto generalmente se describe como una distribución exponencial negativa.

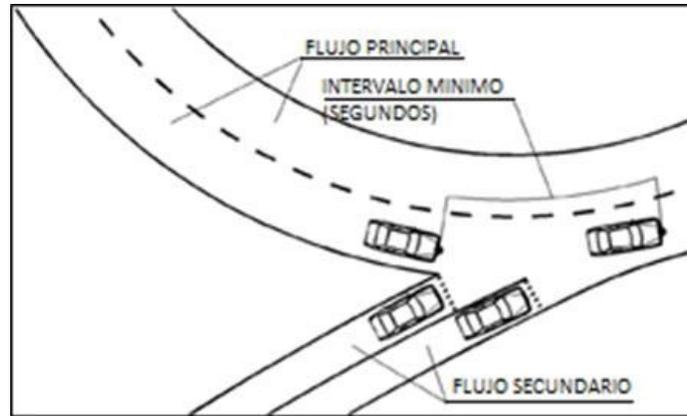


Figura 2. 30: Intervalo de tiempo mínimo  $t_h$  (Valenzuela Ñañez, 2017) .

En 1962, Tanner propuso el primer modelo de aceptación de brechas, en la ecuación 2.10 se expresa el modelo de Tanner.

$$C_E = Q_R \frac{(1 - q_R * t_M) e^{-q_R(t_C - t_h)}}{1 - e^{-q_R * T_f}} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

$C_E$ : Capacidad de la entrada (equivalente/h o equivalente/seg)

$Q_R, q_R$ : Volumen vehicular en la calzada giratoria (equivalente/h o equivalente/seg).

$t_C$ : Brecha Crítica (segundos/vehículos equivalentes)

$t_f$ : Tiempo de seguimiento (segundos/vehículos equivalentes)

$t_h$ : Intervalo mínimo (segundos/vehículos equivalentes)

El modelo dividió el flujo de la calzada giratoria en una parte fija (parte sin brechas significativas entre vehículos sucesivos) y una parte con brechas donde puede converger el tráfico proveniente de los ramales de entrada (Bulla Cruz, 2010).

Siegloch (1973) simplificó la versión de Tanner, asumiendo una distribución de Poisson no agrupada de los vehículos entrantes y usando una función discreta continua para representar brechas amplias (Valenzuela Ñañez, 2017). En la ecuación 2.11 se expresa el modelo simplificado de Siegloch y en la ecuación 2.12 la obtención del valor de  $T_0$ .

$$C_E = \frac{3600}{t_f} e^{-q_R * q T_0} \quad \text{Ecuación 2.11}$$



$$T_0 = t_c + \frac{1}{2}t_f \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde:

$C_E$ : Capacidad de la entrada (equivalente/h o equivalente/seg)

$q_R$ : Volumen vehicular en la calzada giratoria (equivalente/h o equivalente/seg)

$t_c$ : Brecha Crítica (segundos/vehículos equivalentes)

$t_f$ : Tiempo de seguimiento (segundos/vehículos equivalentes)

Troutbeck (1984) publicó un modelo basado en el modelo M3 propuesto por Cowan (1975), con el propósito de representar la variabilidad de formas de agrupación de los vehículos en los movimientos del tráfico (Bulla Cruz, 2010). En la ecuación 2.13 se expone la expresión de Troutbeck y en la ecuación 2.14 se expresa el cálculo de la intensidad del tráfico en la calzada giratoria, tomando el número de vehículos agrupados.

$$C_E = 3600 \frac{\alpha * q_R * e^{-\lambda(t_c - t_h)}}{1 - e^{-\lambda * t_f}} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

$$\lambda_R = \frac{\alpha * q_R}{1 - q_R * t_h} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Donde:

$C_E$ : Capacidad de la entrada (equivalente/h o equivalente/seg)

$q_R$ : Volumen vehicular en la calzada giratoria (equivalente/h o equivalente/seg)

$t_c$ : Brecha Crítica (segundos/vehículos equivalentes)

$t_f$ : Tiempo de seguimiento (segundos/vehículos equivalentes)

$t_h$ : Proporción de vehículos libres (vehículos equivalentes)

$\lambda_R$ : Volumen de tráfico en la calzada giratoria ajustado por el número de vehículos agrupados (equivalente/h)

Troutbeck, derivó el modelo de Tanner sustituyendo  $\alpha = (2 - qtM)$  para la proporción de vehículos libres en el modelo de Cowan, siendo  $\lambda = q$ .



En 1991, Fisk amplió el modelo de Tanner para glorietas multicarril, en la ecuación 2.15 se muestra la diferenciando entre intensidades y brechas críticas de corrientes individuales de la calzada circulatoria.

$$C_E = Q_R \frac{(1-q_{R1}*t_h)(1-q_{R2}*t_h)...(1-q_{Rn}*t_h)}{1-e^{-q_r*t_f}} e^{-\sum_i q_{Ri}(t_{CI}-t_h)} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Donde:

$C_E$ : Capacidad de la entrada (equivalente/hr o equivalente/seg)

$Q_R$ : Volumen vehicular en la calzada giratoria (equivalente/hr o equivalente/seg)

$q_{Ri}$ : Volumen vehicular en el carril (vehículos equivalentes por segundo)

$t_C$ : Brecha Crítica (segundos/vehículos equivalentes)

$t_f$ : Tiempo de seguimiento (segundos/vehículos equivalentes)  $t_h$ : Proporción de vehículos libres (vehículos equivalentes)

Hagring en 1998 presentó una generalización de modelos de aceptación de brecha, extendiendo el modelo de Troutbeck, en la ecuación 2.16 y 2.17 se proporciona las expresiones de Hagring.

$$C_E = \Lambda_R \prod_j (1 - q_{Rj} * t_{Mj}) \frac{e^{-\sum_l \lambda_{Rl}(t_{Cl}-t_M)}}{1-e^{-\sum_m \lambda_{Rm}*F_m}} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

$$\lambda_{Rj} = \frac{\alpha_j * q_{Rj}}{1 - q_{Rj} * t_M} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Donde:

$C_E$ : Capacidad de la entrada (equivalente/h o equivalente/seg)

$\lambda_{Rj}$ : Flujo en la calzada giratoria en el carril j, ajustado por el agrupamiento de vehículos (equivalentes/seg)

$\Lambda_R$ : 3600

$\sum_i \lambda_{Ri}$ : Volumen vehicular ajustado en la calzada circulatoria (equivalentes/segundos)

$t_{Cj}$ : Brecha Crítica para el carril j de la calzada giratoria (segundos/vehículos equivalentes)



$t_{ij}$ : Tiempo de seguimiento dependiendo del carril  $j$  de la calzada giratoria en el que el vehículo entrante debe converger (segundos/vehículos equivalentes)  $J$ ,  $I$  y  $m$ : índices para los carriles de la calzada giratoria (difieren en forma matemática y representan, de forma repetida, los mismos carriles)

Debido a que en México no se cuenta con turbo glorietas, los parámetros de aceptación de brechas para turbo glorietas se han obtenido del artículo publicado en el 2009 “Estimación de la capacidad para turbo glorietas” de Fortuijn, estos valores se obtuvieron de estudios en campo de turbo glorietas existentes en Holanda, gracias a ello, es posible validar modelos de simulación.

#### **2.3.4.3. Modelo de simulación.**

Este tipo de modelo se maneja con el fin de estudiar el comportamiento de los conductores en el tránsito, con características espaciales y temporales, es decir, ocupan un espacio y se producen en un intervalo de tiempo (Valenzuela Ñañez, 2017). Existen dos tipos de modelaciones: microscópica y mesoscópica. En la modelación microscópica el cálculo se produce a nivel de un vehículo en particular. La modelación mesoscópica se diseña para la asignación de tráfico de carácter dinámico y para la predicción del tráfico en tiempo real.

Ambas se consideran modelos matemáticos que precisan el uso de softwares especializados para la representación y simulaciones de eventos de tránsito en una infraestructura de transporte durante periodos definidos (Valenzuela Ñañez, 2017).

#### **2.3.5 Puntos de Conflicto**

Los puntos de conflicto en una turbo glorietta se reducen en comparación a una glorietta convencional debido a su geometría. Un ejemplo de la disminución de puntos de conflicto se aprecia en la Figura 2.31 de una glorietta convencional de dos carriles cuenta con 16 puntos de conflicto y la turbo glorietta de tipo básico solo con 10 puntos de conflicto (Bulla Cruz, 2010).



Se reconocen tres tipos de conflictos (Bulla Cruz, 2010):

- *Conflicto por entrada*: concierne a un vehículo que circula por cualquier carril de la vialidad y que entra en un conflicto con un auto de cualquier carril de la calzada circulante.
- *Conflicto por entrecruzamiento*: concierne a un vehículo que circula por el carril interno de la glorieta y que pretende abandonar la calzada circulante, entrando en conflicto con un vehículo que circula por el carril externo de la calzada anular; este segundo automóvil no pretende salir de la intersección, sino que, avanza hacia otro ramal de salida diferente al que busca el primer vehículo.
- *Conflicto por salida*: concierne a un automóvil que pretende salir de la calzada circulatoria desde un carril interno, justo en frente del ramal de salida, sin entrecruzarse, entrando en conflicto con un vehículo que circula por el carril externo de la calzada circulatoria, y que podría o no intentar salir de la intersección.

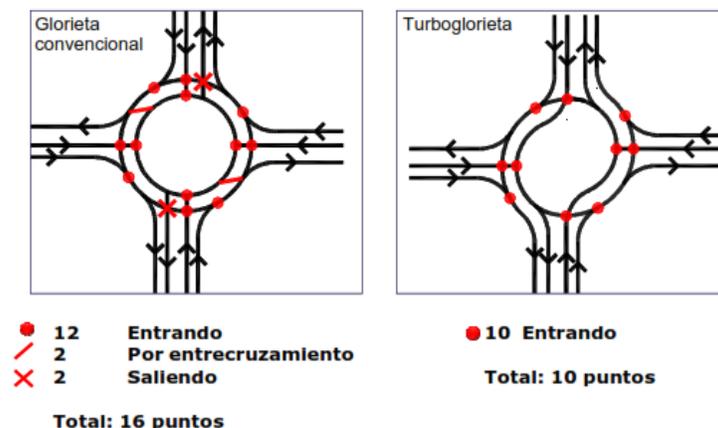


Figura 2.31: Comparación de Puntos de conflicto de una glorieta convencional vs turbo glorieta de tipo básica (Bulla Cruz, 2010).

Como se puede observar los puntos de conflicto en una turbo glorieta mayormente es en la entrada, mientras que los conflictos en entrecruzamientos y salidas se eliminan

totalmente en la turbo glorieta, debido a la canalización de los carriles por medio de los separadores (Bulla Cruz, 2010).

### 2.3.6 Señalización vial

Para que una turbo glorieta sea segura para el usuario y eficaz, debe de contar con una buena señalización tanto horizontal como vertical antes de llegar al carril confinado, permitiendo al conductor elegir con anticipación el carril deseado de tal que alcance avanzar a la dirección anhelada. Estos señalamientos deben ser fáciles de entender y perceptibles para el ojo de los conductores (Ministry of Transport, Public Works and Water Management of Holland, 2009).

El marcado del señalamiento horizontal es primordial para aseverar que el conductor entienda las rutas disponibles con las que cuenta cada carril de la turbo glorietas. Estas marcas se usan solo en los carriles de entrada a la turbo glorieta y son flechas direccionales tipo curvo, ver Figura 2.32 y 2.33 (Valenzuela Ñañez, 2017).

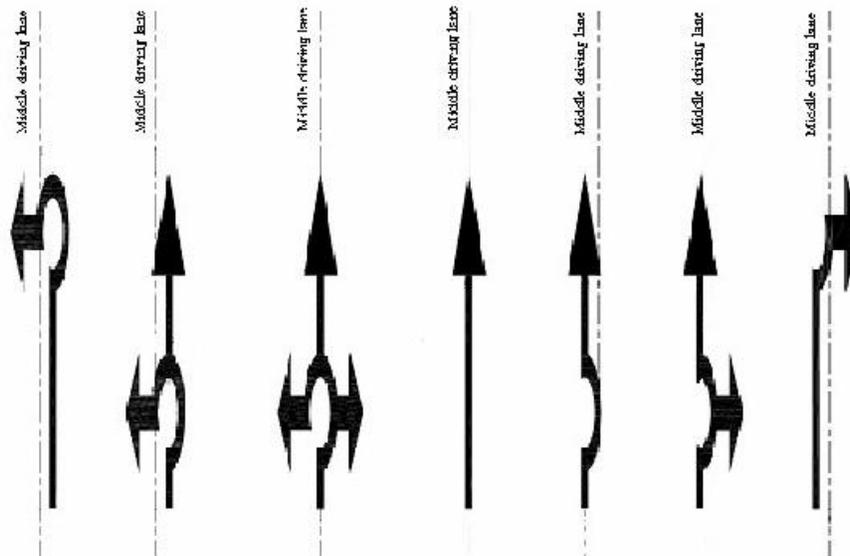


Figura 2.32: Flechas utilizadas en carriles de entrada, delante de la turbo glorieta o glorieta Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009.



Figura 2.33: Ejemplo de marca de pavimento tipo flecha cura en una turbo glorieta Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009.

La señalización vertical es muy importante para los conductores ya que permite una mejor comprensión de que carril es correcto antes de entrar a la glorieta. El Manual Práctico de Glorietas – Aplicación y Diseño de Holanda (2009), recomienda que la primera señal tiene que ser colocado a 400 m antes de la glorieta. Sugiere colocar 40 m antes de la glorieta señales ubicados en el borde o encima de los carriles de circulación, con la información indicada por carril, ver Figura 2.34.



Figura 2. 34: Ejemplo de Señalización vertical para turbo glorietas en Holanda. Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009.

En México este tipo de señalamiento que son equivalentes a lo indicado en el Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño, corresponde a los señalamientos SID-15 Puente



(ver Figura 2.35), SID-12 Diagramática (ver Figura 2.36), SID-13 Bandera y SID-14 Bandera Doble (ver Figura 2.37).



Figura 2.35: Señalamiento SID-15 Puente (Apoyovial.net).

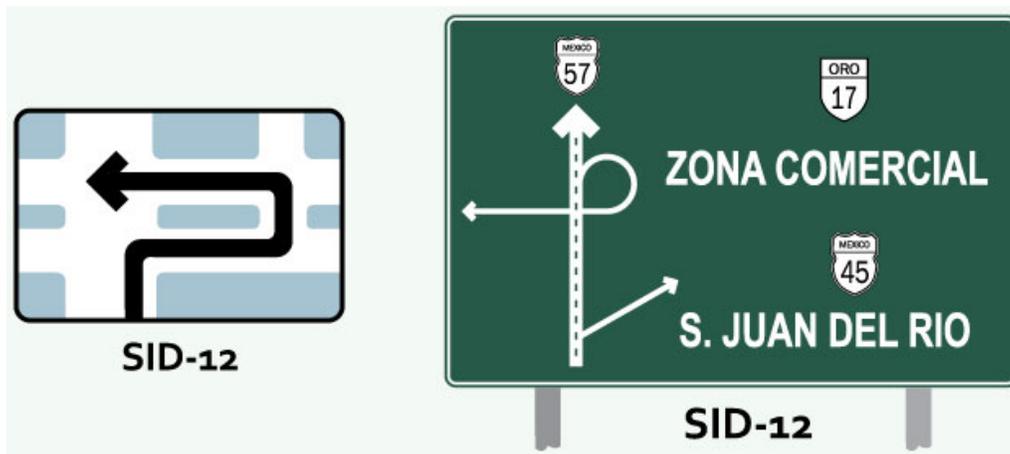


Figura 2.36: Señalamiento SID-12 Diagramática (Hammermaxx).



Figura 2. 37: Señalamiento a la izquierda SID-13 Bandera y a la derecha SID-14 Bandera Doble (Hammermaxx).

El alumbrado público en la turbo glorieta es de gran utilidad, ayuda a tener una mejor visibilidad de la isleta central, de los divisores de carriles la intersección y en la alineación de los carriles.



En Holanda los canalizadores cuentan luz propia para señalar al automovilista en las noches el camino, ver Figura 2.38.



Figura 2.38: Canalizador con LED para la mejora de visibilidad de los divisores de carril. Manual Práctico de Glorietas- Aplicación y Diseño 2009.

#### 2.4 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.

En México la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (por sus siglas SCT) en su libro “*Capacidad y niveles de servicio en la Red Federal de Carreteras 2017*” menciona que para determinar el grado de servicio que prevalece en una carretera o vialidad urbana, se mide cuantitativa y cualitativamente mediante el cálculo de los niveles de servicio, permitiendo saber el grado de eficiencia que se tiene en un determinado punto de la carretera o vialidad urbana, generándose mediante la metodología presentada en la publicación “*Manual de Capacidad Vial*” editado por la SCT y por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en 1991.

La Dirección General de Servicios Técnicos (DGST, 2018), comenta que para conocer la capacidad y el nivel de servicio se consideran:

- Las características físicas del camino
- El tránsito vehicular en cuanto a magnitud y tipo de vehículos.

La DGST define a la capacidad como el número máximo de vehículos que pueden circular por un camino durante un lapso de hora, y el nivel de servicio se delimita a una medida cualitativa del efecto de una serie de factores, entre los cuales se pueden citar: la velocidad el tiempo de recorrido, las interrupciones al movimiento continuo del tránsito, la libertad de manejo, la comodidad y los costos de operación.



A nivel mundial se reconocen 6 niveles de servicio que sirven para referir a las condiciones del camino, manejándose por medio de letras que parte de mejor con la letra A y finalizando con la peor la letra F. A continuación, se describe cada nivel de servicio (DGST, 2018):

- *Nivel de servicio "A"*. Corresponde a una condición de flujo libre, con volúmenes de tránsito bajos; la velocidad depende del deseo de los conductores dentro de los límites impuestos y bajo las condiciones físicas de la carretera.
- *Nivel de servicio "B"*. Se considera como flujo estable, los conductores tienen una libertad razonable para elegir sus velocidades y el carril de operación.
- *Nivel de servicio "C"*. El flujo es estable, los conductores perciben restricciones tanto para elegir su velocidad, como para efectuar maniobras de cambio de carril de rebase; se obtiene una velocidad de operación satisfactoria. Es deseable que este nivel de servicio sea el más desfavorable al que operen las vialidades.
- *Nivel de servicio "D"*. Esta condición se aproxima al flujo inestable; la velocidad de operación aún es satisfactoria, pero resulta afectada por los cambios en las condiciones de operación. Los conductores tienen poca libertad de maniobra con la consecuente pérdida de comodidad.
- *Nivel de servicio "E"*. En este nivel, los volúmenes de tránsito corresponden a la capacidad. El flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de corta duración.
- *Nivel de servicio "F"*. Corresponde a los flujos forzados, en donde los volúmenes son inferiores a los de la capacidad y las velocidades se reducen pudiendo producir paradas debido al congestionamiento.

Debido a que el manual de capacidad vial de la SCT no cuenta con manuales para calcular la capacidad en una glorieta, comúnmente se utiliza el Manual de Capacidad de Carreteras 2010 (por sus siglas en inglés HCM 2010) del Consejo de Investigación del Transporte de las Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos.



## 2.5 PROGRAMA TORUS 5.0

Torus 5.0 es un programa para la creación y planificación de todo tipo de glorieta, desarrollado y comercializado en América Latina por la empresa Transoft Solutions localizado en Columbia Británica, Canadá. El Torus 5.0, se encuentra como un complemento dentro del entorno del AutoCAD de la compañía AutoDesk o Bentley Microstation desarrollado por Bentley Systems, este tipo de complementos se nombran comúnmente Plugins, donde ofrece una barra de herramientas necesarias para que el profesional logre diseñar glorietas con los requisitos de operación de tráfico y objetivos de seguridad de manera mucha más eficiente y confiable, manejando lo indicado en los manuales de países como Alemania, Holanda, Estados Unidos y Gran Bretaña según sea el caso.

La función principal del Torus 5.0 es que mediante el uso del AutoTURN se minimiza los ciclos de iteración por medio del proceso de trayectoria de barrido de vehículos, generando la geometría de las glorietas. El software proporciona un análisis de la línea de vista de la glorieta y la distancia de vista de intersección, de igual manera calcula la velocidad más alta que un vehículo podría entrar en la glorieta o turbo glorieta, ver Figura 2.39.

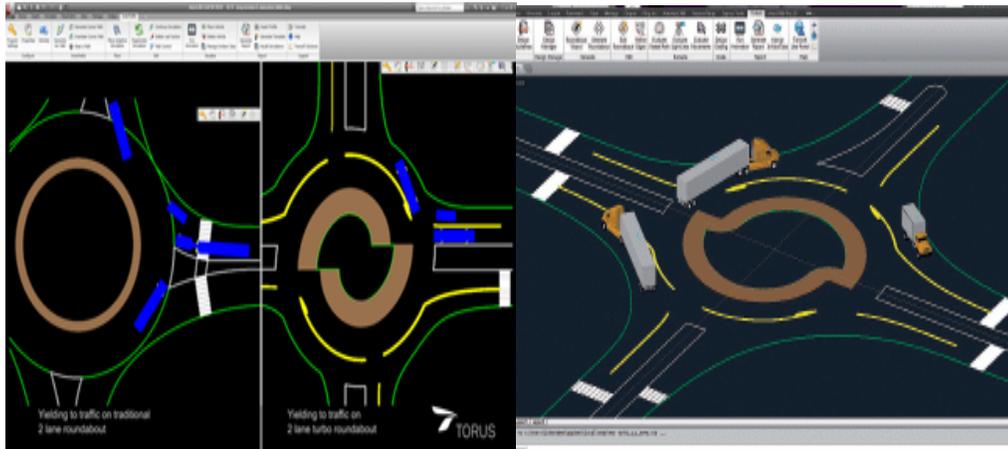


Figura 2.39: Vista de la interface de trabajo del Software Torus (Transoft Solutions).

El Torus de igual manera proporciona una simulación microscópica, simulando el área de estudio tanto para una glorieta existente como en el diseño de una glorieta, permitiendo diferenciar los tipos de vehículos. Este software concentra un catálogo de



vehículos tipo de cada país con sus características propias de funcionalidad y comportamiento en la vialidad.

## 2.6 PROGRAMA PTV VISSIM

PTV Vissim es una herramienta para el profesional de transporte y/o tránsito ya que es un software de simulación híbrido, proveyendo simulaciones microscópicas multimodal del tránsito, creado por la empresa PTV- siglas en alemán de *Planung Transport Verkehr* AG en Karlsruhe, Alemania. En este software se puede simular a la perfección el comportamiento del tráfico donde puede comparar la operación de las distintas intersecciones y el impacto que tendría una intersección al colocarle semáforos; de igual manera sirve para poder analizar las medidas de prioridades al transporte público y peatonal.

PTV (2015) explica las funciones que maneja este software es de las más avanzadas para la planificación del transporte y el análisis de su operación, ya que hace simulaciones muy precisas de la realidad como: simulación detallada de cambios de carril, entrecruzamientos y fusiones, es decir el comportamiento de conducción; cálculo de emisiones contaminantes, simulaciones Multimodal, generación de animación tanto 2D como 3D, entre otras funciones (PTV GROUP, 2015) (ver Figura 2.40).



Figura 2.40: Ejemplo de una simulación en el programa PTV VISSIM, vista en 2D (izquierda) y en 3D (Derecha) (PTV GROUP).



### ***Capítulo 3: Metodología***

En esta investigación, la metodología se dividió en dos partes: la primera comprendió el proceso para la obtención de los datos de campo y la segunda, todo lo relacionado a su análisis, comprendido desde lo que es la recopilación de información sobre las turbo glorietas y las glorietas convencionales, el diseño geométrico, la micro simulación y su posterior comparativa.

La información encontrada, se empleó para adquirir el diseño geométrico óptimo de la turbo glorieta donde se ubica la zona de estudio, apoyándose con el Manual-Práctico Aplicación y diseño de glorietas que utiliza el Ministerio de Transporte de Holanda (2009).

Posteriormente se realizó una comparación técnica y operativa entre los dos tipos de glorietas por medio del uso de software especializado para micro simulaciones de tránsito, elaborados a partir de los datos obtenidos en campo, con el fin de cotejar la operatividad de estas dos glorietas en lo que se refiere a seguridad, capacidad vial, nivel de servicio y tiempo de espera, ver Figura 3.1.

El tipo de estudio será un análisis experimental por medio de micro simulaciones y documental.

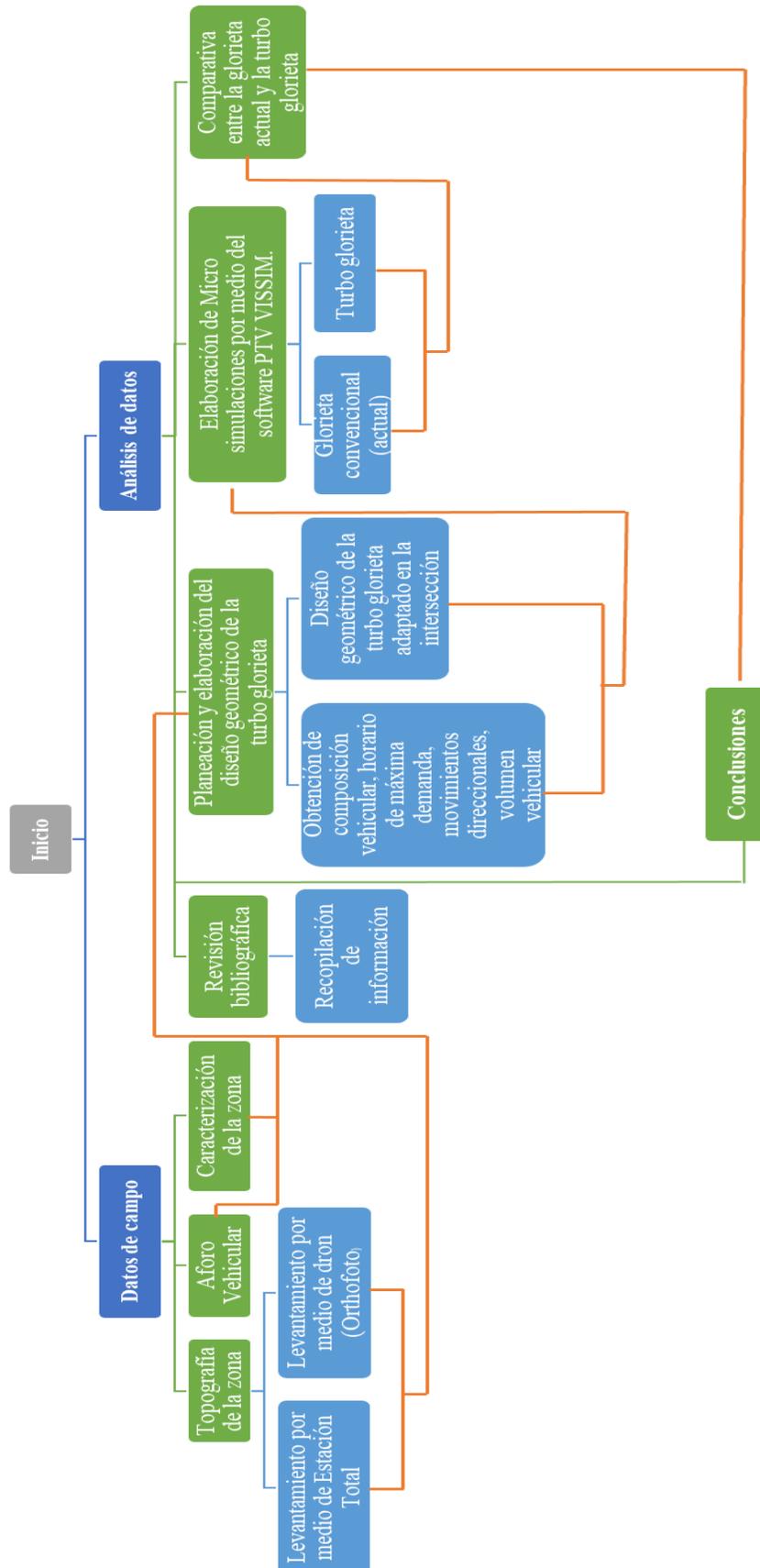


Figura 3.1: Metodología utilizada en la investigación.



### 3.1 LUGAR DE ESTUDIO

La intersección a nivel se ubica en la calle 69 de la colonia Cordemex, la calle 5-B de la colonia Xcumpich y con la calle 60 de la colonia Revolución (Antigua carretera Mérida – Progreso), se encuentra ubicada al Norte de la ciudad de Mérida en el estado de Yucatán, donde se encuentra regulado el tráfico por una glorieta convencional nombrada “De Gran Plaza”. Cuenta con una isleta central de tipo elipsoidal con radios de  $R1 = 40$  m y  $R2 = 29.50$  m y una calzada giratoria en calle principal (calle 60) de 14.50 m con tres carriles y en las calles secundarias (calle 69 y 5-B) de 11.00 m con dos carriles, ver Figura 3.2.

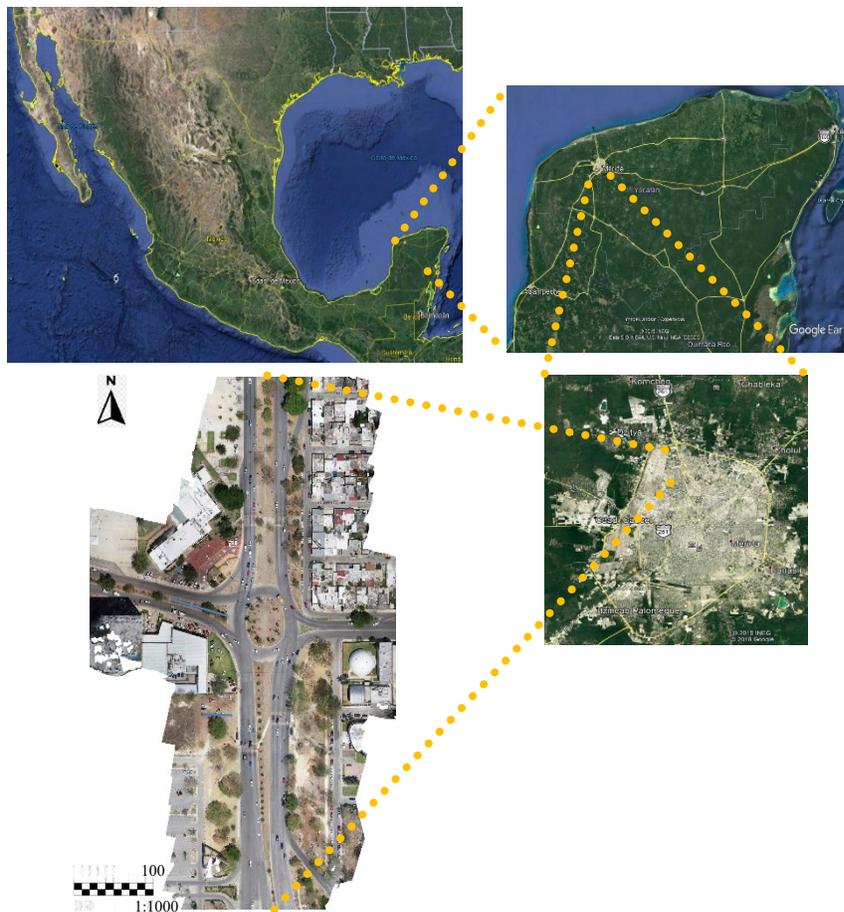


Figura 3.2: Ubicación del sitio de la investigación en Mérida, Yucatán (Google Earth 2019).

En la Figura 3.3 se ilustra una foto aérea del estudio por medio de Drone.



Figura 3.3: Vista aérea de la zona de estudio, Glorieta de Gran Plaza.

En el programa municipal de Desarrollo Urbano de Mérida, se establece que la zona de estudio se encuentra en la zona 1. Consolidación Urbana (ZCO), es decir, se promueve una equilibrada distribución y relación de las funciones urbanas y económicas, así como la consolidación del Área Urbanizada por Asentamientos Humanos (Ayuntamiento de Mérida, 2017).

En torno a la glorieta, se encuentran áreas específicas con usos y destinos del suelo de mediano y alto impacto, como son la habitacional, comercial, servicios, equipamiento y oficinas, ver Figura 3.4. El crecimiento al norte de la glorieta se incrementará debido a la construcción de complejos comerciales y residenciales, lo que provocará crecimiento del flujo a corto y mediano plazo dentro de la glorieta.

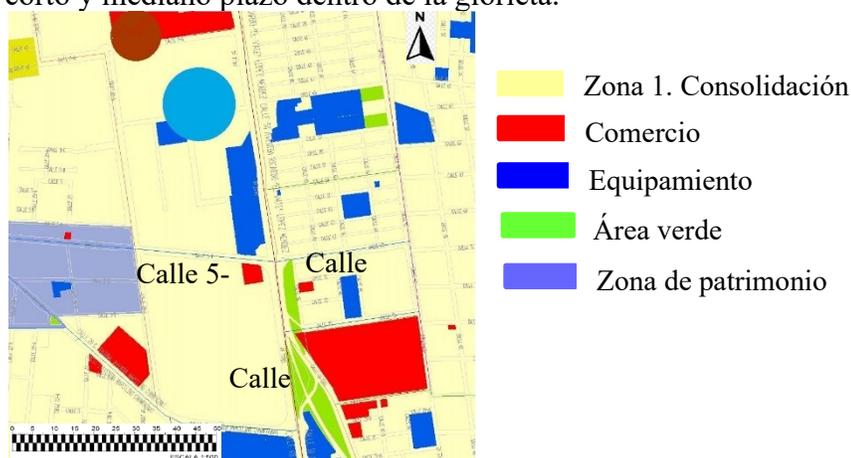


Figura 3.4: Carta Síntesis de la zona de estudio (Ayuntamiento de Mérida 2017).



### 3.1.1 Red vial

En el Municipio de Mérida, se distinguen dos clasificaciones en la red vial:

a) *Vialidades del Sistema de conectividad y Movilidad*. Conforman una estructura urbana–vial que establece la conectividad estratégica en el municipio, permitiendo la organización y jerarquización de las acciones de Movilidad Urbana (Ayuntamiento de Mérida, 2017). La estructura de las vialidades que conforman esta red son las siguientes:

- Vialidad Regional (VR)
- Vialidad Intercomisaría (VIN)
- Vialidad de Ciudad, que se sub clasifica a su vez:
  - Ciudad Intracomisaría(VIT)
  - Ciudad Exterior (VCE)
  - Ciudad Interior (VCI)
  - Ciudad Conectora (VCO)
- Vialidades locales.

b) *Jerarquización Vial para la Gestión de Usos y Destinos del suelo*. Es la jerarquización de las vialidades incluidas en el Sistema de Conectividad y Movilidad propuesto, a partir de los usos y destinos del suelo permitidos y prohibidos, así como la escala constructiva máxima autorizada para los predios ubicados sobre dichas vialidades, las cuales generan una compatibilidad de usos y destinos del suelo (Ayuntamiento de Mérida, 2017). El uso o destino la vialidad en este tipo de programa es el siguiente:

- Vialidad Regional
- Vialidad Intercomisaría
- Vialidades de Ciudad, estas se sub dividen en:



- Tipo A. Vialidad con gran flujo vehicular, en donde el uso y destino del Suelo no estará restringido en  $m^2$ .
- Tipo B. Vialidad con gran flujo vehicular, en donde el uso y destino del Suelo permitidos es de hasta 5,000  $m^2$  de superficie construida.
- Tipo C. Vialidad con gran flujo vehicular, en donde el uso y destino del Suelo permitidos es de hasta 500  $m^2$  de superficie construida.
- Tipo D. Vialidad de menor intensidad en el flujo vehicular, en donde el uso y destino del Suelo permitidos es de hasta 100  $m^2$  de superficie construida.

Como se aprecia en la figura anterior, las vialidades que se interceptan en la glorieta de estudio, de acuerdo a su jerarquía es una vialidad de Ciudad de tipo A en la calle 60 y de tipo B en las calles 69 y 5-B. De acuerdo a su conectividad y movilidad son vialidades locales.

### 3.2 ACTIVIDADES

Tal como se abordó al inicio de este capítulo, en este apartado se describirá detalladamente la metodología que se empleó para las distintas actividades que se efectuaron de acuerdo a la Figura 3.1.

#### 3.2.1 Datos de campo

En esta primera parte de las actividades se procedió a realizar la topografía y el aforo vehicular por medio de tubos neumáticos, ver Figura 45.



Figura 3.5: Trabajos de campo: a) Levantamiento Topográfico b) Ensamble de tubo neumático en equipo contador de tráfico MetroCount.



### 3.2.1.1 Topografía

La topografía de la zona de estudio se realizó por medio de dos métodos:

- *Levantamiento por medio de Estación total.* Por medio de este método se hizo el levantamiento de las calles que se enlazan en la glorieta de estudio (Figura 3.6), con el fin de tener una base para comparación con el levantamiento por medio de dron. Se realizó un levantamiento longitudinal y transversal a cada 20 metros de las calles que se interceptan en la glorieta, en un radio de 150 m a la redonda de la glorieta. Se ubicaron cinco puntos de control (Figura 3.7) señalados por medio de trompos de madera, clavos y aerosol color rojo en los camellones centrales (Figura 3.8), que sirvieron posteriormente para el levantamiento topográfico por medio del dron. El Sistema de Coordenadas implementado para el levantamiento planimétrico y altimétrico, así como de los puntos de control, fue con un Sistema de Coordenadas Locales.



*Figura 3.6: Levantamiento por medio de Estación Total Sokkia.*



*Figura 3.7: Ubicación de los puntos de control.*





Figura 3.8: Marca en el camellón central como punto de control en la calle 5-B.

- *Levantamiento por medio de dron.* Por medio de este método se hizo el levantamiento general de la zona de estudio elaborando una orto foto, que abarcó un área de cuatro hectáreas el vuelo, a una altura de 75 m a una resolución de 2.2 cm/px (Figura 3.9). Para este proceso, se colocaron en los puntos de control lonas de color negro con una marca en forma de X de color fosforescente, tratando que en el centro de la estampa se encuentre situado en el punto de control. Las marcas en el piso que se instalaron en cada punto de control, se usaron para una mejor visualización de los puntos al efectuar el postproceso.

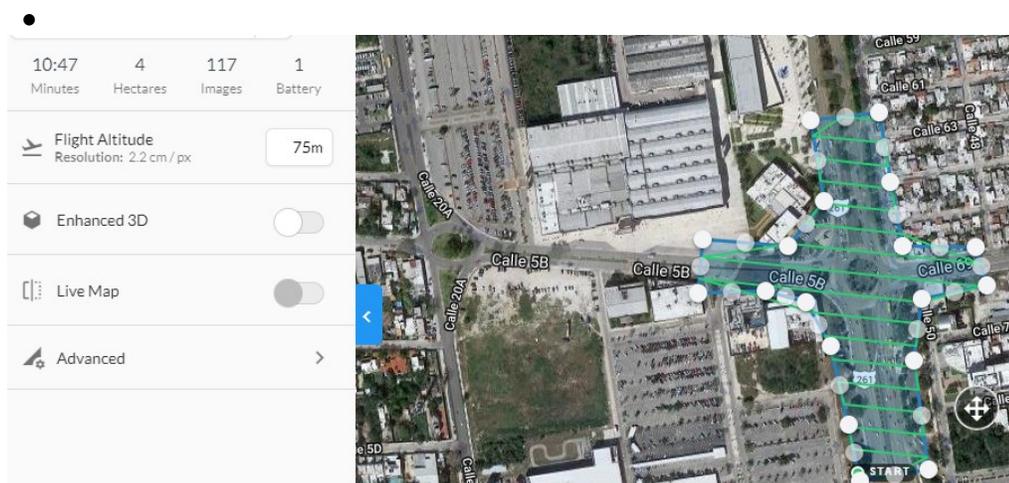


Figura 3.9: Plan de vuelo del dron por medio de la app DroneDeploy – Mapping for DJI.

Para el postproceso se utilizó el software Metashape de la empresa Agisoft LLC situada en San Petersburgo, Rusia. Es un programa para el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales que genera datos espaciales 3D para su uso en aplicaciones como GIS y CAD (Agisoft México, 2019). El Sistema de Coordenadas de los puntos de control que se utilizaron para la calibración del modelo digital, fue un Sistema de Coordenadas Locales obtenido del levantamiento por medio de la estación total.



### 3.2.1.2 Aforo vehicular

El aforo vehicular fue por medio de mangueras neumáticas, se utilizan como sensores de ejes que detectan el paso del vehículo con base a los impulsos de presión que se genera, estos se miden en un sensor de presión situado dentro del contador de tráfico (INGETRA Ingeniería de Transito, 2007).

El propósito de este equipo es medir el flujo vehicular y clasificarlo por tipo de vehículo, de acuerdo con la norma de pesos y dimensiones de la SCT (NOM-012-SCT-2-2017).

En esta investigación se emplearon equipos contadores de tráfico modelos Delta NT de la marca Time Mark Inc. en la calle 60 (cuatro equipos) (Figura 3.10), con un arreglo de diseño tipo 66 (Figura 3.11a).



*Figura 3.10: Equipo Contador de Tráfico DELTA NT de la marca Time Mark Inc. (Time Mark Incorporated).*



Figura 3.11: a) Arreglo 66 de los 4 equipos DELTA NT ubicados en la calle 60. b) Fotografía de equipo contador de tráfico instalado en la calle 60 sentido B antes de llegar a la glorieta.

En las calles 69 y 5-B se emplearon dispositivos medidores de tráfico modelo 5600 Series RSU de la marca MetroCount (dos equipos), usando un arreglo separado, debido a que estos equipos se colocaron en el camellón central (Figura 3.12).



Figura 3.12: a) Equipo Contador de Tráfico modelo 5600 Serie RSU de la marca MetroCount (MetroCount). b) Fotografía de la ubicación del equipo contador de tráfico en la calle 5-B.

En la Figura 3.13 se indica la ubicación de los dispositivos contadores y de las mangueras neumáticas.



Figura 3.13: Ubicación de los equipos aforadores y de las mangueras neumáticas de la zona de estudio.

Estos equipos medidores se instalaron por un periodo corto de duración, del orden de una semana. Los equipos solo realizaron conteo vehicular mas no clasificatorio, debido al arreglo con el que se configuró. Posteriormente, se identificó la hora de mayor demanda.

### 3.2.1.3 Caracterización de la zona

Debido a que los equipos contadores de tráfico no operaron con la configuración de clasificación. Se efectuaron dos días de conteo de aforo vehicular manual en el horario de máxima demanda, catalogando por tipos de vehículos de acuerdo a la norma NOM-012-SCT-2-2017 (Figura 3.14), los automóviles tipo A fueron excluidos de este conteo, obteniendo la cuantía quitando los vehículos totales de cada cuarto aforado por las mangueras neumáticas menos los vehículos de tipo B, C, T-S y otros, de la hora que se efectuó los conteos.



Los conteos manuales se realizaron los días martes 9 de abril de 2019 y jueves 11 de abril de 2019, en los siguientes horarios:

8:00 a.m. a 9:30 a.m.

1:00 p.m. a 2:00 p.m.

Ubicación:		Calle 60 Subida Parque				Fecha:		02/04/2019					
Estación:		1				Periodo:		Martes					
Sentido:		A				Hoja:		1 de 1					
Aforador:		Francisca del Rosario											
Hora	Automoviles y Pick Up (A)	Autobuses (B2)	Autobuses (B3)	Camion Carga (C2)	Camion Carga (C3)	Tractocamión Articulado (T2-S1)	Tractocamión Articulado (T2-S2)	Tractocamión Articulado (T3-S2)	Motocicleta	Bicicleta	Total Mixto		
08:00	227.00	17.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	3.00	266.00		
08:15	257.00	13.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00	0.00	295.00		
08:30	251.00	12.00	1.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	22.00	1.00	290.00		
08:45	283.00	10.00	0.00	14.00	2.00	0.00	0.00	0.00	32.00	1.00	342.00		
09:00													
Subtotal:	1018	52	2	17	3	0	0	0	96	5	1193		
Porcentaje:	85.33%	4.36%	0.17%	1.42%	0.25%	0.00%	0.00%	0.00%	8.05%	0.42%	100.00%		

Figura 3.14: Formato para el conteo manual de tránsito.

Para la modelación del tránsito de la glorieta de Gran Plaza y la realización de los porcentajes de los movimientos vehiculares en la rotonda, se efectuó por medio de videos asistidos por dron en el mismo horario de los conteos manuales para la clasificación. Se identificaron y cuantificaron los diferentes tipos de movimientos dentro de la glorieta.

En la Figura 3.15 se muestran los movimientos vehiculares de cada entrada a la glorieta, de acuerdo a la hora de máxima demanda. Para ajustar los parámetros de flujo y de movimientos en el programa PTV VISSIM.

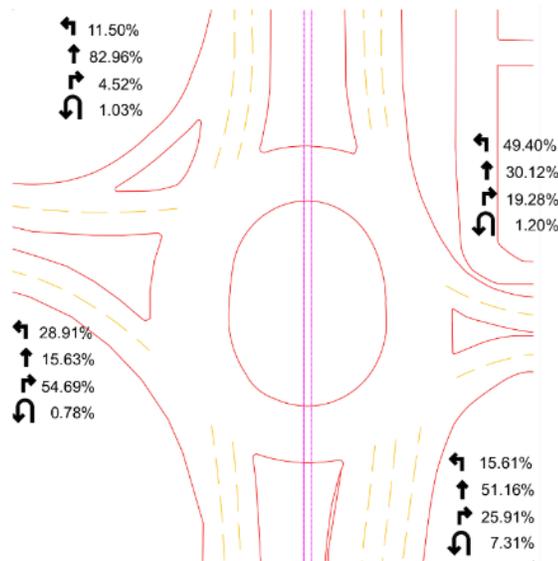


Figura 3.15: Distribución de los movimientos direccionales vehiculares en la glorieta de Gran Plaza.

### 3.2.2 Análisis de datos

Las actividades que se trabajaron en esta segunda fase fueron el análisis, el diseño de la turbo glorieta y la simulación de ambas.

#### 3.2.2.1 Planeación y Elaboración del diseño geométrico de la turbo glorieta

La elaboración del diseño geométrico de la turbo glorieta, parte del levantamiento topográfico del sitio, así como, del aforo vial, análisis de tránsito futuro y caracterización de la zona. Para desarrollar el diseño de la turbo glorieta, se elaboró por medio del software Torus 5.0. Este software utiliza parámetros de diseño de acuerdo al Manual-Práctico de Glorietas del Ministerio de Transporte de Holanda (2009). El Torus 5.0 en su base de datos, cuenta con los parámetros necesarios de los autos tipo que se indican en la norma NOM-012-SCT-2-2017, esto conlleva a tener un mejor diseño en la intersección.

Se eligió la configuración idónea vista en planta para la turbo glorieta, de acuerdo al número de vehículos de pasajeros equivalente por hora (por sus siglas en inglés: pcu/h) máximo, direccionalidad y composición vehicular, elaborado a partir del análisis de información del aforo vehicular que se obtuvo por medio de los aforamientos con mangueras



neumáticas y videos realizados con el dron. Se procedió de igual manera el rediseño geométrico de los ramales (calles) existentes, adecuándose a la turbo glorieta. Se considera en este apartado los señalamientos verticales y horizontales que se adecuarían de acuerdo con la NOM-034-SCT2-2018, Señalamiento Horizontal y Vertical de carreteras y vialidades urbanas y la anexión de un nuevo tipo de marcas en el pavimento que se maneja en otros lados del mundo, pero no en México.

### **3.2.2.2 Elaboración de Micro simulaciones por medio del Software PTV VISSIM**

Se programaron los modelos de micro simulación actuales y futuros de la glorieta convencional y de los modelos de turbo glorieta para la intersección, por medio de software especializado en micro simulaciones de tránsito, nombrado PTV VISSIM. El propósito es visualizar los modelos, de acuerdo a las condiciones actuales, así como también, con escenarios futuros a corto (un año), mediano (cinco años) y a largo plazo (quince años).

La glorieta de la zona de estudio se construyó la red para simulación y verificar que se comporta de acuerdo a los parámetros reales obtenidos en campo. El modelo base de la turbo glorieta se calibró con los parámetros de Fortuijn (2009), así como la estimación de capacidad, debido a que en México no se cuenta con edificaciones de este tipo donde se puedan obtener los múltiples parámetros para poder calibrar la simulación.

Con el fin de mejorar la capacidad del modelo y poder reproducir el comportamiento y rendimiento del conductor semejante a la realidad, se emplearon determinados indicadores como la longitud de cola, demoras, tiempo de viajes.

Para la realización del comportamiento entre el flujo vehicular de entrada medido en campo y el flujo vehicular de entrada del modelo se utiliza la formula GEH (Ecuación 3.1) de Havers, esta ecuación es un indicador estadístico, que permite comprar dos volúmenes vehiculares de una misma red (volumen real y volumen simulado), con el propósito de cuantificar la calibración de modelos simulación (Bulla Cruz, 2010).



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

Ecuación 3.1

Donde:

M: Volumen obtenido del modelo

C: Volumen medido en campo

El valor GEH proporciona un indicador de la calibración del modelo respecto al ajuste de volúmenes, con base en los siguientes parámetros (Bulla Cruz, 2010):

- $GEH < 5$ : Se considerado buena correspondencia entre los valores observador y los valores modelados.
- $5 < GEH < 10$ : Se puede justificar una investigación.
- $GEH > 10$ : Existe una alta probabilidad de que existe un problema con el modelo de demanda de viajes o los datos (esto podría ser algo tan simple como un error de entrada de datos, o tan complicado como un problema de modelo de calibración grave).
  - Adicionalmente, se considera que los volúmenes están calibrados satisfactoriamente entre sí:
    - $GEH < 5$  para el volumen del 85% de los arcos
    - $GEH < 4$  para la suma de los volúmenes de todos los arcos.

### 3.2.2.3 Comparativa entre la glorieta convencional y la turbo glorieta

Se compararon las glorietas convencionales y turbo glorietas por medio de los resultados obtenidos en las micro simulaciones calibradas de los parámetros de longitud de cola, nivel de servicio, demora, paradas, tiempo de viaje, gasto de gasolina y gases de efecto invernadero (GEI).

El propósito de esta comparativa es evaluar las ventajas y desventajas, obtener indicadores de operación y variaciones de tiempo que tiene la turbo glorieta con la configuración óptima en el cruce versus la glorieta actual.



## ***Capítulo 4: Discusión de Resultados***

En este capítulo se expondrán los resultados de los análisis topográficos y de tránsito con los que se proyectó el modelo de la turbo glorieta, elaborado por medio del software TORUS 5.0, así como también, la comparativa de los resultados de las micro simulaciones que proyectó el software PTV VISSIM 8.0 entre la glorieta y la turbo glorieta en los diferentes años (actual, a un año, cinco años, diez años y quince años) que se fijaron en las micro simulaciones.

### ***4.1. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO***

La topografía por medio del dron y de la estación total conllevaron para crear las secciones tipo de las calles que se interceptan en la glorieta, en la Figura 4.1 se muestra la orto foto del área de estudio obtenida por medio del Metashape. Este software generó un modelo digital del terreno (DMT por sus siglas en inglés) y posteriormente, la creación de la orto foto con Sistema de Coordenadas Locales.



*Figura 4.1: Orto mosaico del área de estudio.*



### 4.1.1 Secciones tipo

A continuación, se describen las calles que se intersectan en la glorieta:

- La Calle 5-B en la clasificación vial en Mérida es una calle secundaria, cuenta con una banqueta de dos metros a los extremos de la calzada. Cuenta con dos carriles por sentido de 4.0 m de ancho por carril en cada sentido y un camellón central de 3.92 m, véase la Figura 4.2.

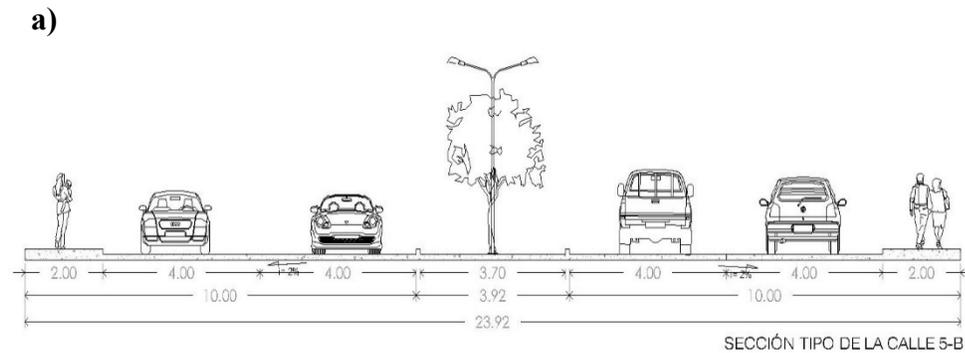
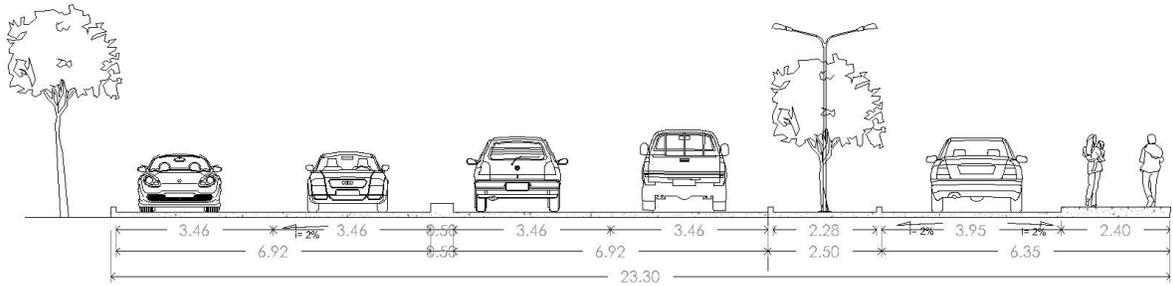


Figura 4.2: a) Sección Tipo de la calle 5-B (Google Earth 2019) b) Vista desde la glorieta a la calle 5-B.

- La Calle 69 en la clasificación vial en Mérida es una calle secundaria, viéndose de Este a Oeste, se conforma de tres calzadas de circulación. La calle 69 cuenta con dos carriles por sentido de 3.46 m de ancho por carril en cada sentido para un total de 6.92 m y un camellón central de 0.50 m. La calle 50 (Cordemex) se aprecia una vía de 3.95 m de ancho, siendo una calle de baja velocidad, ver Figura 4.3.

a)



SECCIÓN TIPO DE LA CALLE 69



Figura 4.3: a) Sección tipo de la calle 69 b) Vista desde la glorieta a la calle 69 (Google Earth, 2019).

- En la Calle 60 antes de la glorieta de sur a norte en la clasificación vial en Mérida es una calle primaria, cuenta con una banqueta de 2.5 metros al extremo izquierdo de la calzada, a continuación, se encuentra un ancho de vía de 13.17 m dividido en tres carriles (5.27 m, 3.75 m y 3.85 m respectivamente) donde se circula de Norte a Sur. El camellón central tiene un ancho de 11.38 m. El ancho de vía total en sentido de Sur a Norte es de 18.67 m dividido en cuatro carriles (3.62 m, 4.10 m, 3.25 m y 4.70 m) y por último una banqueta de 3.00 m, como se ve en la Figura 4.4.

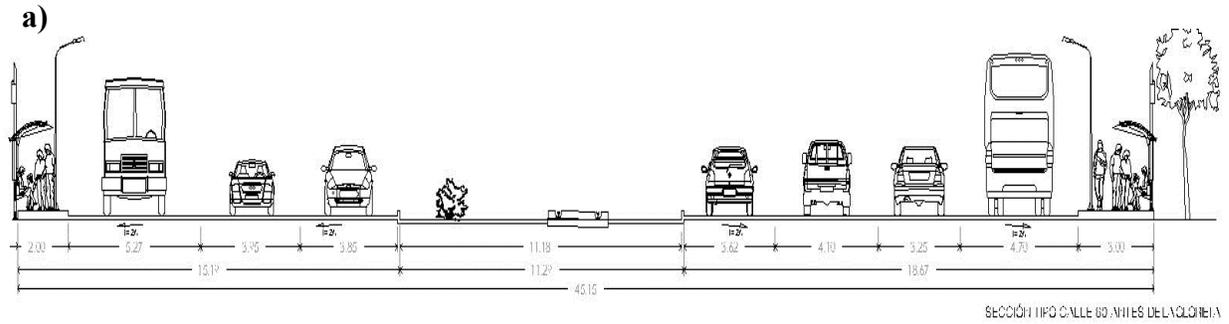


Figura 4.4: a) Sección Tipo de la calle 60 antes de cruzar la glorieta b) Vista desde la glorieta a la calle 60 antes de cruzar la glorieta (Google Earth 2019).

- En la Calle 60 después de la glorieta de Sur a Norte en la clasificación vial en Mérida es una calle primaria, cuenta con una banqueta de 2.5 metros al extremo izquierdo de la calzada, a continuación, se encuentra un ancho de vía de 13.17 m dividido en 3 carriles (5.27 m, 3.75 m y 3.85 respectivamente). El camellón central tiene un ancho de 11.38 m. El ancho de vía total en sentido de Sur a Norte es de 18.67 m dividido en 4 carriles (3.62 m, 4.10 m, 3.25 m y 4.70 m) y por último una banqueta de 3.00 m, Como se aprecia en la Figura 4.5.





## 4.2. ANÁLISIS DE TRÁNSITO

La estimación de este parámetro se realizó por medio de aforos vehiculares durante una semana por medio de mangueras neumáticas. En la figura 4.6 se visualiza el comportamiento vehicular por hora en la glorieta de Gran Plaza. Los días de aforo fueron realizados del 31 de marzo de 2019 al 06 de abril de 2019.

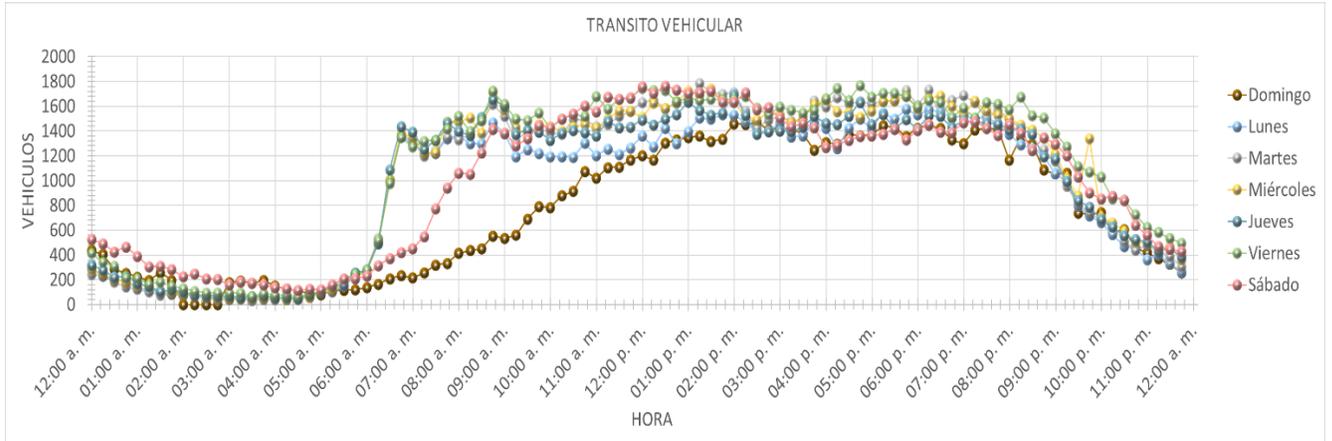


Figura 4.6: Comportamiento vehicular por hora en la semana de estudio en la intersección a nivel de la glorieta de Gran Plaza.

Actualmente transitan 661,065 vehículos a la semana, siendo las horas de máxima demanda:

Mañana: 8:00 a.m. a 9:00 a.m.

Tarde: 1:00 p.m. a 2:00 p.m.

Noche: 5:00 p.m. a 6:00 p.m.

La clasificación vehicular en la intersección se aprecia en la Figura 4.7.

### CLASIFICACIÓN VEHICULAR

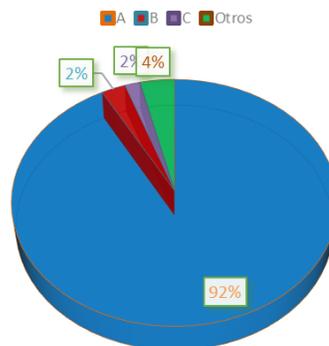


Figura 4.7: Clasificación vehicular en la glorieta de Gran Plaza.



Se observó que los automóviles ligeros (A) son los que más transitan en la zona con un 92%, mientras vehículos pesados (B, C, T-S) un 4% y por último bicicletas y motocicletas 4% (Otros).

Como se ve en la Tabla 4.1 de movimiento de flujo en la glorieta, se puede apreciar que los conductores de las calles secundarias (69 y 5-B) su destino o rumbo principal es la calle 60 sentido Norte - Sur, mientras que en la calle principal (Calle 60) el flujo principal es derecho en ambos sentidos.

Tabla 4. 1: Movimiento de flujo direccional en la glorieta de Gran Plaza.

CALLE	SENTIDO	DIRECCION DE FLUJO				Total
		IZQUIERDA	DERECHA	DERECHO	Vuelta en U	
<b>60 (PARQUE)</b>	<b>A</b>	15.61%	25.91%	51.16%	7.31%	2239
		350	580	1145	164	
<b>69</b>	<b>A</b>	49.40%	19.28%	30.12%	1.20%	1122
		554	216	338	14	
<b>60 (MUSEO)</b>	<b>B</b>	11.50%	4.52%	82.96%	1.03%	2745
		316	124	2277	28	
<b>5-B</b>	<b>A</b>	28.91%	54.69%	15.63%	0.78%	722
		209	394	113	6	
<b>Total</b>		1429	1314	3873	212	<b>6828</b>

La capacidad circulante de la glorieta se determinó por medio del HCM 2010, donde los resultados fueron, ver Figura 4.8.

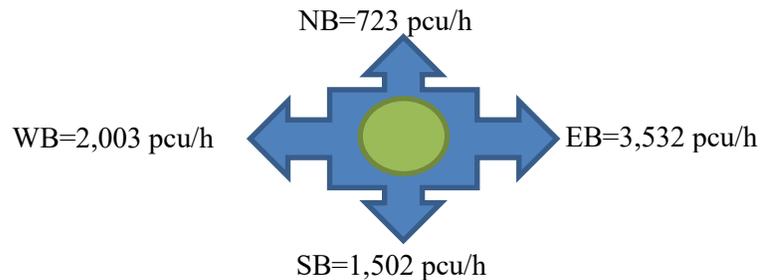


Figura 4.8: Capacidad circulante en la Glorieta de Gran Plaza.

La capacidad circulante del bypass fue: 1031 pcu/h.



El volumen de tránsito a futuro, de acuerdo con la SCT, se debe conocer los datos de tránsito (TDPA) del tramo con el fin de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y por medio de métodos estadísticos se predice el tránsito futuro. Debido a que en el tramo de estudio no se cuenta con dicha información se determinó usar un 5.0% la tasa de incremento anual, este porcentaje se investigó en el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Secretaría de Seguridad Pública (SSP) de Yucatán, para el cálculo de los volúmenes de tránsito en las avenidas y calles de Mérida.

Este proyecto se pronosticó para un tránsito futuro a 15 años dado que es lo recomendable para los proyectos de tránsito, de acuerdo con el libro Ingeniería de Tránsito - Fundamentos y Aplicaciones del autor Cal y Mayor. En la tabla 4.2 se enseña el volumen de tránsito del año 2019 (actual) al año 2034.

*Tabla 4.2: Volumen de Tránsito Futuro de vehículos por hora en la glorieta de Gran Plaza.*

AÑO	VEHICULOS POR HORA (Veh/h)				
	C. 60 Sentido A	C. 69	C. 60 Sentido B	C. 5-B	Total
2019	2239	1122	2745	722	6828
2020	2351	1179	2883	759	7172
2021	2469	1238	3028	797	7532
2022	2593	1300	3180	837	7910
2023	2723	1365	3339	879	8306
2024	2860	1434	3506	923	8723
2025	3003	1506	3682	970	9161
2026	3154	1582	3867	1019	9622
2027	3312	1662	4061	1070	10105
2028	3478	1746	4265	1124	10613
2029	3652	1834	4479	1181	11146
2030	3835	1926	4703	1241	11705
2031	4027	2023	4939	1304	12293
2032	4229	2125	5186	1370	12910
2033	4441	2232	5446	1439	13558
2034	4664	2344	5719	1511	14238



### 4.3 RESULTADOS DE ELABORACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA TURBO GLORIETA

Se propuso el modelo de turbo glorieta por medio del TORUS 5.0. El modelo fue una turbo glorieta de rotor, realizado con los parámetros del Manual Práctico de Glorietas – Aplicación y Diseño 2009 de Holanda y operados con la herramienta complementaria del TORUS 5.0, nombrado AutoTURN que logra hacer un análisis de barrido de vehículos.

Se estableció usar el modelo rotor debido a la capacidad teórica que señala dicho manual y el tipo de movimientos de flujo vehicular que se tuvieron en la Glorieta de Gran Plaza que es de 3,532 pcu/h, como también al tránsito futuro que se podría presentar en quince años. Otro modelo que se pudo emplear era el de tipo espiral, pero debido a los movimientos y al aforo vehicular futura originaba que esta turbo glorieta en pocos años sobre pase su capacidad y ya no sea funcional.

El turbo rotor presenta características de tres carriles de entrada y tres de salida en las vías principales; y dos carriles de entrada y uno de salida en las secundarias, ver Tabla 4.3.

*Tabla 4.3: Anchos, radios y número de carriles en entradas y salidas en la turbo glorieta propuesta en la intersección a nivel.*

TURBO GLORIETA DE TIPO ROTOR																			
Calle	Cuerpo	Sentido	No. de carriles en entrada	No. de salidas en espiral	No. de carriles en salida	Ancho mínimo entre carriles de entrada (m)			Ancho mínimo entre carriles de salida (m)			Radio de salida (m)			Radio de entrada (m)			Ancho Camellón Central (m)	Bypass
						C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3		
C. 60	A	Sur - Norte	3	2	3	3.20	3.00	3.20	3.20	3.00	3.20	15.00	15.00	15.00	12.02	12.02	12.02	10.00	No
C. 69	A	Este - Oeste	2	0	1	3.20	3.20	N/A	3.50	N/A	N/A	15.00	N/A	N/A	15.00	N/A	N/A	2.00	No
C. 60	B	Norte - Sur	3	2	3	3.20	3.00	3.20	3.20	3.00	3.20	15.00	15.00	15.00	12.02	12.02	12.02	10.00	Si
C. 5-B	A	Oeste - Este	3	0	1	3.20	3.20	N/A	3.50	N/A	N/A	15.00	N/A	N/A	14.66	14.66	N/A	4.00	No
C. 50	Unico	Este - Oeste	1	0	0	3.50	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12.00	N/A	N/A	N/A	No

La turbo glorieta de tipo rotor cuenta con un radio en la isleta central de 15 m. Los anchos de los carriles circulantes son variados: carril<sub>1</sub>: 5.03 m, carril<sub>2</sub>: 4.70 m, carril<sub>3</sub>: 4.50 m, carril<sub>4</sub>: 4.35 m y carril<sub>5</sub>: 4.25 m, cuenta con un ancho de plataforma de 5.0 m, separadores de carril de 0.30 m y un bypass de 5 m de ancho, como se puede observar en la Figura 4.9.

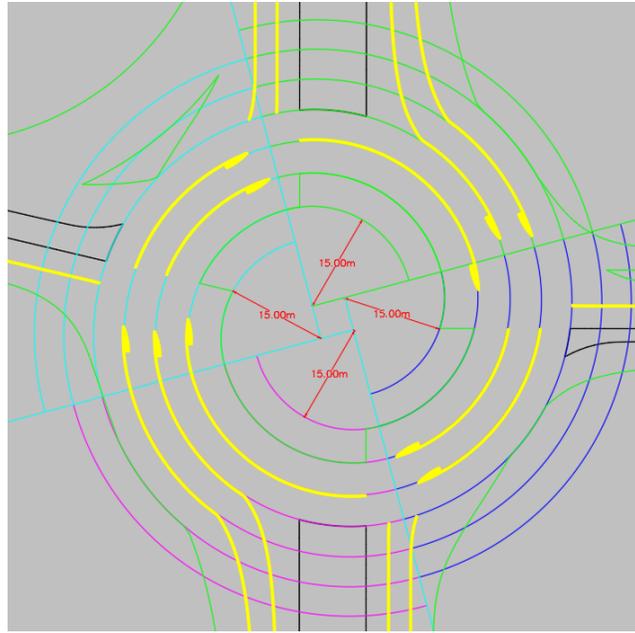


Figura 4.9: Turbo bloque de 15 m de radio.

Se diseñó la turbo glorieta de acuerdo con los vehículos de proyectos que maneja el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2018 (MPGC 2018), en este caso se seleccionó el DE-1980 para la avenida principal y el DE-750 para las avenidas secundarias, ver Figura 4.10. Se optó por estos vehículos debido a que son los vehículos más grandes que transitan en dichas avenidas.

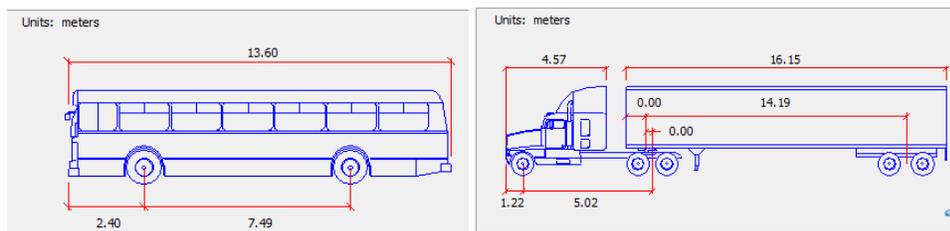
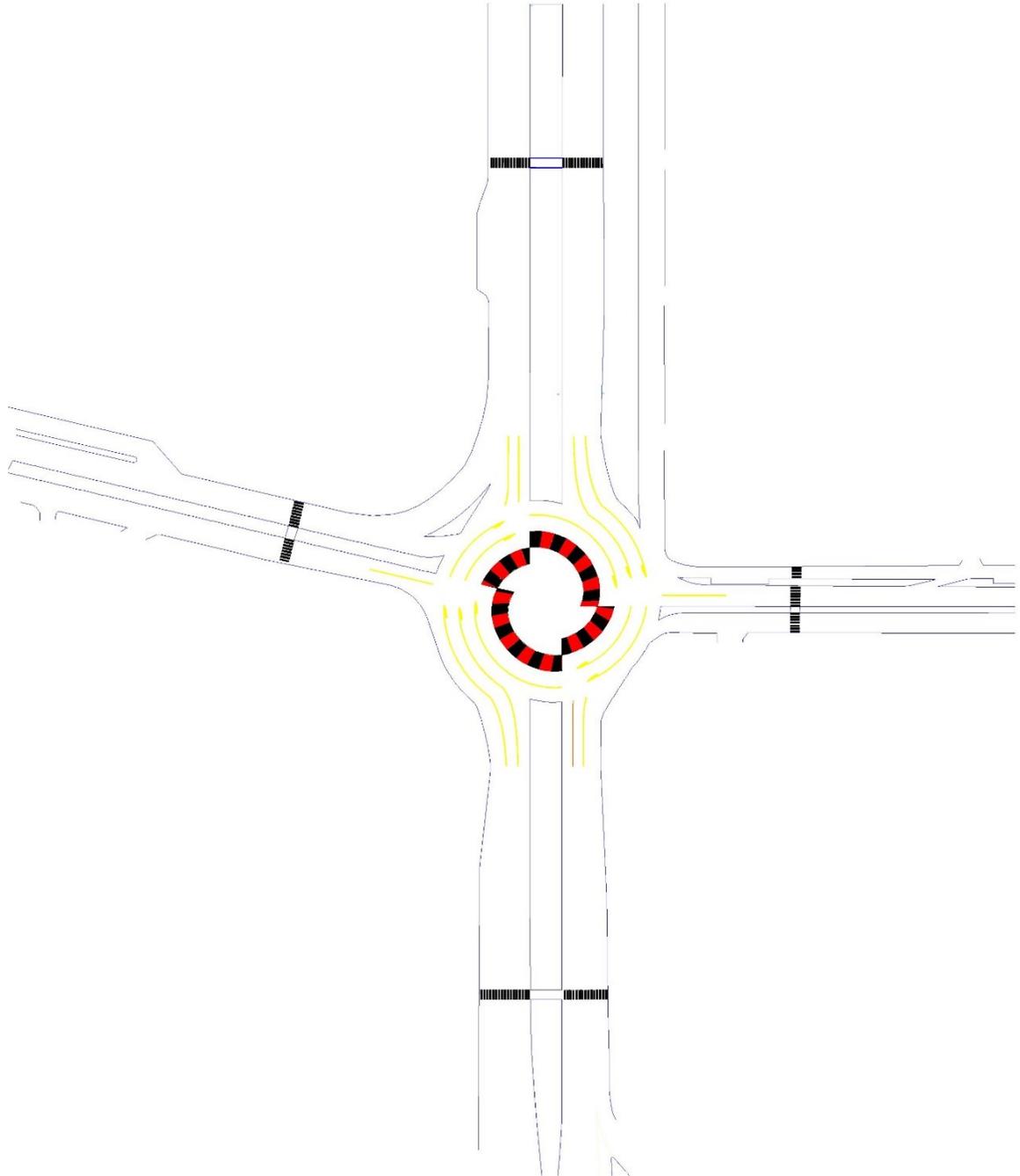


Figura 4.10: Vehículos de proyecto del MPGC 2018, a la izquierda DE-750 y a la derecha DE-1980 (TORUS 5.0).

En la Figura 4.11 se puede contemplar el diseño geométrico de la turbo glorieta en la intersección de la calle 60 con calle 69 y 5-B. El programa Torus 5.0 evaluó los movimientos, visibilidad, análisis de giro y los radios de entrada y salida con el fin de tener un diseño óptimo de la intersección.



*Figura 4.11: Diseño Geométrico en planta de la turbo glorieta tipo Rotor en el cruceamiento de la calle 60 con calle 69 y calle 5-B.*

Se procedió hacer modificaciones a las calzadas de la calle 60 (ambos sentidos), 69, 50 (Cordemex) y 5-B. Entre las importantes son:

- La calle 50 de Cordemex se partió el camellón para que los automóviles se enlacen directamente a la calzada giratoria de la calle 60 sentido A, con el fin



de que los conductores que se dirijan a la calle 60 en sentido Sur – Norte no ingresen a la calle 69 y posteriormente entren a la intersección giratoria. Los usuarios que realicen movimiento a la izquierda deberán acceder a la calle 69 por medio del desvío que se encontrara a 65.10 m de la selección de carril. Este acceso se desplaza 24.0 m antes del acceso que se tiene actualmente, Figura 4.12.



*Figura 4.12: Comparativa de calle actual de la calle 50 de Cordemex versus el diseño de proyecto.*

- *En la calle 60 en sentido de Sur a Norte se clausura el acceso a la calle 50 de Cordemex, para entrar a la calle 50 del desarrollo habitacional Cordemex se encontrará en la salida a la glorieta, Figura 4.13.*

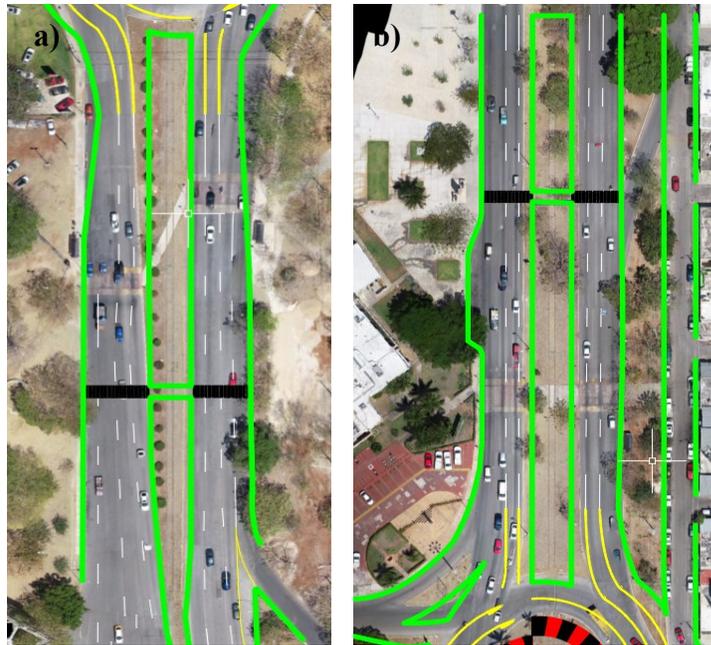


Figura 4.13: Adecuaciones geométricas realizadas para el proyecto turbo glorietas, a) antes de la calzada giratoria b) después de la intersección giratoria.

- El camellón central de la calle 60 poseerá un ancho de 10.0 m, el de la calle 69 contará con un ancho de 2.0 m y la calle 5-B se mantendrá con 4.0 m de ancho, ver figuras 4.12 y 4.13.
- En la calle 60 en sentido de Sur a Norte antes de intersección giratoria, se disminuyó de cuatro a tres carriles 40 m antes de llegar a la intersección, ver figura 4.13a.
- El ancho del bypass con el que se cuenta actualmente en la calle 60 de Norte a Sur antes de cruzar la glorietta reduce de 6.5 m de ancho a 4.5 m, de igual manera se amplía dicho carril, pasando de 4.0 metros a 9.0 m para un mejor giro de los vehículos articulados, figura 4.13b.
- Los pasos peatonales en la calle 60 se alejaron 90.0 m en el sentido A y 100.0 m en el sentido B, es decir unos 26.2 m y 40.2 m respectivamente de cómo se encuentra actualmente, figura 4.13.



En México el Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad Capítulo III Señalamiento Horizontal y la NOM-034-SCT2-2018 (Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas) no cuenta con algún apartado que mencione que marcas en el pavimento se deben de utilizar en las glorietas y menos en turbo glorietas, por lo que se introdujo a este proyecto las flechas de tipo curvo señaladas en el Manual Práctico de Glorietas – Aplicación y Diseño 2009 de Holanda, con el fin de que los conductores cuenten con indicaciones previas para seleccionar el carril correcto.

Con respecto al señalamiento vertical, se propone que por medio de una señal SID-12 (Señal Informática de destino Diagramática) el conductor posea una idea más clara del carril a seleccionar. El señalamiento se ubicará a 400 m de la intersección, en el camellón central que divide los sentidos en la avenida principal. En las avenidas secundarias debido al espacio del camellón central sería inadecuado colocar un SID-12, por lo que se recomendaría colocar una SID-13 (Bandera) 300 metros antes de llegar a la turbo glorieta.

La señal SID-15 (Puente) se deberá colocar a unos 200 metros en la avenida principal y en las avenidas secundarias 150 metros antes de llegar a la intersección, señalando adecuadamente los destinos que llevan cada carril.

#### ***4.4 RESULTADOS DE LA MICRO SIMULACIÓN DE GLORIETA CONVENCIONAL VS TURBO GLORIETA.***

Las micro simulaciones realizadas para la glorieta de Gran Plaza y el proyecto de la turbo glorieta de tipo rotor se efectuaron con la finalidad cotejar el estado actual de la intersección a nivel versus la proyectada. Se compararon los resultados de los parámetros de: demora por vehículo, longitud de cola, nivel de servicio, número de paradas y emisiones de gases invernadero (volátiles, NOx y CO) mediante el programa de micro simulación PTV VISSIM 8.0, ver figura 4.14 y 4.15.



Se realizaron quince simulaciones para el año actual de estudio (2019), al año (2020), cinco años (2024), diez años (2029) y quince años (2034) de cada uno de los modelos con la finalidad de obtener los valores de los parámetros mencionados en el párrafo anterior.

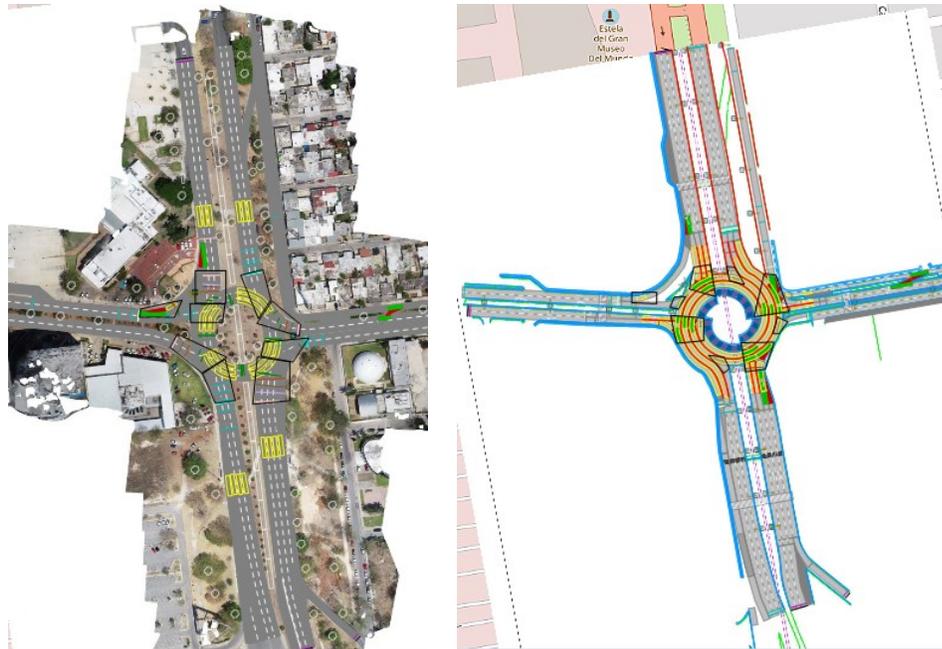
#### **4.4.1 Datos de entrada a los modelos.**

Los principales parámetros de entrada que le sirvieron al software para las simulaciones realizadas consintieron en:

- Número de carriles
- Ancho de carril (metros) (variable)
- Velocidad máxima (Km/h)
- Flujo de saturación (Veh/h/carril)

Para elaborar y calibrar las micro simulaciones del modelo de la glorieta y turbo glorieta se emplearon los datos de volumen de tránsito actual y futuro, movimientos direccionales y la topografía de la zona.

En las siguientes figuras se presentan los modelos realizados del escenario actual y el proyectado en el software PTV VISSIM 8.0.



*Figura 4.14: Modelos representados en el software PTV VISSIM 8.0, en el lado izq. el modelo de la glorieta convencional actual y en el lado der. el modelo de la turbo glorieta tipo rotor.*

#### **4.4.2 Calibración**

La calibración y validación de los modelos de la glorieta y turbo glorieta se efectuó de acuerdo al indicador estadístico GEH expuesto en el capítulo tres.

En la tabla 4.4 se presenta los valores que se obtuvieron para la verificación de los modelos de la glorieta convencional actual y de la turbo glorieta de tipo rotor.



*Tabla 4.4: Verificación del modelo de calibración por medio de los valores obtenidos del indicador GEH para los modelos de la glorieta convencional y la turbo glorieta en el año 2019.*

TRAMO	SENTIDO	GLORIETA CONVENCIONAL ACTUAL			TURBO GLORIETA TIPO ROTOR		
		MODELO	CAMPO	GEH	MODELO	CAMPO	GEH
		FLUJO DE ENTRADA (Veh/hr)	FLUJO DE ENTRADA (Veh/hr)		FLUJO DE ENTRADA (Veh/hr)	FLUJO DE ENTRADA (Veh/hr)	
C.60 A	SUR - NORTE	2255	2239	0.34	2178	2239	1.30
C.69 A	ESTE - OESTE	1116	1122	0.18	1069	1122	1.60
C.60 B	NORTE - SUR	2601	2745	2.79	2419	2745	6.42
C.5B A	OESTE - ESTE	659	722	2.40	762	722	1.47
		<b>GEH PROMEDIO</b>		<b>1.42</b>	<b>GEH PROMEDIO</b>		<b>3.08</b>

Como se observa en la tabla anterior de los valores GEH obtenidos de los modelos en el año 2019, la calibración para la glorieta convencional actual es menor a cinco los valores tanto de cada tramo y promedio de modo que se considera una simulación Buena. Mientras tanto la calibración del modelo de la turbo glorieta de tipo rotor en el tramo de la calle 60 sentido Norte – Sur presenta un valor mayor a cinco por lo que se debe justificar una investigación del porque ese valor.

Como se muestra en la tabla 4.5 de red vehicular global, se puede notar que los valores en la turbo glorieta son mayores a diez, en consecuencia, existe un problema con el modelo. Este problema radica que en el simulador varios automóviles en la calle 60 en ambos sentidos se cambian desde el tercer carril al primer carril o del primer carril al segundo para seguir derecho a pesar de que estaba activado seguir derecho en los tres carriles, siendo que en la vida real no sucedería dicho movimiento en horas pico.



Tabla 4.5: Valores obtenidos GEH de la red vehicular global de los modelos.

GLOBAL RED VEHICULAR			
MODELO	SIMULACION	CAMPO	GEH
	FLUJO DE ENTRADA (Veh/hr)	FLUJO DE ENTRADA (Veh/hr)	
GLORIETA 2019	6608	6828	2.68
TURBO GLORIETA 2019	5077	6828	22.70

#### 4.4.3 Resultados de las micro simulaciones.

Con los resultados procedentes de las quince micro simulaciones de los modelos de la glorieta actual y del proyecto de la turbo glorieta tanto para el año 2019 como determinados del tránsito futuro, se promediaron para la comparación de los parámetros de: longitud de cola, demora, paradas, nivel de servicio y emisiones de gases invernadero (NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> y VOC).

Los resultados de los parámetros se obtuvieron mediante nodos de entrada y salida tanto de la glorieta como de la turbo glorieta, estas corresponden a las áreas o puntos de conflicto en la intersección a nivel, en las figuras 4.15 y 4.16 se enseñan los nueve nodos de cada uno de los modelos.

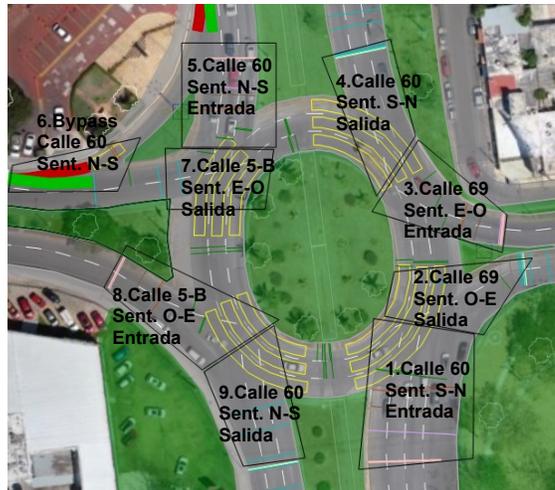


Figura 4.15: Localización de los nodos de entrada y salida del modelo de la glorieta convencional.

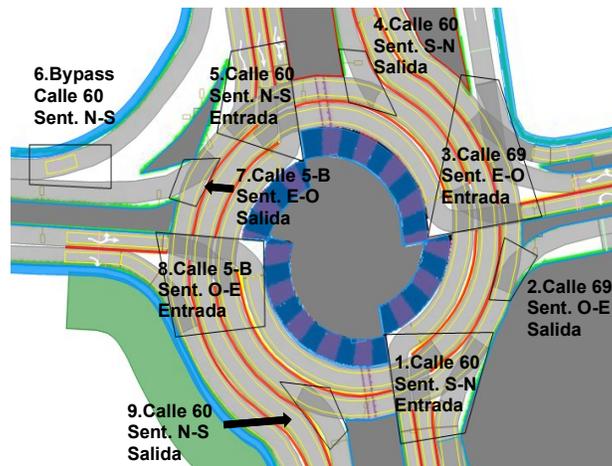


Figura 4.16: Localización de los nodos de entrada y salida del modelo de la turbo glorieta tipo rotor.

Como se puede observar en las figuras anteriores el área de los nodos varía en los modelos. En la turbo glorieta los nodos de salidas, las áreas son más pequeñas en la turbo glorieta dado que es una zona de decisión para el usuario que un punto de conflicto, mientras que en la glorieta son puntos de conflicto puesto que los usuarios pueden cambiar de dirección e invadir el carril continuo. En el nodo de entrada de la calle 69 en sentido Este – Oeste Entrada (nodo 3) se puede apreciar que en la turbo glorieta se incluye la calle 50 de Cordemex puesto que este tramo ya interactúa con intersección de estudio, mientras tanto con la glorieta los usuarios requieren incorporarse a la calle 69 para girar a la derecha con dirección a la calle 60 por lo que no se consideraba anteriormente.



Como se puede apreciar en las figuras 4.17 y 4.18, la turbo glorieta proyectada de tipo rotor reduce los puntos de conflicto en la entrada de 26 puntos en la glorieta a 19 puntos en la turbo glorieta siendo un 27% la reducción de los puntos de conflictos, mientras tanto los puntos de conflicto en la salida pasaron de 10 en la glorieta a 0 con la turbo glorieta.

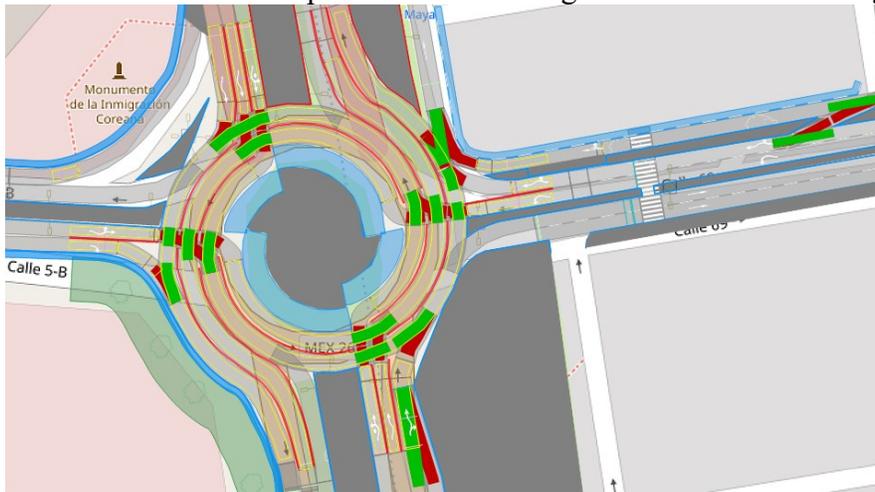


Figura 4. 17: Puntos de conflicto en la turbo glorieta, siendo 19 puntos de conflicto para los accesos y 0 salidas.



Figura 4. 18: Puntos de conflicto en la glorieta actual, siendo 26 puntos de conflicto para los accesos y 10 salidas.

La longitud de cola es un parámetro importante en los estudios de tránsito y un buen referente para cotejar dos o más tipo de modelos de intersecciones a nivel. La longitud de cola se da cuando la demanda en la calzada de circulación por parte de los automovilistas excede la capacidad del servicio, es decir, el número de coches esperando en un carril en un



instante de tiempo. En las figuras del 4.19 al 4.23 se muestran las gráficas comparativas de los valores de longitud de cola en los años 2019, 2020, 2024, 2029 y 2034 obtenidos de la micro simulación.

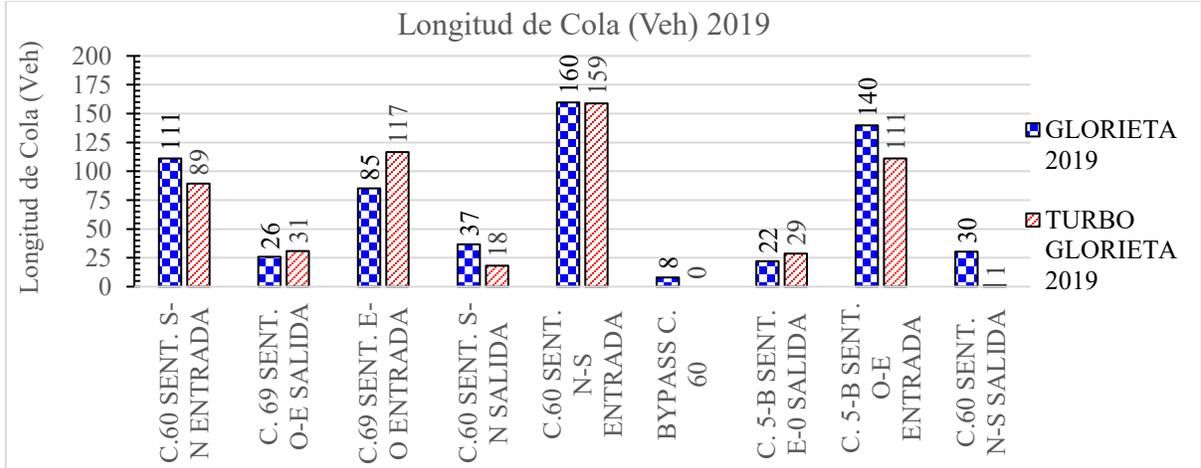


Figura 4.19: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta del año 2019.

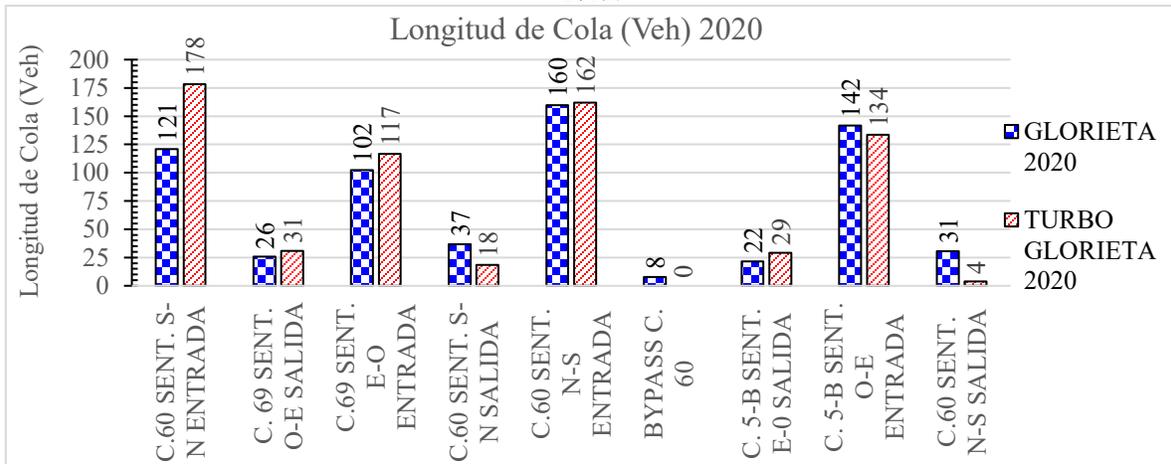


Figura 4.20: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta al año (2020).

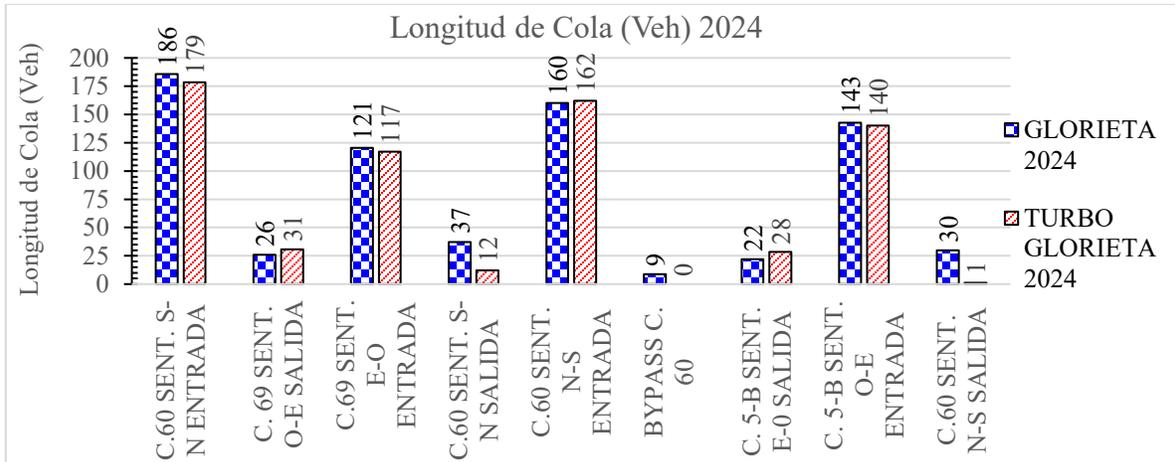


Figura 4.21: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los cinco años (2024).

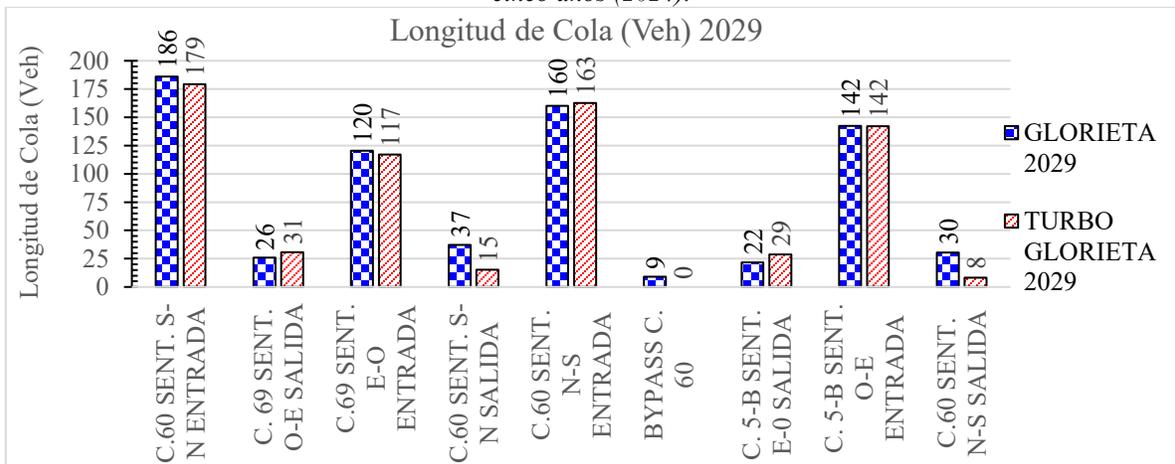


Figura 4.22: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los diez años (2029).

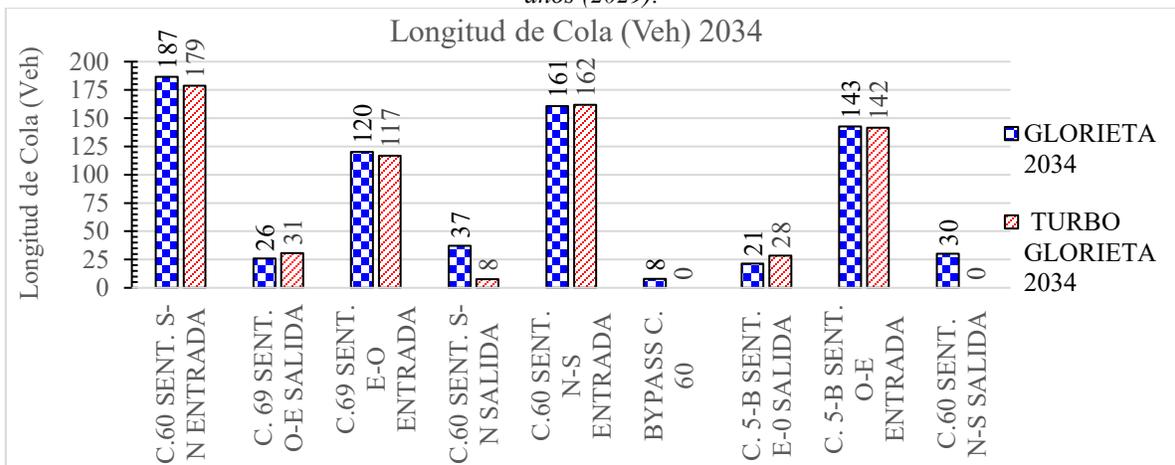


Figura 4.23: Gráfica comparativa de longitud de cola entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los quince años (2034).



Como se puede observar en las figuras anteriores, en el año 2019 la turbo glorieta en la mayoría de los accesos de entrada a la intersección se presenta una disminución la longitud de cola de hasta 29 vehículos, con excepción con el acceso de la calle 69 debido a que se muestra un mejor comportamiento en la glorieta. En las salidas igual se presenta un mejoramiento como en el caso de la calle principal (Calle 60) en vista que disminuye hasta un 97% la longitud de cola.

Del 2020 al 2034 se presenta que las longitudes de cola en los accesos de entrada a la intersección son semejantes los valores de longitud de cola en ambos modelos. En la calle 69 así como en el 2019 se muestra un mejor comportamiento con la glorieta. En las salidas es donde se distingue el mejor funcionamiento de la turbo glorietas a pesar de que aumento el volumen vehicular en la zona.

En las siguientes graficas (figura de la 4.24 a la figura 4.28) se compara la demora promedio entre la turbo glorieta y la glorieta convencional por tramo de entrada y salida. En este parámetro se muestra que la turbo glorieta se aprecia una mejora notable en la calle 5-B tanto en entrada como en salida en los años simulados, mientras que en la calle 69 se observa que la turbo glorieta presenta un gran retraso de tiempo. En la calle 60 se presenta una ligera mejoría en la demora en sentido Norte – Sur, mientras que en sentido Sur – Norte se presenta un aumento en la demora en los años subsecuentes del 2019 cotejándolo con la glorieta.

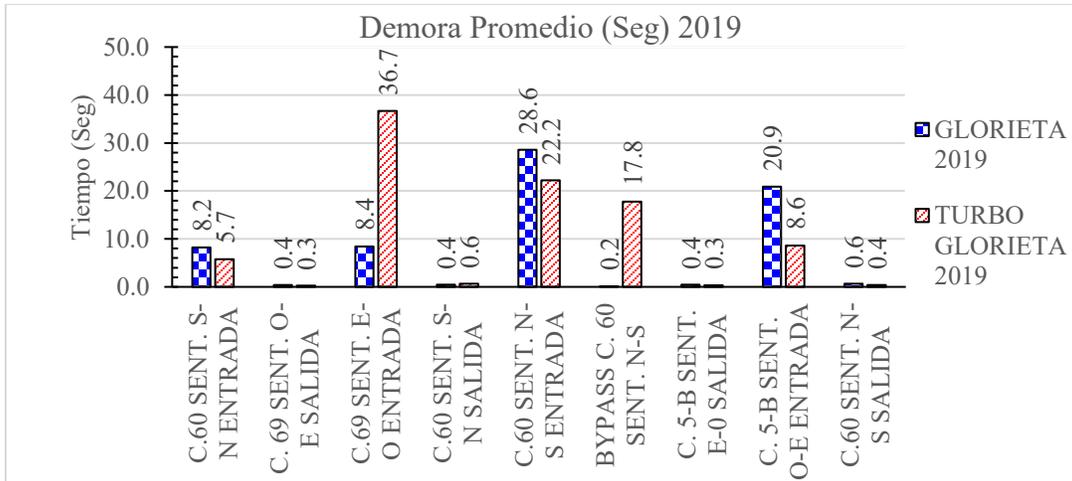


Figura 4.24: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta del año 2019.

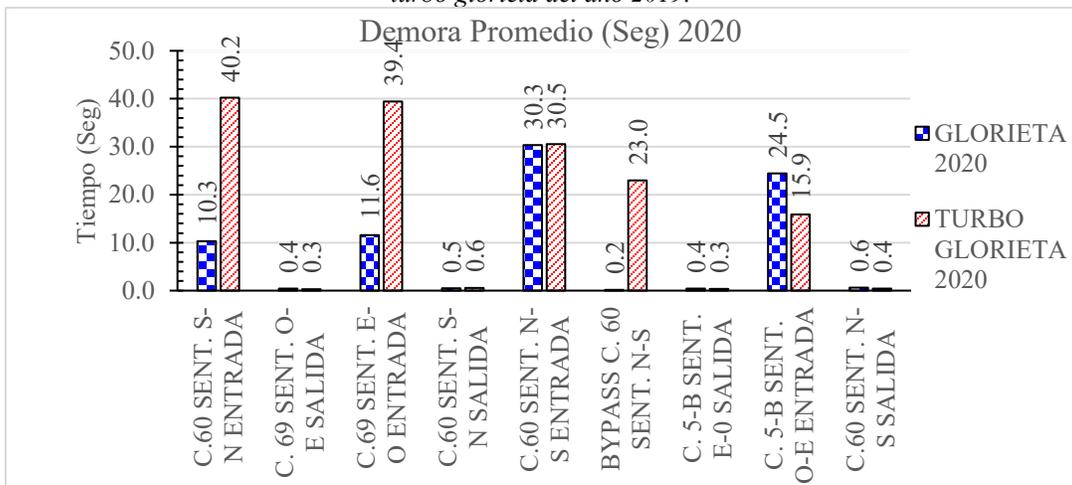


Figura 4.25: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta al año (2020).

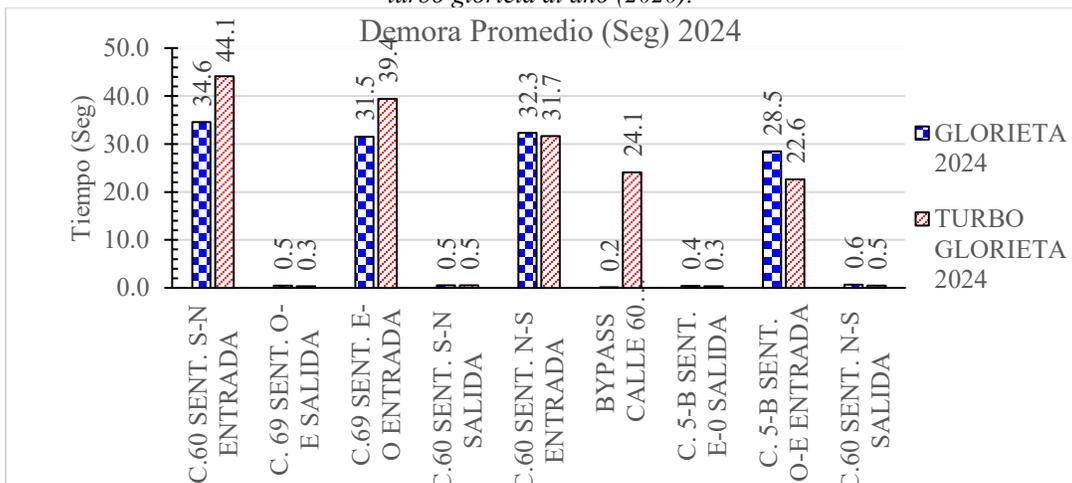


Figura 4.26: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los cinco años (2024).

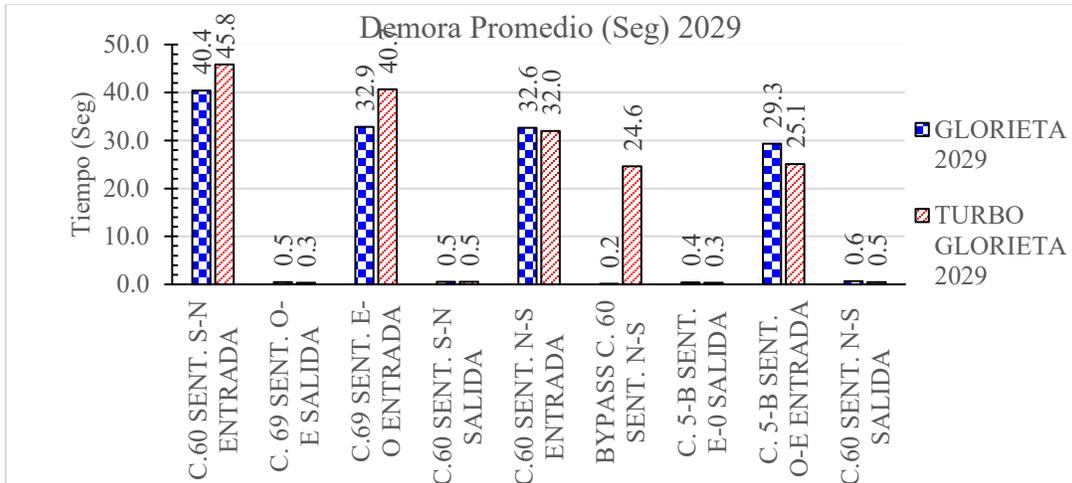


Figura 4.27: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los diez años (2029).

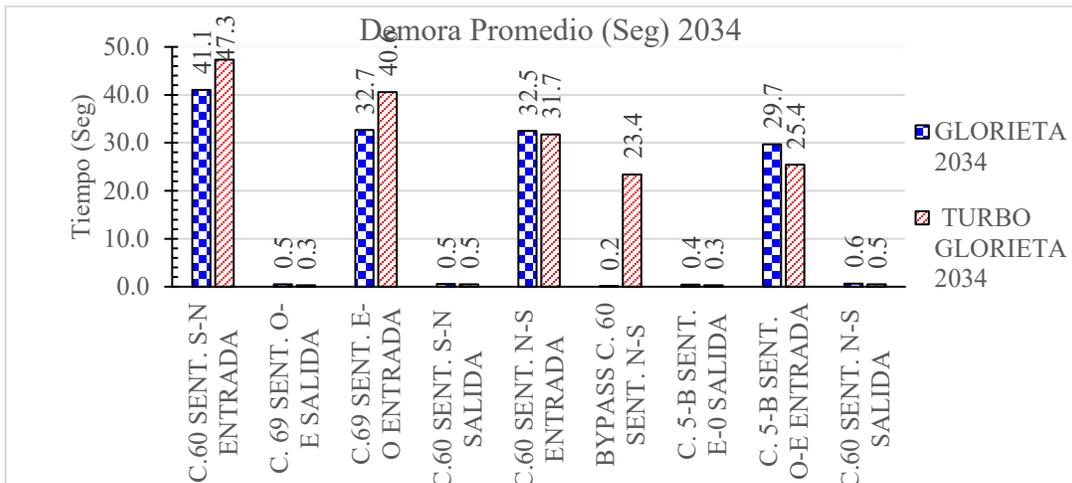


Figura 4.28: Gráfica comparativa del parámetro de demora promedio (Seg) entre glorieta convencional vs turbo glorieta a los quince años (2034).

En lo relativo al nivel de servicio basándose en la demora promedio y de acuerdo con la tabla 4.6 fundamentada de la tabla 21-1 (Criterio de LOS: Modo Automóvil) del Manual de Capacidad en carreteras del *Transportation Research Board* (TRB) en su volumen III se puede apreciar los criterios para considerar el nivel de servicio de cada tramo o calle en una intersección de tipo glorieta. En el caso de este proyecto el nivel de servicio se obtuvo por medio del software PTV VISSIM 8.0, ver tabla 4.7 y 4.8.



Tabla 4.6: Nivel de servicio (LOS) en glorietas convencionales. (Transportation Research Board of the National Academies, 2010)

DEMORA PROMEDIO (S/veh)	NIVEL DE SERVICIO POR RELACIÓN VOLUMEN – CAPACIDAD	
	$v/c \leq 1.0$	$v/c \geq 1.0$
0 – 10	A	F
>10 - 15	B	F
>15 – 25	C	F
> 25 – 35	D	F
> 35 - 50	E	F
> 50	F	F

Tabla 4.7: Comparativa del Nivel de servicio (LOS) de la glorieta vs turbo glorieta tipo rotor en el año 2019.

TRAMO	C.60 SENT. S-N ENTRADA	C.69 SENT. E-O ENTRADA	C.60 SENT. N-S ENTRADA	C. 5-B SENT. O-E ENTRADA
<b>GLORIETA 2019</b>				
DEMORA (S/VEH)	8.21	8.39	28.62	20.86
NIVEL DE SERVICIO	A	A	C	C
<b>TURBO GLORIETA 2019</b>				
DEMORA (S/VEH)	5.73	36.68	22.19	8.59
NIVEL DE SERVICIO	A	E	C	A



Tabla 4. 8: Comparativa del Nivel de Servicio (LOS) de la glorieta vs turbo glorieta tipo rotor al año (2020), cinco años(2024), diez años (2029) y a los quince años (2034).

TRAMO	C.60 SENT. S-N ENTRADA	C.69 SENT. E-O ENTRADA	C.60 SENT. N-S ENTRADA	C. 5-B SENT. O-E ENTRADA
<b>GLORIETA 2020</b>				
DEMORA (S/VEH)	10.29	11.60	30.34	24.47
NIVEL DE SERVICIO	B	B	D	C
<b>TURBO GLORIETA 2020</b>				
DEMORA (S/VEH)	40.24	39.43	30.54	15.86
NIVEL DE SERVICIO	E	E	D	B
<b>GLORIETA 2024</b>				
DEMORA (S/VEH)	34.57	31.5296	32.3	28.47
NIVEL DE SERVICIO	E	D	E	D
<b>TURBO GLORIETA 2024</b>				
DEMORA (S/VEH)	44.1047	39.4035	31.6587	22.6355
NIVEL DE SERVICIO	E	E	D	C
<b>GLORIETA 2029</b>				
DEMORA (S/VEH)	40.41	32.8631	32.64	29.34
NIVEL DE SERVICIO	F	D	F	D
<b>TURBO GLORIETA 2029</b>				
DEMORA (S/VEH)	45.8	40.7	32.0	25.1
NIVEL DE SERVICIO	F	E	D	D
<b>GLORIETA 2034</b>				
DEMORA (S/VEH)	40.46	33.66	33.23	28.99
NIVEL DE SERVICIO	F	E	D	E
<b>TURBO GLORIETA 2034</b>				
DEMORA (S/VEH)	47.34	40.59	31.72	25.43
NIVEL DE SERVICIO	F	F	D	D

Como se puede observar en las tablas 4.7 y 4.8 el Nivel de servicio en la calle 60 A en sentido Sur – Norte se pueden considerar que los dos modelos tienen un buen nivel de servicio en el 2019, y ya en los años siguientes se considera un mejor nivel de servicio la glorieta que la turbo glorieta. En la calle 69 en sentido Este – Oeste se tiene un mejor nivel de servicio con la glorieta y en los años subsiguientes se mantendría una misma tendencia.



En la calle 60 en sentido Norte – Sur en el año 2019 los dos tienen un nivel aceptable de nivel de servicio y después del año 2024 mientras que en la glorieta ya tiene un nivel deplorable, la turbo glorieta el nivel de servicio es D y por último en la calle 5-B en sentido Oeste – Este el nivel de servicio con la turbo glorieta es nivel A mientras que con la glorieta ya alcanzó un nivel C que significa que el flujo estable, al final del proyecto de vida en este tramo el nivel de servicio en la turbo glorieta alcanza el nivel D que representa que se aproxima a un flujo inestable y en glorieta ya se encuentra en un nivel E.

Como se ilustra en las gráficas de las figuras del 4.29 a la 4.33 las emisiones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) en la turbo glorieta al reemplazarla por la glorieta se aprecia una disminución general del CO<sub>2</sub> en la intersección de un 16.35% en el 2019, en lo que se refiere particularmente por tramos se presenta una disminución en la entradas de las glorietas entre un 21.90% a un 64.01%, mientras que en las salidas de las glorietas hay una reducción entre el 47.79% y 80.43% con excepción del tramo calle 69 sentido Este – Oeste puesto que aumenta un 300% la emisión con el proyecto de la turbo glorieta a causa de que los automovilistas esperan demasiado tiempo para ingresar a la turbo glorieta. En los años consecutivos de la vida útil del proyecto se aprecia que CO<sub>2</sub> es mucho menor en la turbo glorieta en comparación a la glorieta que se encuentra actualmente en funcionamiento.

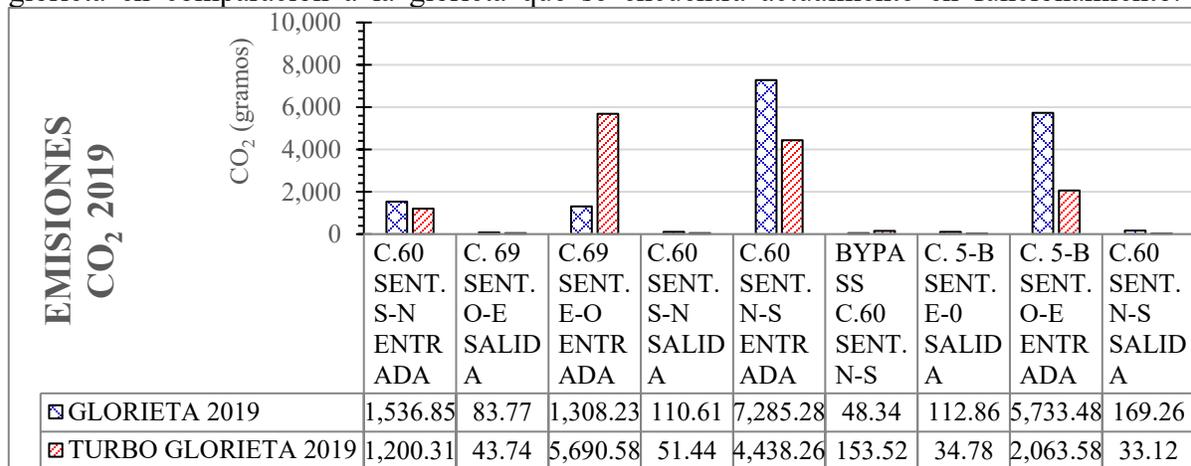


Figura 4.29: Gráfica comparativa de las emisiones CO<sub>2</sub> en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta en el año 2019.

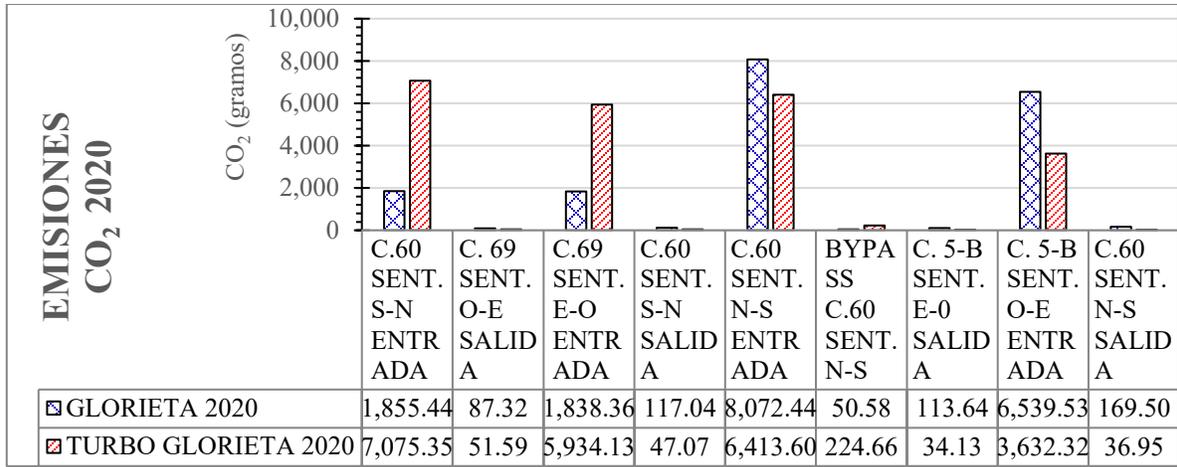


Figura 4.30: Gráfica comparativa de las emisiones CO<sub>2</sub> en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta al año (2020).

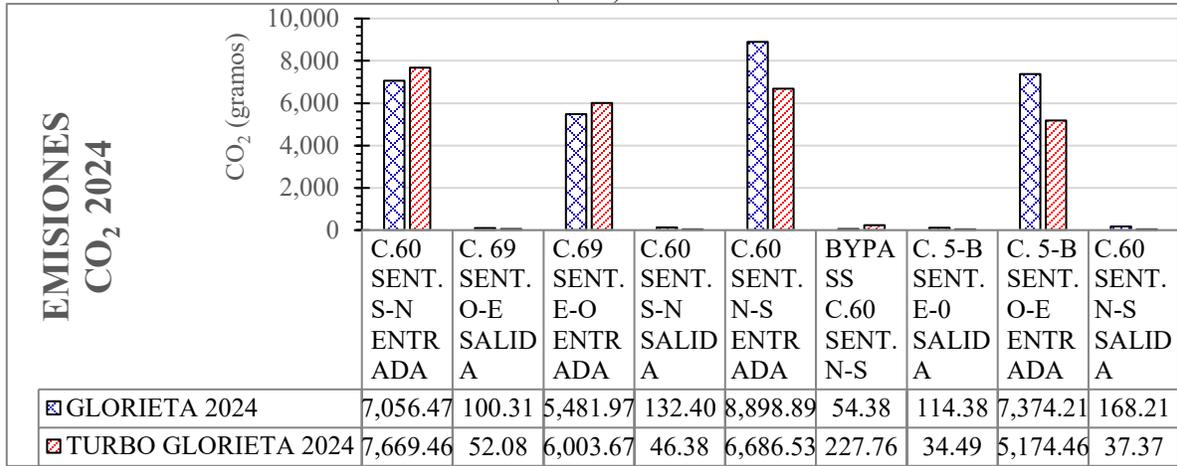


Figura 4.31: Gráfica comparativa de las emisiones CO<sub>2</sub> en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los cinco años (2024).

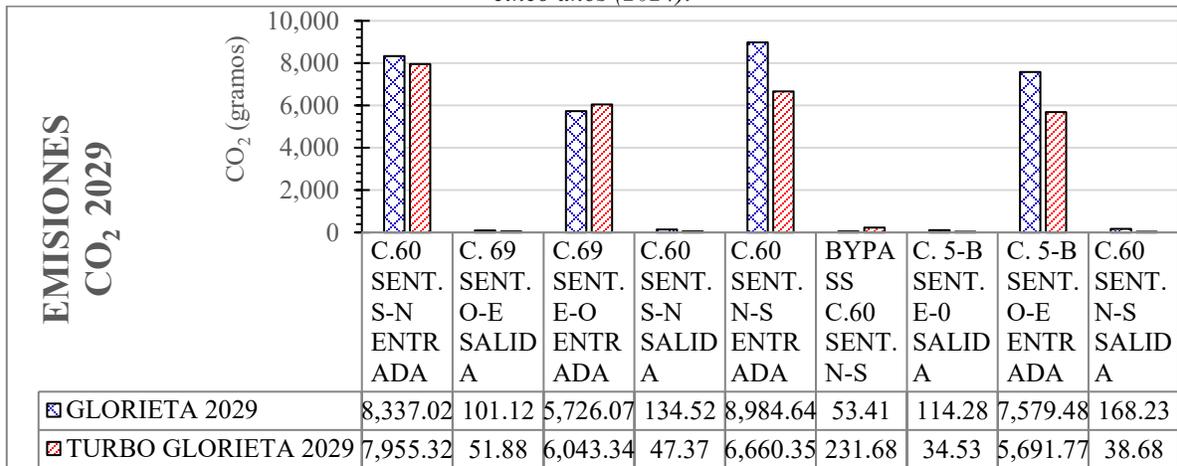


Figura 4.32: Gráfica comparativa de las emisiones CO<sub>2</sub> en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los diez años (2029).

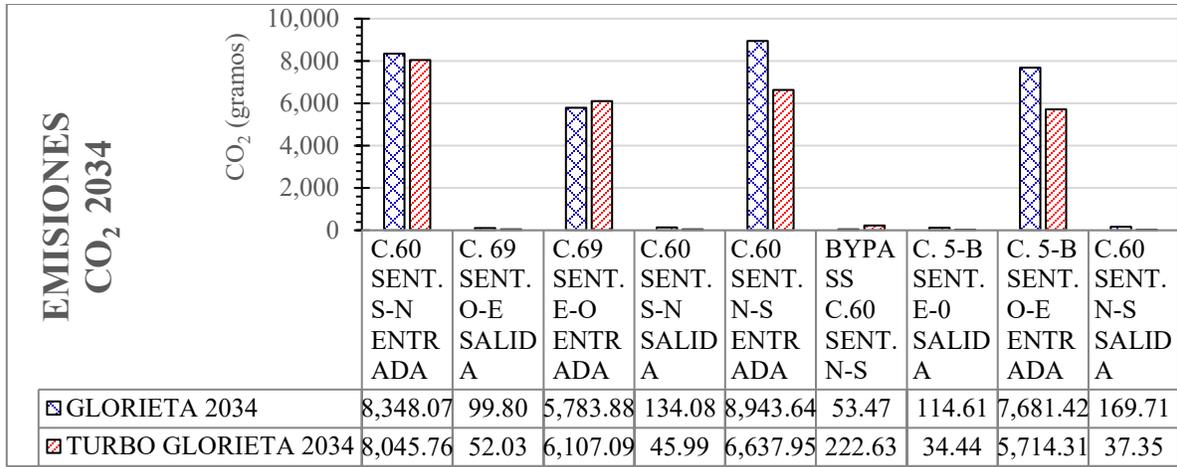


Figura 4.33: Gráfica comparativa de las emisiones CO<sub>2</sub> en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los diez años (2029).

En las gráficas (Figuras del 4.34 al 4.38) de las emisiones Óxido de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) se presenta una disminución en el 2019 en la calle principal (calle 60) de 553.93 gramos en el sentido de N-S y de S-N 65.48 gramos, por lo contrario, en la calle 69 en sentido se presenta un aumento de 852.65 gramos en el sentido de E-O. En el año 2034 se presenta una disminución de hasta 448.60 gramos en la calle 60 en el sentido de N-S y en la calle 69 en sentido E-O se asemeja.

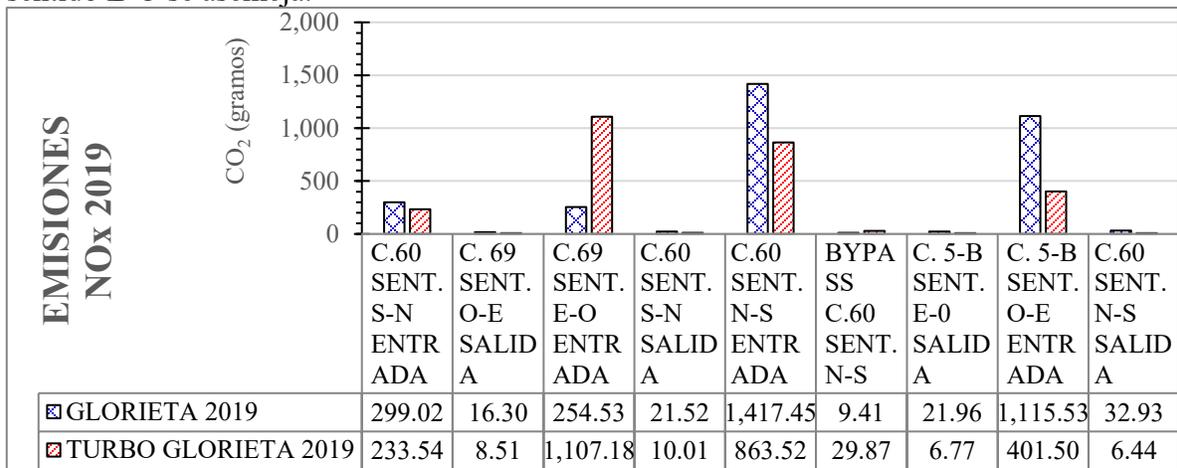


Figura 4.34: Gráfica comparativa de las emisiones NO<sub>x</sub> en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta en el año 2019.

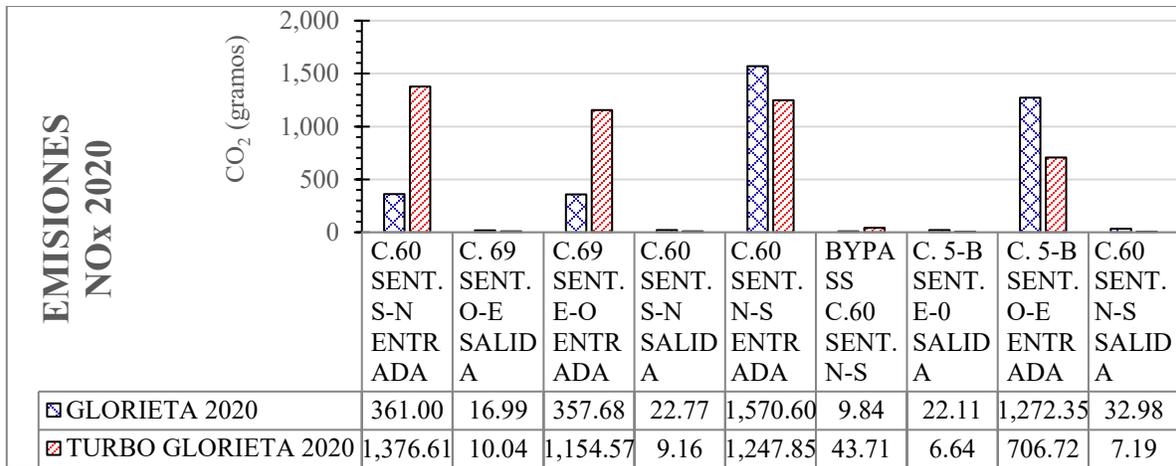


Figura 4.35: Gráfica comparativa de las emisiones NOx en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta al año (2020).

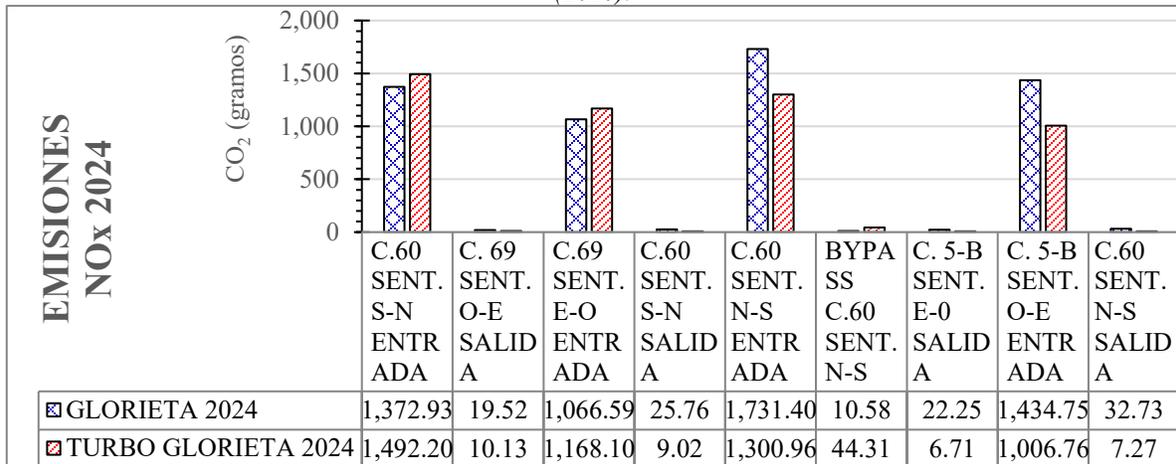


Figura 4.36: Gráfica comparativa de las emisiones NOx en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los cinco años (2024).

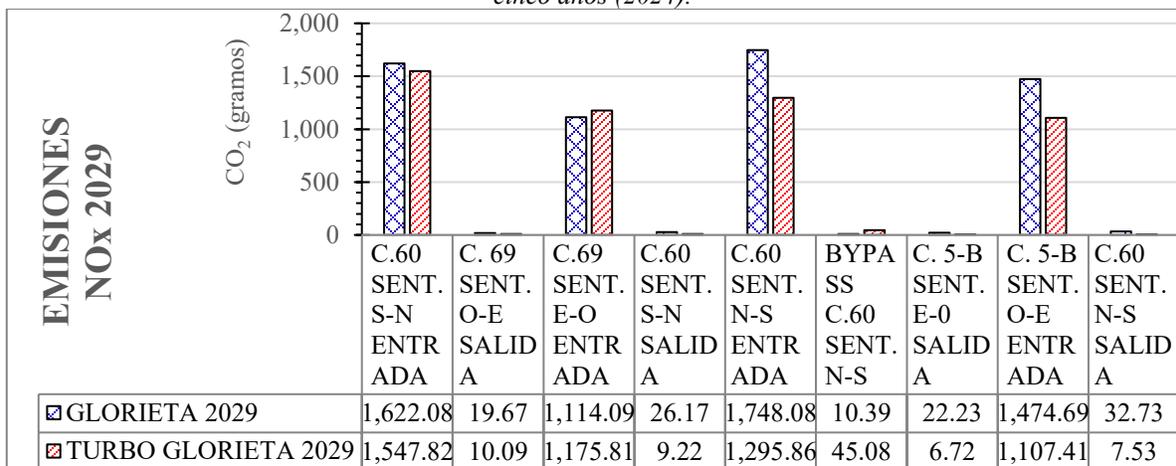


Figura 4.37: Gráfica comparativa de las emisiones NOx en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los diez años (2029).

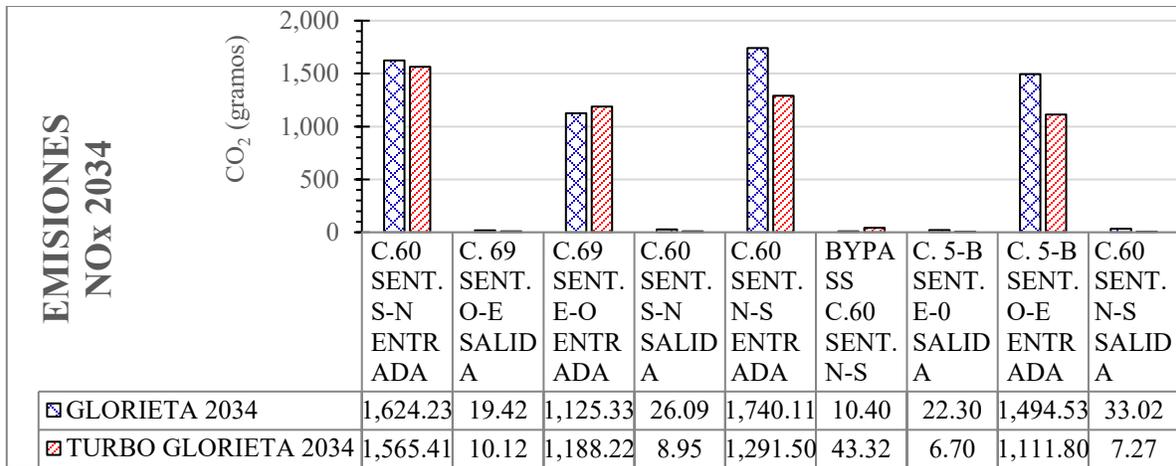


Figura 4.38: Gráfica comparativa de las emisiones NOx en los nodos de la glorieta vs turbo glorieta a los quince años (2034).

En las gráficas siguientes (de la figura 4.38 a la figura 4.43) se ilustra los valores obtenidos sobre las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (por sus siglas en inglés VOC) en el que se presenta una disminución entre el 21.91% hasta un 80.42% en el 2019. Tal como lo presentaron las emisiones de CO<sub>2</sub> y NOx en los años subsiguientes la turbo glorieta tiende a mostrar un menor porcentaje de emisiones en comparación con la glorieta.

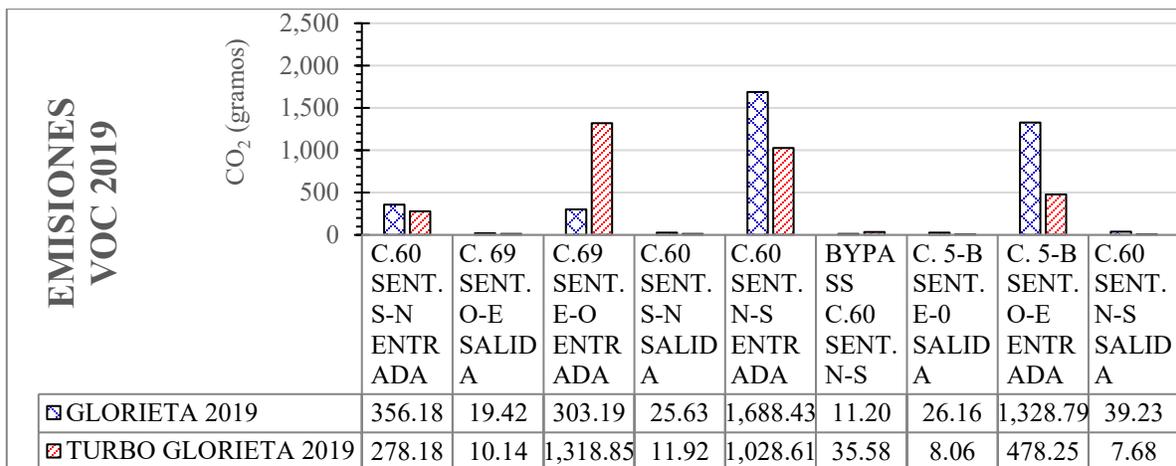


Figura 4.39: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta en el año 2019.

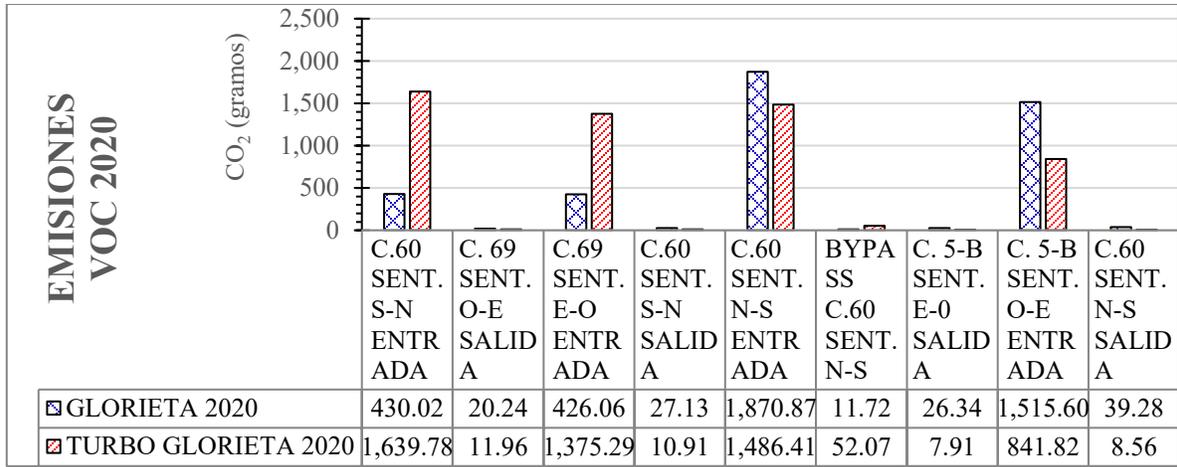


Figura 4.40: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta al año (2020).

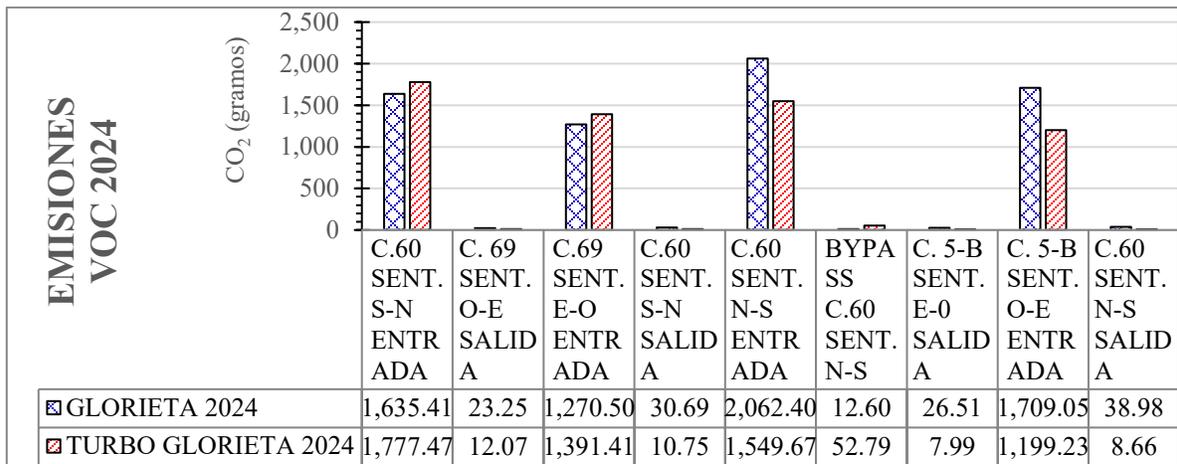


Figura 4.41: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta a los cinco años (2024).

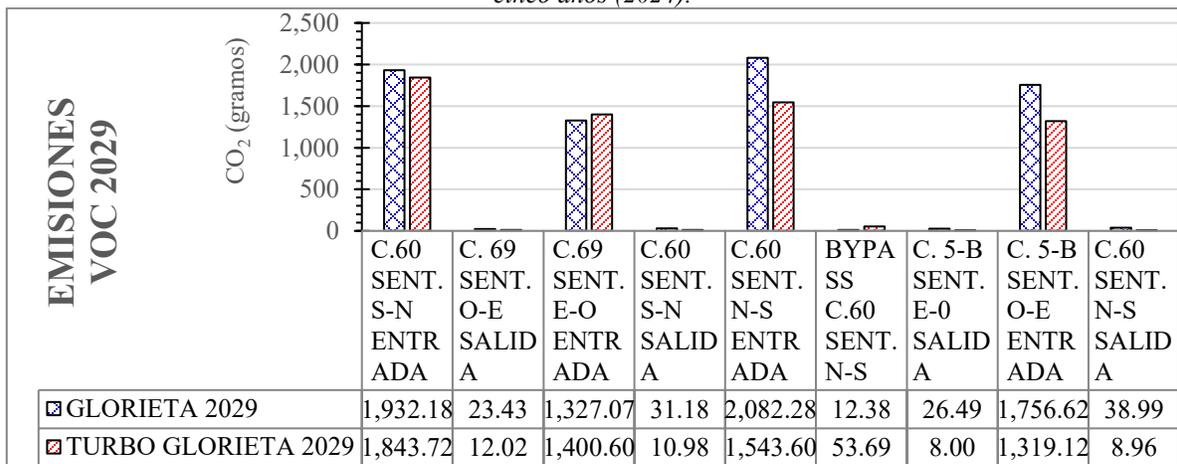


Figura 4.42: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta a los diez años (2029).

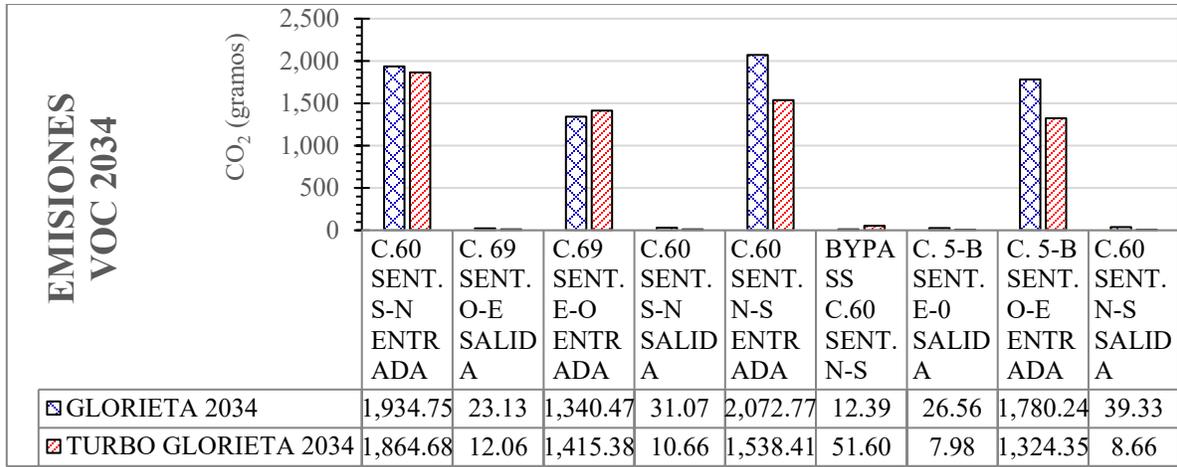


Figura 4.43: Gráfica comparativa de las emisiones VOC en los nodos entre la glorieta vs turbo glorieta a los quince años (2034).



## ***Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones***

El propósito de este estudio fue la comparación por medio de micro simulaciones entre la glorieta convencional que se tiene actualmente, versus una turbo glorieta de tipo rotor como una opción de intersección en la zona, este proyecto se realizó por medio de software de apoyos de diseño y simulación, estos programas fueron el TORUS 5.0 y PTV VISSIM 8.0 respectivamente.

Las turbo glorietas son un diseño de intersección a nivel, desconocido para la mayor parte de los conductores mexicanos. Este diseño ayudará a los usuarios de las vialidades en México en lo que respecta a movilidad urbana, ya que los diferentes tipos de prototipos de las turbo glorietas sirven para controlar la velocidad, dirección de flujo de los vehículos e incluso, enseña a los automovilistas a como transitar en una glorieta convencional, haciendo que tengan los conductores una mejor educación vial.

A pesar de que los conductores en México tienen una forma muy diferente al conducir en comparación a ciudades europeas y de Estados Unidos, la turbo glorieta sería una excelente opción de tipo intersección a nivel. Por lo anterior, sería convincente implementarla en Mérida y en ciudades de la República Mexicana con el fin de mejorar el flujo vial de las urbes.

El volumen de tráfico es elevado en horas pico en la glorieta de Gran Plaza de 3 carriles en la avenida principal (calle 60) y 2 carriles para las avenidas secundarias (calle 69 y calle 5-B). Esto provoca largas colas en los carriles, demoras y retrasos, por ende estrés de los conductores. Los usuarios de esta intersección tienden a hacer cambio de carril dentro de la glorieta, así como también entrecruzamientos al entrar o salir, con consecuencia de ocasionar colisiones y ocasionar aumento del tráfico en la zona.

La propuesta de la geometría propuesta se tuvo que ajustar al espacio que se tiene actualmente para no afectar determinadas zonas y predios habitacionales y comerciales. En este proyecto no se evaluaron los movimientos peatonales que se encuentra en la zona, por lo que podría disminuir el nivel de servicio, aunque debido a la lejanía de los pasos peatonales



no debe afectar la efectividad de la turbo glorieta. A pesar de que la zona cuenta con un gran movimiento del uso de transporte público, este no se evaluó.

Se realizaron cambios geométricos en los accesos de entrada al elaborar la turbo glorieta de tipo rotor. Debido a los criterios declarados por Fortuijn, se asumió a reducir un carril de acceso a la glorieta pasando de cuatro a tres carriles en la calle 60 en sentido Sur – Norte antes de la glorieta. Se abrió el acceso a la intersección de la calle 50 de Cordemex. Aunque Fortuijn sugiere que no se debe cruzar más de dos carriles, debido a que es difícil para el conductor, lo anterior se tuvo que realizar en este proyecto, debido a los flujos direccionales que efectúan los usuarios en esa intersección. Ejemplo de esto es la calle 69 y 5-B, sin embargo, los de la calle 5-B no tenían tanto problema ya que el 54% de los automóviles giraban a la derecha.

Se efectuaron quince simulaciones con el tránsito obtenido en campo (2019) y para los tránsitos a futuro al año (2020), cinco (2024), diez (2029) y quince (2034) años, tanto de la glorieta como de la turbo glorieta, con el fin de promediar los datos paramétricos. Los valores GEH de la red de flujo vehicular para la glorieta fueron menores a 5, por lo que el modelamiento cumplía con los estándares de calibración, mientras que con la turbo glorieta fueron mayores a 10, por ende el modelamiento no cumplía con la calibración, la explicación de esto es debido a que en la simulación los vehículos en la calle 60, antes de acceder a la glorieta los vehículos del simulador pretendían cambiarse del tercer carril (carril interior) al primer carril (carril exterior) para proseguir su camino derecho, aun definiendo en los parámetros de rutas que cualquiera de los carriles tienen la opción de continuar sobre la calle 60, a pesar de que se delimitó los movimientos, al realizar la simulación efectuaba movimientos que atoraban el tráfico en la simulación, consiguiendo que no pasaran el total de vehículos colocados inicialmente en la modelación.

Los alcances de esta investigación fueron limitados para la intersección en la zona urbana de Mérida, Yucatán, debido a que:



- En México no se cuenta con algún antecedente de investigación de turbo glorietas.
- No existen manuales o normas para el diseño, construcción y evaluación de glorietas convencionales adaptadas para nuestro país y menos de las turbo glorietas.
- No se examinó el movimiento de flujo peatonal en la simulación.
- No se contempló ascenso y descenso del transporte público en la zona
- No se analizaron costos de construcción y mantenimiento de la turbo glorietta.

En conclusión, con lo que respecta a diseño geométrico, la turbo rotonda presenta un mejor alineamiento horizontal en las calles que confluyen en la intersección, en vista de que ayuda a tener una mejor canalización de flujo en la zona y con los obstáculos entre los carriles permite que los usuarios bajen su velocidad y eviten entrecruzarse dentro de la glorietta y al salir de ella. En lo que respecta a la modelación, los resultados de los parámetros de longitud de cola, demora, nivel de servicio y emisiones de gases invernadero, muestran que la turbo rotonda presentó una pequeña mejora la avenida principal (calle 60) y en la calle 5-B en la modelación tanto con el estado actual del tráfico y al pasar los años hasta los quince años de vida útil en comparación de la glorietta que se tiene actualmente. En la calle 69 se presentó que la glorietta es la mejor opción.

Con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y VOC se presentó una disminución de hasta el 80% de reducción en comparación con una glorietta en las calles 60 y 5-B, mientras que en la calle 69 se presentó un aumento al entrar a la glorietta, debido a que los automóviles permanecen mucho tiempo para poder acceder a la calzada giratoria. A pesar del inconveniente en la calle 69, la turbo glorietta ambientalmente sería beneficioso para la ecología.

Se reubicaron los pasos peatonales, alejándolos un poco más de la intersección con el fin de darles una mayor seguridad



Debido a que no se alcanzó el propósito de darle una mejor fluidez vehicular en las horas pico, modificando la intersección con una turbo glorieta de tipo rotor durante la vida útil de este proyecto, a causa del volumen vehicular que tendría en un futuro y a los movimientos direccionales de los usuarios en la intersección a nivel, se recomienda hacer un estudio técnico o de investigación empleando un paso a desnivel inferior “deprimido” en la calle 60 y, arriba del paso a desnivel, colocar en el cruzamiento con la calle 5-B de la Col. Xcumpich y la calle 69 de la colonia Cordemex una turbo glorieta .

Aunque las turbo glorietas han sido un gran éxito en Europa, en especial en los Países Bajos, para que en Yucatán y en México puedan tener un gran éxito como en aquellas urbes europeas, y no se convierta en un fracaso como en otro tipo de obras que se han realizado para el mejoramiento del flujo vehicular, es preciso que se adapte a las características y necesidades de la zona, así como también de contar en México con un manual para el diseño de glorietas y turbo glorietas.

A pesar de que en la modelación se nos presenta un mejoramiento en el flujo vial, es preciso recalcar que para que en la vida real este tipo de innovación sea eficaz como en otros países, a las autoridades les convendría hacer una campaña del funcionamiento de este tipo de intersecciones a nivel dado que para muchos usuarios sería muy confuso con consecuencia de que en la zona se tengan muchos accidentes, flujo lento del tránsito y gran estrés por parte de los conductores.

Mientras que la gente en México se acostumbra a este tipo de intersecciones circulares, se debe de emplear canalizadores montables con el fin de que los conductores no invadan los carriles adyacentes y evitar los entrecruzamientos. Evitar el uso de boyas de plástico como separador, ya que para los conductores sería fácil cruzarlo.



## Referencias

- Alayón Barbosa, Y. A., & Olivos Turarrosa, J. A. (2015). *Universidad Católica de Colombia*. Tesis. Recuperado el 09 de Septiembre de 2018, de Universidad Católica de Colombia: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2812/4/ARTICULO%20TURBO%20GLORIETAS.pdf>
- Ayuntamiento de Mérida. (2017). *Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Mérida. Nivel Normativo*. Ayuntamiento de Mérida, Consejo Municipal de Ordenamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Vivienda. Mérida: Ayuntamiento de Mérida. Recuperado el 15 de Agosto de 2019, de <http://isla.merida.gob.mx/serviciosinternet/ordenamientoterritorial/paginas/pmdu.php>
- Bastos Silva, A., Vasconcelos, L., & Santos, S. (2014). Moving from conventional Roundabouts to Turbo-Roundabouts. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 137-146. doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.046
- Bastos-Silva et al. (Mayo de 2013). Turbo-Roundabout use and design. *Proceedings of CITTA 6th Annual Conference on Planning Research*. Recuperado el 2019, de [https://www.dec.uc.pt/~abastos/Outputs/congressos%20nacional/Citta2013\\_turbo.pdf](https://www.dec.uc.pt/~abastos/Outputs/congressos%20nacional/Citta2013_turbo.pdf)
- Brillon, W. (2005). Roundabouts: a state of the Art in Germany. *National Roundabout Conference*. Vail Colorado, United States: Transportation Research Circular. Recuperado el 06 de Mayo de 2019, de [https://www.researchgate.net/publication/237635143\\_Roundabouts\\_A\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_in\\_Germany](https://www.researchgate.net/publication/237635143_Roundabouts_A_State_of_the_Art_in_Germany)
- Bulla Cruz, L. A. (2010). *Metodología para la Evaluación Técnica y Operativas de Turboglorietas como Alternativa de Intersección Vial en el Ambito Urbano*. Tesis de Magister en Ingeniería - Transporte, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá. Recuperado el 12 de 12 de 2018, de Bdigital Repositorio Institucional: <http://bdigital.unal.edu.co/3966/1/02300078.2010.pdf>
- Carretero, R. (07 de Febrero de 2015). *EL HUFFINGTON POST*. (EL HUFFINGTON POST) Recuperado el 29 de ENERO de 2019, de EL HUFFINGTON POST: [https://www.huffingtonpost.es/2015/02/07/turborrotondas\\_n\\_6577420.html](https://www.huffingtonpost.es/2015/02/07/turborrotondas_n_6577420.html)
- Chodur, J., & Bak, R. (Septiembre de 2016). Study of driver behaviour at turbo-roundabouts. *Archives of Transport*, 38(2), 17-28. doi:10.5604/08669546.1218790
- Construmática. (Abril de 2009). *Construmática. Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción*. Recuperado el 19 de Julio de 2019, de [https://www.construmatica.com/construpedia/Tipos\\_de\\_Glorietas](https://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_Glorietas)
- Coordinación de Comunicación Social del Municipio de Chihuahua. (24 de Noviembre de 2018). Dan banderazo de arranque a construcción de la primer Turbo Glorieta al sur de la ciudad. *Dan banderazo de arranque a construcción de la primer Turbo Glorieta al sur de la ciudad*(1). Chihuahua, Chihuahua, México: Gobierno Municipal de Chihuahua. Recuperado el 30 de Enero de 2019, de <http://www.municipiochihuahua.gob.mx/Prensa/Noticia/10995>
- Darder Gallardo, V. (04 de 2005). *UPCommons. Portal de acceso abierto al conocimiento de la UPC*. Recuperado el 12 de 12 de 2018, de Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3375>
- DGST. (2018). *Secretaría de Comunicaciones y Transporte*. Recuperado el 05 de 2019, de Secretaría de Comunicaciones y Transporte: <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/capacidades-y-niveles-de-servicio/>
- Engelsman, J., & Uken, M. (Julio de 2007). *UPSpace Institutional Repository*. Recuperado el 06 de Septiembre de 2018, de Department of Library Services: <https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/5909/013.pdf?sequence=1>
- Escuela Técnica Superior de Edificación. (Marzo de 2016). *GeoLab. Web de Geometría ETSEM*. Recuperado el Mayo de 2019, de Universidad Politécnica de Madrid: <http://www.edificacion.upm.es/geometria/JPA/EspArq.html>



- Fortuijn. (Enero de 2003). Pedestrian and Bicycle-Friendly Roundabouts; Dilemma of Comfort and Safety.
- Fortuijn, L. (Enero de 2009). Turbo Roundabouts Estimation of Capacity. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*(2130), 83 - 92. doi:10.3141/2130-11
- Fortuijn, L. (2009). Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance. *Transportation Research Record*, 2096(1), 16-24. doi:http://dx.doi.org/10.3141/2096-03
- Gallelli, V., Iuele, T., & Vaiana, R. (2016). Conversion of a semi-two lanes roundabout into a turbo-roundabout: a performance comparison. *Procedia Computer Science*(83), 393-400. doi:10.1016/j.procs.2016.04.201
- Guerrieri, M., Corriere, F., & Ticalli, D. (Diciembre de 2012). Turbo-Roundabouts: a Model to Evaluate Capacity, Delays, Queues and Level of Service. *European Journal of Scientific Research*, 92(2), 267-282. Recuperado el 2019, de [https://www.academia.edu/20696075/Turbo-Roundabouts\\_a\\_Model\\_to\\_Evaluate\\_Capacity\\_Delays\\_Queues\\_and\\_Level\\_of\\_Service](https://www.academia.edu/20696075/Turbo-Roundabouts_a_Model_to_Evaluate_Capacity_Delays_Queues_and_Level_of_Service)
- Guerrieri, M., Ticalli, D., & Corriere, F. (Abril de 2012). *Turbo roundabouts: geometric design parameters and performance analysis*. Recuperado el 29 de Enero de 2019, de <http://dl6.globalstf.org/index.php/joc/article/view/1012/947>
- Indiana Department of Transportation. (2019). *ROUNDABOUTS*. Recuperado el 26 de Marzo de 2018, de Indiana Department of Transportation: <https://www.in.gov/indot/3249.htm>
- INGETRA Ingeniería de Transito. (Enero de 2007). *INGETRA Ingeniería de Transito*. Recuperado el 16 de Marzo de 2019, de Tyssa Transito: [http://www.tyssatransito.com/pag\\_24.htm](http://www.tyssatransito.com/pag_24.htm)
- Irevena, J., & Randahl, S. (2010). *Analysis of gap acceptance in a saturated two-lane roundabout and implementation of critical gaps in VISSIM*. Tesis, Lund University, Department of Technology and Society. Recuperado el Agosto de 2019, de [http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/dok/publ/5000/thesis194\\_JI\\_SR\\_scr.pdf](http://www.tft.lth.se/fileadmin/tft/dok/publ/5000/thesis194_JI_SR_scr.pdf)
- Luque Rodríguez, P., & Álvarez Mántaras, D. (2007). *Investigación de Accidentes de Tráfico. Manual de Reconstrucción* (Primera ed.). (M. Martínez, Ed.) España: Netbiblo. Recuperado el Agosto de 2019, de [www.netbiblo.com](http://www.netbiblo.com)
- Ministry of Transport, Public Works and Water Management of Holland. (2009). *Roundabouts - Application and Design. A practical manual*. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, p. Holanda: Royal Haskoning. Recuperado el 28 de Enero de 2019, de <http://hdl.handle.net/11250/192964>
- Murphy, T. (2015). The Turbo Roundabout a First in North America. En Parsons (Ed.), *2015 Decade of Action Road Safety Awards and the TAC Road Safety Engineering Award* (pág. 16). Charlottetown: Transportation Association of Canada. Recuperado el 29 de Enero de 2019, de <https://www.tac-atc.ca/en/conference/papers/turbo-roundabout-first-north-america>
- National Cooperative Highway Research Program . (2010). *Roundabouts: An informational guide FHWA -2010* (Segunda ed.). (Francisco, Trad.) Washington, DC: Transportation Research Board and National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. doi:10.17226/22914
- Pitlova, E., & Kocianova, A. (22 de Junio de 2017). *Case study: capacity characteristics comparison of single-lane roundabout and turbo-roundabouts*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.121>
- PTV GROUP. (2015). *VPTV GROUP*, 11. Obtenido de PTV GROUP: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim/>
- Rubio Martín, J. L. (Marzo de 2004). *Glorietas. Consultoría de Ingeniería Civil*. (Creative commons) Recuperado el Agosto de 2019, de Glorietas. Consultoría de Ingeniería Civil.: <https://glorietas.com>
- Sanchez Osorio, R. F., & Gil Angel, L. Y. (2016). *Guía Metodológica y modelamiento de una turbo glorieta tipo estrella y paso a desnivel en la autopista sur con calle 59 sur, Bogotá D.C.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Tecnología en Topografía, Facultad de Medio



- Ambiente y Recursos Naturales. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado el 29 de Enero de 2019, de <http://hdl.handle.net/11349/3356>
- Shrayteh, M. A. (2015). *Capacity models for multilane roundabouts and their evaluation using microscopic simulation models*. Tesis Master, United Arab Emirates University, Department of Civil Engineering. Recuperado el Agosto de 2019, de United Arab Emirates University: [https://scholarworks.uaeu.ac.ae/cgi/viewcontent.cgi?article=1057&context=all\\_theses](https://scholarworks.uaeu.ac.ae/cgi/viewcontent.cgi?article=1057&context=all_theses)
- The Department for Transport and Highways England. (2007). *Geometric Design of Roundabouts*. The Highways Agency, The Department for Transport and Highways England. Escocia: The Department for Transport and Highways England. Recuperado el 30 de Agosto de 2019, de <http://www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/dmrb/vol6/section2/td1607.pdf>
- The Times. (14 de Julio de 2008). *Frank Blackmore: traffic engineer and inventor of the mini roundabout*. Recuperado el 12 de 12 de 2018, de The times: <https://www.thetimes.co.uk/article/frank-blackmore-traffic-engineer-and-inventor-of-the-mini-roundabout-33dwzp332lr>
- Transportation Research Board of the National Academies. (2010). *HCM2010. Highway Capacity Manual* (Vol. III). Washington, DC: Transportation Research Board. Recuperado el 2019
- Valenzuela Ñañez, J. R. (2017). *Diseño comparativo como alternativa entre turbo rotonda convencional, mediante la microsimulación de tránsito*. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Lima: Universidad de Piura. Recuperado el 30 de Enero de 2019, de <https://hdl.handle.net/11042/3451>
- Yperman, I., & Immers, B. (2003). *Capacity of a Turbo-Roundabout Determined by Micro-Simulation*. Artículo, Katholieke Universiteit Leuven , Department of Civil Engineering , Leuven. Recuperado el 29 de Enero de 2019, de [https://www.researchgate.net/publication/228485643\\_Capacity\\_of\\_a\\_turbo-roundabout\\_determined\\_by\\_micro-simulation](https://www.researchgate.net/publication/228485643_Capacity_of_a_turbo-roundabout_determined_by_micro-simulation)



## Apéndice A

Tabla A-1. Resultado del aforamiento vehicular de la intersección de la glorieta de Gran Plaza en Mérida, Yucatán.

<b>Hora</b>	<b>Domingo 31-mar</b>	<b>Lunes 01-abr</b>	<b>Martes 02-abr</b>	<b>Miércoles 03-abr</b>	<b>Jueves 04-abr</b>	<b>Viernes 05-abr</b>	<b>Sábado 06-abr</b>
12:00 a. m.	437	294	245	285	319	416	526
12:15 a. m.	406	229	233	248	281	345	492
12:30 a. m.	284	206	180	205	220	311	427
12:45 a. m.	253	180	144	178	228	219	465
01:00 a. m.	222	135	123	156	174	212	391
01:15 a. m.	194	116	103	149	146	165	307
01:30 a. m.	258	100	77	110	105	183	308
01:45 a. m.	196	83	84	100	118	149	284
02:00 a. m.	0	75	89	76	103	131	225
02:15 a. m.	0	74	69	87	78	109	247
02:30 a. m.	0	61	52	62	72	94	209
02:45 a. m.	0	51	38	49	68	92	202
03:00 a. m.	178	51	41	46	66	95	162
03:15 a. m.	191	48	43	48	59	93	181
03:30 a. m.	172	44	33	54	61	65	172
03:45 a. m.	196	58	42	52	70	90	159
04:00 a. m.	149	62	40	50	55	74	138
04:15 a. m.	125	56	42	42	57	80	129
04:30 a. m.	110	49	51	45	46	61	115
04:45 a. m.	92	65	61	58	80	90	123
05:00 a. m.	82	94	98	96	99	96	122
05:15 a. m.	113	105	101	121	154	151	158
05:30 a. m.	116	151	168	169	160	207	210
05:45 a. m.	119	243	211	231	257	247	208
06:00 a. m.	139	276	285	259	276	280	231
06:15 a. m.	165	502	535	502	493	516	316
06:30 a. m.	209	999	1009	1009	1089	975	373
06:45 a. m.	233	1356	1366	1382	1435	1348	420
07:00 a. m.	217	1300	1325	1351	1394	1271	450
07:15 a. m.	255	1218	1196	1223	1255	1318	550
07:30 a. m.	319	1220	1240	1224	1328	1326	772
07:45 a. m.	333	1341	1352	1477	1467	1419	940
08:00 a. m.	415	1364	1331	1475	1399	1518	1062
08:15 a. m.	437	1298	1370	1506	1365	1398	1053
08:30 a. m.	450	1299	1484	1384	1512	1487	1226



08:45 a. m.	553	1469	1616	1716	1657	1722	1414
09:00 a. m.	535	1381	1520	1567	1600	1616	1385
09:15 a. m.	561	1194	1313	1431	1375	1497	1283
09:30 a. m.	690	1251	1406	1363	1411	1487	1338
09:45 a. m.	790	1221	1421	1454	1393	1546	1443
10:00 a. m.	783	1193	1389	1438	1326	1424	1429
10:15 a. m.	878	1195	1374	1400	1382	1498	1498
10:30 a. m.	915	1190	1497	1436	1407	1536	1539
10:45 a. m.	1075	1303	1488	1452	1386	1520	1605
11:00 a. m.	1019	1204	1437	1421	1360	1681	1554
11:15 a. m.	1107	1257	1454	1500	1481	1577	1674
11:30 a. m.	1111	1212	1520	1566	1426	1659	1658
11:45 a. m.	1167	1266	1562	1560	1433	1671	1665
12:00 p. m.	1201	1359	1631	1510	1490	1744	1758
12:15 p. m.	1168	1274	1649	1624	1448	1728	1704
12:30 p. m.	1303	1425	1584	1580	1497	1726	1764
12:45 p. m.	1329	1301	1627	1633	1533	1638	1734
01:00 p. m.	1348	1398	1633	1725	1633	1668	1707
01:15 p. m.	1359	1505	1784	1687	1568	1646	1709
01:30 p. m.	1315	1497	1717	1742	1531	1655	1724
01:45 p. m.	1335	1535	1697	1647	1548	1655	1636
02:00 p. m.	1460	1528	1712	1630	1694	1656	1634
02:15 p. m.	1455	1474	1559	1524	1529	1678	1710
02:30 p. m.	1468	1388	1421	1491	1373	1588	1572
02:45 p. m.	1411	1397	1490	1550	1397	1533	1591
03:00 p. m.	1424	1466	1517	1533	1402	1594	1506
03:15 p. m.	1418	1353	1480	1463	1397	1570	1436
03:30 p. m.	1380	1363	1488	1515	1430	1547	1461
03:45 p. m.	1246	1472	1642	1613	1520	1569	1429
04:00 p. m.	1306	1421	1596	1654	1464	1661	1267
04:15 p. m.	1295	1260	1671	1556	1453	1745	1287
04:30 p. m.	1375	1424	1620	1551	1519	1647	1326
04:45 p. m.	1363	1498	1638	1511	1632	1769	1355
05:00 p. m.	1369	1422	1621	1562	1456	1675	1362
05:15 p. m.	1443	1547	1640	1641	1534	1707	1376
05:30 p. m.	1428	1498	1642	1648	1420	1706	1416
05:45 p. m.	1357	1577	1728	1682	1493	1677	1331
06:00 p. m.	1424	1532	1607	1584	1415	1593	1406
06:15 p. m.	1449	1573	1730	1663	1526	1648	1452
06:30 p. m.	1421	1557	1522	1684	1518	1630	1393
06:45 p. m.	1329	1507	1649	1599	1430	1511	1389



07:00 p. m.	1298	1528	1686	1532	1484	1586	1468
07:15 p. m.	1411	1498	1632	1642	1474	1509	1477
07:30 p. m.	1421	1522	1499	1564	1465	1631	1424
07:45 p. m.	1417	1446	1567	1529	1459	1617	1367
08:00 p. m.	1165	1376	1500	1501	1410	1575	1456
08:15 p. m.	1346	1289	1416	1450	1419	1674	1384
08:30 p. m.	1296	1260	1240	1409	1374	1524	1248
08:45 p. m.	1087	1202	1250	1344	1195	1509	1346
09:00 p. m.	1055	1056	1159	1216	1174	1381	1295
09:15 p. m.	1061	992	957	1022	994	1275	1200
09:30 p. m.	739	794	810	877	840	1114	1030
09:45 p. m.	726	715	738	1340	788	1070	903
10:00 p. m.	742	664	682	707	689	1028	853
10:15 p. m.	579	565	644	661	629	855	876
10:30 p. m.	606	471	510	596	558	846	841
10:45 p. m.	460	450	440	506	525	723	641
11:00 p. m.	419	364	479	499	508	623	561
11:15 p. m.	370	401	431	439	435	583	469
11:30 p. m.	326	333	390	469	453	534	447
11:45 p. m.	259	263	307	364	383	497	429
<b>Total</b>	<b>74,211</b>	<b>89,879</b>	<b>98,490</b>	<b>100,282</b>	<b>95,832</b>	<b>106,383</b>	<b>95,988</b>



## **Curriculum Vitae**

IRVING OSORIO SANTOS

Mérida, Yuc. México. Fecha de nacimiento, 29 de julio de 1988

Licenciado en Ingeniería Civil por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, el 28 de octubre del 2016.

Maestría en Vías Terrestres, 100% de créditos, por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua, en junio 2018.

### **EXPERIENCIA PROFESIONAL**

Actualmente Proyectista en la empresa ECOGAS México, S. de R.L de C.V, dedicada a la distribución de gas natural en ciudades de Chihuahua, Torreón y Mexicali; cargo que desempeño desde octubre del 2019.

De agosto 2015 a noviembre de 2018, Supervisor/topógrafo para la supervisión, seguimiento y verificación de calidad de las obras de conservación de carreteras en el estado de Yucatán, Campeche y Quintana Roo.

De octubre 2014 a agosto 2015, Proyectista en la constructora EXCATERRA S.A. de C.V. en la ciudad de Mérida, Yucatán, desempeñando cálculos y diseños de movimientos de tierra de vialidades y plataformas en obras como: Hotel Mayokoba Riviera Maya en Tulum, Quintana Roo; Costco en Mérida, Yucatán; Granjas San José en Yaxcabá, Yucatán; entre otros desarrollos en las ciudades de Mérida y Cancún.

De octubre 2010 a febrero 2014, siendo aún estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, trabajé como Auxiliar de Residente en la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT) Delegación Yucatán, participando en proyectos de la Modernización y Ampliación de la Carretera: Campeche – Mérida del km. 96+000 al km. 158+000 y Paso Superior Vehicular (P.S.V) Chichi Suarez.



## **Publicaciones**

- Revista del Colegio de Ingenieros Civiles de Chihuahua A.C., noviembre - diciembre 2018, nombre del artículo: Las mezclas asfálticas y las tendencias.
- Revista de Investigación Científica y Tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua, diciembre 2019 – Febrero 2020, nombre del artículo: Turbo glorietas, un concepto de intersección innovador.



Domicilio Permanente: C. 41 No. 310  
Fraccionamiento Las Brisas  
<Mérida, Yucatán, 97144>

Esta tesis fue mecanografiada por Ing. Irving Osorio Santos.